HAL
open science

Changements développementaux des capacités d'ajustement de la prise énergétique chez le nourrisson entre 11 et 15 mois : quels liens avec les caractéristiques infantiles, le type d'aliments offerts et les interactions avec la mère au cours du repas ?

Pauline Brugaillères

To cite this version:

Pauline Brugaillères. Changements développementaux des capacités d'ajustement de la prise énergétique chez le nourrisson entre 11 et 15 mois : quels liens avec les caractéristiques infantiles, le type d'aliments offerts et les interactions avec la mère au cours du repas ?. Alimentation et Nutrition. Université Bourgogne Franche-Comté, 2019. Français. NNT : 2019UBFCK016 . tel-02292796

HAL Id: tel-02292796

https://theses.hal.science/tel-02292796

Submitted on 20 Sep 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE DE DOCTORAT DE L'ETABLISSEMENT UNIVERSITE BOURGOGNE FRANCHE-COMTE PREPAREE A L'UMR CENTRE DES SCIENCES DU GOÛT ET DE L'ALIMENTATION

École doctorale n°554

Environnements - Santé

Doctorat en Science des Aliments

Par

Mme Pauline BRUGAILLÈRES

Changements développementaux des capacités d'ajustement de la prise énergétique chez le nourrisson entre 11 et 15 mois : quels liens avec les caractéristiques infantiles, le type d'aliments offerts et les interactions avec la mère au cours du repas ?

Thèse présentée et soutenue publiquement à Dijon le 21 juin 2019

Composition du Jury :

Pr. Laurent BRONDEL	Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France	Président
Pr. Olivier GOULET	Hôpital Necker-Enfants malades, Paris, France	Rapporteur
Pr. Martine LAVILLE	Hospices civils de Lyon – Univ Claude Bernard, Lyon, France	Rapporteur
Pr. Marion HETHERINGTON	University of Leeds, UK	Examinatrice
Dr. Sylvie ISSANCHOU	INRA, Dijon, France	Directrice de thèse
Dr. Camille SCHWARTZ	INRA, Dijon, France	Co-directrice de thèse

REMERCIEMENTS

J'adresse mes premiers remerciements très chaleureux à Sylvie Issanchou et Camille Schwartz qui m'ont accompagnée dans cette aventure. Merci de m'avoir guidée avec tant de justesse et de bienveillance. Merci à vous pour votre disponibilité, votre rigueur et votre engagement à mes côtés, lesquels vous ont conduites à déguster une purée de carotte à une heure matinale indue ! Merci pour tous ces moments partagés, moments précieux de travail et de vie.

Je remercie les membres de mon comité de thèse, Noël Peretti, Luc Marlier, Anne Dupuy et Sophie Nicklaus pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et les riches échanges lors de nos rendez-vous annuels.

Je tiens à remercier particulièrement Claire Chabanet pour son aide éclairée en statistiques. Merci Claire pour ta patience à toute épreuve. Merci pour les heures passées à disséquer mes données.

Je remercie Sylvie Marty pour son aide dans l'exploitation des carnets de consommations et de ce fameux questionnaire 'var DE' comme nous l'appelions. Sylvie, personne n'a plus de PUNCH que toi, je n'oublierai pas ton enthousiasme lorsque tu as appris que '*oui, nous avons extrait de supers résultats de ces ~~machins~~ outils scientifiques* ' !

J'adresse mes remerciements à toute l'équipe 8. À ces femmes chercheures avec qui j'ai eu le plaisir de partager ces années de thèse. Merci pour vos échanges constructifs en réunion d'équipe ou moins constructifs, mais stimulant les zygomatiques, en pause-café.

Au sein de cette équipe 8, j'adresse mes affectueuses pensées à Valérie Feyen et Emilie Szleper. Merci de m'avoir aidée à conduire mes manips et d'avoir assidument vérifié les kilomètres de questionnaires saisis. Merci également d'avoir assuré mon apport glucidique quotidien, que ce soit à 10h32, 14h23, 15h41 ou encore 16h45… de vraies mamans !

Je tiens à exprimer ma gratitude aux rapporteurs et examinateurs de ma thèse, Olivier Goulet, Martine Laville, Marion Hetherington et Laurent Brondell. Merci d'avoir accepté de lire mon manuscrit et de faire partie de mon jury de thèse.

Je remercie les financeurs de ce travail, la région Bourgogne Franche-Comté, l'Agence Nationale de la Recherche, la Société Française de Nutrition et l'INRA, qui m'ont permis de mener ce travail dans de bonnes conditions.

Je remercie mes étudiantes stagiaires, Marion-Eve Guillard, Marceline Antoine-Milhomme et Justine Penin pour leur aide et les heures passées à visualiser les repas de nos bébés.

Merci à Benjamin Allès d'avoir accepté nos projets et de les avoir soumis à ses étudiants du Master Nutrition Humaine et Santé Publique (Université Paris 13).

Merci à Coralie Biguzzi de m'avoir permis de participer à l'Expérimentarium. J'ai beaucoup aimé cet exercice de vulgarisation scientifique, une riche expérience face aux enfants, public exigeant.

Je remercie Jacques Maratray pour son aide technique dans le développement du logiciel de la balance connectée, ainsi que Fabienne Bouillot pour son aide dans le recrutement des participants.

Merci à elles, devenues amies. Celles qui ont rendu mon quotidien pétillant, enivrant, exaltant, grisant, sous le vent. Delphine, Clara, Ségolène, Lucile, Marie, Marine, Eléa, Kaat et Sofia.

Enfin, merci à ceux qu'on ne remercie pas (pourquoi ça ?), à ceux qui étaient là,

bien avant ce dé (part en thèse).

Table des matières

ABRÉVIATIONS 3
AVANT-PROPOS 4
LISTE DES VALORISATIONS 5
INTRODUCTION GENERALE 9

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 13

1. Rôle du comportement alimentaire dans le maintien de l'équilibre de la balance énergétique ... 14
   1.1. Contrôle, régulation ou ajustement de la prise énergétique : quel vocabulaire choisir ? ...14
   1.2. Les concepts clés : la faim, le rassasiement et la satiété 14
   1.3. Le pattern de consommation : « Combien et comment on mange ? » 17
2. Mise en évidence des capacités d'ajustement énergétique chez le nourrisson 18
   2.1. Que sait-on des capacités d'ajustement énergétique à l'échelle de plusieurs repas ? 18
      2.1.1. Au cours de l'alimentation lactée exclusive et au début de la diversification alimentaire 18
      2.1.2. Au cours de la diversification alimentaire 20
   2.2. Que sait-on des capacités d'ajustement énergétique à l'échelle du repas ? 28
3. Facteurs influençant la prise alimentaire, les capacités d'ajustement énergétique ou le statut pondéral 30
   3.1. Caractéristiques individuelles 30
      3.1.1. Traits appétitifs 31
      3.1.2. Patterns de consommation 33
   3.2. Expérience alimentaire 38
      3.2.1. Alimentation lactée 38
      3.2.2. Alimentation diversifiée 42
   3.3. Environnement social : la dyade parent-nourrisson 46
      3.3.1. Cadre théorique 46
      3.3.2. Côté nourrisson : diversité des signaux de faim et de rassasiement émis 49
      3.3.3. Côté mère : degré de contrôle et réceptivité aux signaux émis par le nourrisson 54
4. Bilan de la synthèse bibliographique 59
5. Objectifs scientifiques et hypothèses 60

CHAPITRE 2 : STRATEGIE ET METHODOLOGIE MISE EN OEUVRE 63

1. Comment mesurer les capacités d'ajustement énergétique ? 64
   1.1. Mesures expérimentales 64
   1.2. Les relevés de consommation alimentaire 77

1.3. Mesure des capacités d'ajustement énergétique aux 11 et 15 mois des nourrissons : notre choix méthodologique 81
1.3.1. Une mesure expérimentale au laboratoire 81
1.3.2. Une mesure observationnelle au domicile 82
2. Comment mesurer le fonctionnement de la dyade parent-nourrisson ? 83
2.1. Principaux questionnaires psychométriques 84
2.2. Mesures observationnelles 85
2.3. Mesure du fonctionnement de la dyade mère-nourrisson : notre choix méthodologique 89
2.3.1. Balance connectée couplée à un enregistrement vidéo 89
2.3.2. Une mesure basée sur questionnaire 100
3. Bilan des choix méthodologiques mis en œuvre dans ce travail 101

CHAPITRE 3 : CHANGEMENTS DEVELOPPEMENTAUX DES CAPACITES D'AJUSTEMENT ENERGETIQUE : LIENS AVEC LES CARACTERISTIQUES INFANTILES ET L'HISTORIQUE D'ALIMENTATION LACTEE 102

CHAPITRE 4 : CAPACITES D'AJUSTEMENT ENERGETIQUE ET ALIMENTATION DIVERSIFIEE 150

CHAPITRE 5 : CAPACITES D'AJUSTEMENT ENERGETIQUE ET FONCTIONNEMENT DE LA DYADE MERE-NOURRISSON 181

CHAPITRE 6 : DISCUSSION GENERALE 218

1. Description des capacités d'ajustement énergétique à 11 et 15 mois et facteurs liés aux différences interindividuelles 222
2. Changements développementaux des capacités d'ajustement énergétique 227
3. Perception maternelle, expérience alimentaire, capacités d'ajustement énergétique et corpulence des nourrissons 230
4. Perspectives et implications 231

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 236

ANNEXES 251

ABRÉVIATIONS

BEBQ : Baby Eating Behaviour Questionnaire

CEBQ : Child Eating Behaviour Questionnaire

CEBQ-T : Child Eating Behaviour Questionnaire adapted for Toddlers

CERTOP : Centre d'Étude et de Recherche Travail, Organisation, Pouvoir

COMPX : Indice de compensation calorique (%)

CRÉDOC : Centre de Recherche pour l'Étude et l'Observation des Conditions de vie

CSGA : Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation

ELFE : Étude Longitudinale Française depuis l'Enfance

DE : Densité Énergétique (kcal/100 g)

FDE : Faible Densité Énergétique

HDE : Haute Densité Énergétique

IMC : Indice de Masse Corporelle (kg/m²)

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PPN : Préparation Pour Nourrissons

PUNCH : Promoting and UNderstanding healthy food choices in CHildren

z-IMC : Déviation standard de l'indice de masse corporelle

AVANT-PROPOS

Ce projet de thèse a reçu des financements de la Région Bourgogne Franche-Comté (PARI FABER : coordination par Camille Schwartz), de la Société Française de Nutrition (Prix SFN obtenu en 2015 par Camille Schwartz), et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Reherche et de l'Innovation (Bourse ministérielle attribuée à Pauline Brugaillères). Cette thèse s'inscrit par ailleurs dans le cadre du projet PUNCH (Promoting and Understanding healthy food choices in CHildren) coordonné par Sophie Nicklaus. Ce projet collaboratif est financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-15-CE21-0014) pour une durée de quatre ans (2016-2020). L'objectif principal de PUNCH est de comprendre et promouvoir des comportements alimentaires sains chez les enfants âgés de 3 mois à 11 ans. Cette thèse s'inscrit dans le lot 'Déterminants précoces des capacités de contrôle de la prise énergétique', dans lequel interviennent également des sociologues du CERTOP (Centre d'Étude et de Recherche Travail, Organisation, Pouvoir) avec lesquels des échanges ont été possibles au cours de la thèse.

LISTE DES VALORISATIONS

- *Articles parus, soumis et en préparation*

Article 1 (paru)

Brugaillères P., Chabanet C., Issanchou S., Schwartz C. (2018). Combining two observational methods to describe mealtime episodes in mother-infant dyads during complementary feeding. *Proceeding congrès Measuring Behaviour*, 230-237, Manchester, Juin 2018. https://www.measuringbehavior.org/files/2018/MB2018%20Proceedings.pdf.

Article 2 (paru)

Brugaillères P., Issanchou S., Nicklaus S., Chabanet C., Schwartz C. (2019). Caloric compensation in infants: developmental changes around the age of 1 year and associations with anthropometric measurements up to 2 years. *American Journal of Clinical Nutrition*, nqy357, https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy357.

Article 3 (en préparation)

Brugaillères P., Issanchou S., Marty S., Schwartz C. To what extent does considering different consumption periods affect the evaluation of infants' caloric compensation using a preload paradigm? *En préparation.*

Article 4 (en préparation)

Brugaillères P., Chabanet C., Marty S., Issanchou S., Schwartz C. Interplay between energy density of offered vegetable, caloric compensation ability and anthropometrics in infants: first insights. *En préparation pour Maternal & Child Nutrition.*

Article 5 (en révision)

Brugaillères P., Chabanet C., Issanchou S., Schwartz C. Caloric compensation ability around the age of 1 year: interplay with the mother-infant mealtime interaction and infant appetitive traits. *En révision pour Appetite.*

- *Communications orales*

Schwartz C.*, **Brugaillères P.**, Nicklaus S., Issanchou S. (2017). Capacités d'ajustement énergétique à court terme chez le nourrisson entre 10 et 15 mois : premiers résultats (Prix SFN 2015). *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 31(3), 223.

Brugaillères P.*, Issanchou S., Schwartz C. Capacités d'ajustement énergétique à court terme chez le nourrisson de 10,5 mois : Quels sont les facteurs liés aux différences interindividuelles ? *Forum des Jeunes Chercheurs de l'Université de Bourgogne-Franche-Comté*, Dijon (France), Juin 2017.

Brugaillères P.*, Issanchou S., Chabanet C., Nicklaus S., Schwartz C. Capacités d'ajustement énergétique à court terme chez le nourrisson : évolution autour de 1 an. *Congrès Journées Francophones de Nutrition*, Nantes (France), Décembre 2017.

Brugaillères P.*, Issanchou S., Chabanet C., Nicklaus S., Schwartz C. Associations between caloric compensation ability and eating behaviour in infants. *Congrès British Feeding and Drinking Group*, Lyon (France), Avril 2018.

Brugaillères P.*, Chabanet C., Issanchou S., Schwartz C. Combining two observational methods to describe mealtime episodes in mother-infant dyads during complementary feeding. *Congrès Measuring Behaviour*, Manchester (Angleterre), Juin 2018.

Brugaillères P.*, Chabanet C., Issanchou S., Schwartz C. Adapting the spoonful pace to the spoonful weight: a favourable practice linked to the infant caloric compensation ability? *Congrès British Feeding and Drinking Group*, Swansea (Angleterre), Avril 2019.

Brugaillères P., Issanchou S., Nicklaus S., Chabanet C., Schwartz C.* Bébé compense-t-il la consommation d'un aliment plus ou moins énergétique juste avant le repas ? (ANR PUNCH). *Colloque interdisciplinaire international Bébé, petite enfance en contextes*, Toulouse (France), Mai 2019.

- *Communications affichées*

Brugaillères P.*, Issanchou S., Schwartz C. Capacités d'ajustement énergétique à court terme chez le nourrisson : développement méthodologique. *Forum des Jeunes Chercheurs de l'Université de Bourgogne-Franche-Comté*, Besançon (France), Juin 2016.

Brugaillères P.*, Chabanet C., Issanchou S., Schwartz C. Lien entre fonctionnement de la dyade mère-nourrisson au cours du repas et capacités d'ajustement énergétique autour de 11 mois. *Colloque de la Société Française pour l'Etude du Comportement Animal*, Rennes (France), Juin 2018.

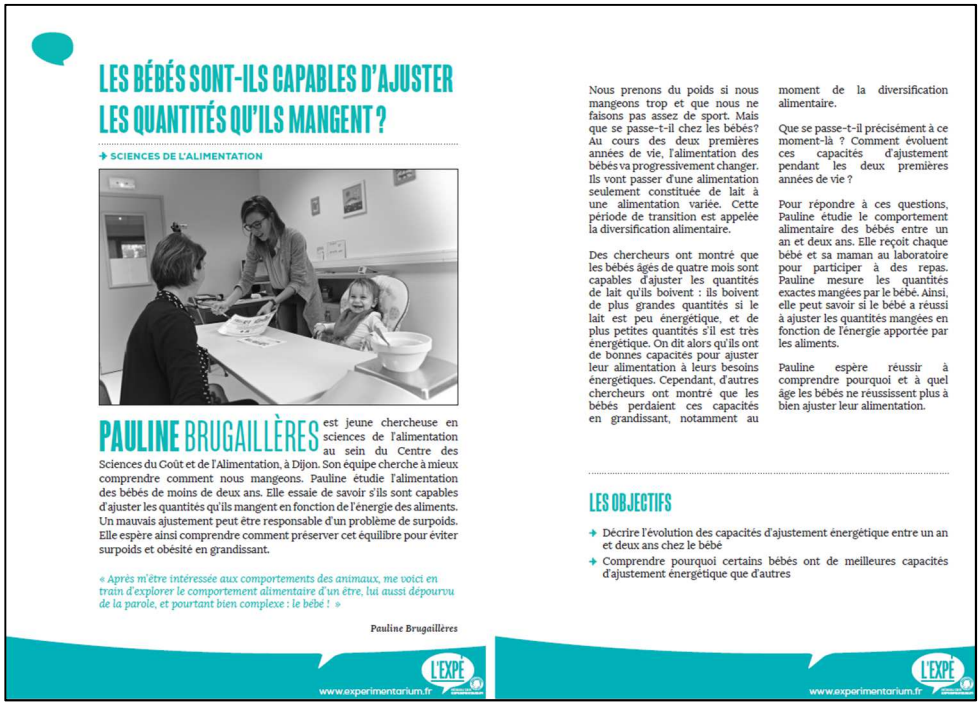
Brugaillères P.*, Chabanet C., Issanchou S., Schwartz C. Associations between mother-infant dyadic functioning during mealtimes and infant's caloric compensation ability. Flash presentation *Congrès European conference on sensory and consumer research*, Vérone (Italie), Septembre 2018.

Brugaillères P., Chabanet C., Marty S., Schwartz C., Issanchou S*. Dietary variety in infants by the end of the 1st year: insights from a new questionnaire. Communication à venir, *Congrès Pangborn*, Edinburgh (Angleterre), Juillet 2019.

- *Autres valorisations*

Chabanet C., Maratray J., **Brugaillères P.**, Issanchou S., Schwartz C. (2018). R functions to extract data from a connected weighing scale used during a meal. http://prodinra.inra.fr/record/425131.

Brugaillères P. 'Fiche chercheur' dans le cadre d'ateliers de vulgarisation scientifique de l'Expérimentarium©. http://www.experimentarium.fr/les-chercheurs/les-bebes-sont-ils-capables-dajuster-les-quantites-quils-mangent.



LES BÉBÉS SONT-ILS CAPABLES D'AJUSTER LES QUANTITÉS QU'ILS MANGENT ?

→ SCIENCES DE L'ALIMENTATION

PAULINE BRUGAILLÈRES est jeune chercheuse en sciences de l'alimentation au sein du Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, à Dijon. Son équipe cherche à mieux comprendre comment nous mangeons. Pauline étudie l'alimentation des bébés de moins de deux ans. Elle essaie de savoir s'ils sont capables d'ajuster les quantités qu'ils mangent en fonction de l'énergie des aliments. Un mauvais ajustement peut être responsable d'un problème de surpoids. Elle espère ainsi comprendre comment préserver cet équilibre pour éviter surpoids et obésité en grandissant.

« Après m'être intéressée aux comportements des animaux, me voici en train d'explorer le comportement alimentaire d'un être, lui aussi dépourvu de la parole, et pourtant bien complexe : le bébé ! »

Pauline Brugaillères

Nous prenons du poids si nous mangeons trop et que nous ne faisons pas assez de sport. Mais que se passe-t-il chez les bébés? Au cours des deux premières années de vie, l'alimentation des bébés va progressivement changer. Ils vont passer d'une alimentation seulement constituée de lait à une alimentation variée. Cette période de transition est appelée la diversification alimentaire.

Des chercheurs ont montré que les bébés âgés de quatre mois sont capables d'ajuster les quantités de lait qu'ils boivent : ils boivent de plus grandes quantités si le lait est peu énergétique, et de plus petites quantités s'il est très énergétique. On dit alors qu'ils ont de bonnes capacités pour ajuster leur alimentation à leurs besoins énergétiques. Cependant, d'autres chercheurs ont montré que les bébés perdaient ces capacités en grandissant, notamment au moment de la diversification alimentaire.

Que se passe-t-il précisément à ce moment-là ? Comment évoluent ces capacités d'ajustement pendant les deux premières années de vie ?

Pour répondre à ces questions, Pauline étudie le comportement alimentaire des bébés entre un an et deux ans. Elle reçoit chaque bébé et sa maman au laboratoire pour participer à des repas. Pauline mesure les quantités exactes mangées par le bébé. Ainsi, elle peut savoir si le bébé a réussi à ajuster les quantités mangées en fonction de l'énergie apportée par les aliments.

Pauline espère réussir à comprendre pourquoi et à quel âge les bébés ne réussissent plus à bien ajuster leur alimentation.

LES OBJECTIFS

→ Décrire l'évolution des capacités d'ajustement énergétique entre un an et deux ans chez le bébé

→ Comprendre pourquoi certains bébés ont de meilleures capacités d'ajustement énergétique que d'autres

www.experimentarium.fr L'EXPÉ

- *Autres contributions*

Schwartz C.*, **Brugaillères P.**, Issanchou S., Nicklaus S. Les nourrissons dont l'alimentation est exclusivement lactée sont-ils capables de compenser des modifications de la densité énergétique du lait lors du repas suivant ? (Prix SFN 2015). *Poster présenté au congrès Journées Francophones de Nutrition*, Nice (France), Novembre 2018.

Schwartz C.*, **Brugaillères P.**, Issanchou P., Nicklaus S. Short-term caloric adjustment ability in milk-fed infants. *Poster présenté au congrès The international conference on children's eating behavior (ICCEB)*, Birmingham (Angleterre), Mars 2019.

Schwartz C., **Brugaillères P.**, Issanchou S., Nicklaus S. Short term caloric compensation ability in milk-fed infants: a response to caloric dilution or caloric concentration. *Article en preparation pour American Journal of Clinical Nutrition.*

INTRODUCTION GENERALE

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit le surpoids et l'obésité comme *'une accumulation anormale ou excessive de graisse qui peut nuire à la santé'* (OMS, 2015). L'augmentation de la prévalence mondiale du surpoids et de l'obésité chez les enfants de 0-5 ans (passant de 32 à 41 millions entre 1990 et 2014 (OMS, 2015)) est un problème majeur de santé publique. Les données de l'étude Esteban révèlent qu'en France, en 2015, près de la moitié (49%) de la population adulte (18-74 ans) était en surpoids ou obèse. Chez les enfants âgés de 6 à 17 ans, cette prévalence atteignait 17% (Verdot, Torres, Salanave, & Deschamps, 2017).

Quels sont les facteurs qui sous-tendent les phénotypes de surpoids et d'obésité ? Nos sociétés occientales sont caractérisées par un environnement où l'offre alimentaire est pléthorique. Dans cet environnement, certains individus sont plus susceptibles que d'autres de développer surpoids ou obésité du fait de certaines prédispositions. Ces prédispositions peuvent être génétiques ou épigénétiques (sous l'effet de facteurs environnementaux). L'implication de facteurs génétiques serait déterminante et expliquerait en grande partie les variations de statut pondéral observées dans l'enfance (Silventoinen, Rokholm, Kaprio, & Sørensen, 2010). Indépendamment des facteurs génétiques, l'environnement dans lequel évolue l'individu joue aussi un rôle non négligeable. Il existe désormais de solides preuves que l'exposition nutritionnelle et métabolique durant des périodes critiques du développement précoce (les '1000 premiers jours' allant de la période péri-conceptionnelle aux 2 ans de l'enfant) peut avoir des effets à long terme sur la santé (Rolland-Cachera, Akrout, & Péneau, 2016; Simeoni, Bocquet, Briend, Chouraqui, Darmaun, Dupont et al., 2016). Les études épidémiologiques soulignent que les facteurs de risques de l'obésité infantile sont de nature diverses ; certains sont présents avant la naissance de l'enfant (ex : surpoids des parents, prise de poids excessif pendant la grossesse), d'autres sont en lien avec l'activité physique de l'enfant (ex : faible activité physique, temps passé devant les écrans trop important) ou ses comportements alimentaires (ex : consommation de produits sucrés, faible consommation de fruits et légumes, consommation de larges portions) (Birch & Ventura, 2009). Quelques études rapportent également qu'un diabète gestationnel, une fréquentation élevée du nourrisson dans des crèches, une faible qualité du lien mère-nourrisson, un faible statut socio-économique, un temps de sommeil insuffisant, une utilisation inappropriée du biberon (ex : utilisation du biberon à 2 ans, laisser le nourrisson s'endormir avec le biberon à 9 mois), une diversification alimentaire avant l'âge de 4 mois ou encore une exposition aux antibiotiques

sont des facteurs de risques d'obésité chez l'enfant (Baidal, Locks, Cheng, Blake-Lamb, Perkins, & Taveras, 2016). Par ailleurs, une prise de poids trop rapide au cours de la première année de vie est fortement associée aux risques ultérieurs de développer surpoids et obésité chez l'enfant, et-ce, indépendamment du poids de naissance (Stettler, Bovet, Shamlaye, Zemel, Stallings, & Paccaud, 2002). Une revue de la littérature explorant les liens entre l'obésité infantile et l'obésité à l'âge adulte souligne que l'IMC dans l'enfance est fortement associé à l'IMC à l'âge adulte ; toutefois, la majorité des adultes obèses n'ont pas nécessairement été des enfants obèses (Simmonds, Burch, Llewellyn, Griffiths, Yang, Owen et al., 2015).

'Le premier principe de la thermodynamique implique que l'équilibre à long terme de la balance énergetique — égalité parfaite entre les apports et les dépenses énergétiques — doit se traduire par la préservation d'un poids corporel stable pendant la vie adulte' (Fantino, 2013), ou par une croissance adéquate chez le jeune enfant et adolescent. La dépense énergétique dépend majoritairement du métabolisme de repos, mais aussi de l'activité physique et de la thermogénèse post-prandiale. À cela s'ajoute, chez le nourrisson (le jeune enfant et l'adolescent), la dépense énergétique liée à la croissance. Une prise de poids trop rapide résulte d'un déséquilibre chronique de la balance énergétique dans le sens où les apports sont supérieurs aux dépenses énergétiques. Être capable d'ajuster sa prise énergétique, et donc son comportement alimentaire, en fonction de ses besoins énergétiques est le moyen de maintenir l'équilibre de la balance énergétique. Or, la petite enfance s'avère être une période clé dans la mise en place du comportement alimentaire : l'enfant apprend *quoi* manger, *comment* manger et *combien* manger. Les premières années de vie sont par ailleurs marquées par de nombreuses transitions alimentaires au cours desquelles les nourrissons passent d'une alimentation lactée exclusive à une alimentation diversifiée d'abord consistuée d'aliments 'spéficiques bébé' puis d'aliments de la table (Schwartz, Scholtens, Lalanne, Weenen, & Nicklaus, 2011). En outre, les comportements alimentaires acquis dans la petite enfance déterminent en grande partie les comportements alimentaires retrouvés à l'âge adulte (Nicklaus & Remy, 2013).

Dans ce contexte, il apparait primordial de s'intéresser au comportement alimentaire des jeunes enfants et d'identifier quels sont les facteurs pouvant jouer sur le déséquilibre de la balance énergétique chez le nourrisson. L'enjeu scientifique de cette thèse est d'étudier les capacités d'ajustement énergétique des nourrissons ainsi que leur évolution vers l'âge de 1 an et d'explorer les liens avec certaines caractéristiques individuelles des nourrissons (ex : poids

de naissance, sexe), l'alimentation (mode d'alimentation lactée, âge de diversification alimentaire, types d'aliments de diversification) et la qualité de l'interaction avec le parent nourricier au cours du repas. Dans ce travail, nous souhaitons, en effet, décrire certains déterminants précoces des comportements associés à un défaut d'ajustement de la prise alimentaire dans la petite enfance.

Les enjeux de la thèse

Enjeu scientifique

Décrire les changements développementaux des capacités d'ajustement énergétique chez le nourrisson autour de 1 an et identifier les déterminants précoces (caractéristiques individuelles du nourrisson, types d'aliments offerts, qualité de l'interaction entre la mère et le nourrisson au cours du repas) susceptibles d'affecter ces capacités d'ajustement énergétique.

Enjeu sociétal

Proposer des stratégies permettant le développement optimal des capacités d'ajustement énergétique dans la petite enfance.

Dans le **CHAPITRE 1**, nous ferons un état de l'art des connaissances actuelles concernant les capacités d'ajustement de la prise énergétique et présenterons nos questions de recherche.

Le **CHAPITRE 2** traitera des choix méthodologiques mis en œuvre pour répondre à nos questions de recherche.

Dans le **CHAPITRE 3**, nous nous attacherons à décrire l'évolution des capacités d'ajustement énergétique des nourrissons autour de l'âge de 1 an, ainsi que les liens avec les caractéristiques individuelles et l'historique d'alimentation lactée.

Le **CHAPITRE 4** portera sur les liens entre les capacités d'ajustement énergétique et le type d'alimentation diversifiée offert aux nourrissons.

Les liens entre les capacités d'ajustement énergétique et le fonctionnement de la dyade mère-nourrisson au cours du repas seront développés dans le **CHAPITRE 5**.

Enfin, nous discuterons nos résultats et proposerons certaines perspectives à ce travail dans le **CHAPITRE 6**.

CHAPITRE 1

Synthèse bibliographique

1. Rôle du comportement alimentaire dans le maintien de l'équilibre de la balance énergétique

1.1. Contrôle, régulation ou ajustement de la prise énergétique : quel vocabulaire choisir ?

Contrôler, *réguler* ou encore *ajuster* sa prise énergétique sont les termes retrouvés dans la littérature anglo-saxonne pour qualifier le fait qu'un individu est capable de modifier sa prise énergétique en réponse à une variation de l'apport calorique des aliments (ex : manger moins si l'aliment est très calorique). Bien que l'utilisation de ces termes ne semble pas faire débat dans la littérature, nous en proposerons de brèves définitions afin de justifier leur utilisation dans ce manuscrit.

Le terme *régulation* se rapporte aux paramètres relativement stables : la masse corporelle par exemple est censée être hautement régulée, car soumise à peu de variations à l'échelle d'une vie[1] (Fantino, 2013). Au contraire, le terme *ajustement* (défini come étant *'l'action d'adapter quelque-chose à quelque-chose'*) fait référence à des paramètres non stables, sujets à de grandes variations : c'est notamment le cas du bilan énergétique (= apports – dépenses), qui peut varier à l'échelle de la journée (bilan énergétique positif le jour de Noël, mais pouvant être négatif ou nul le lendemain !). Ainsi nous comprenons qu'un individu qui, de façon ponctuelle, n'ajuste pas sa prise énergétique, peut néanmoins maintenir une masse corporelle relativement stable en ajustant son bilan énergétique sur une certaine période. Quant au terme *contrôle*, son utilisation en français doit rester précautionneuse : au sens premier, le contrôle est *l'action de vérifier, de s'assurer de quelque-chose*. C'est ainsi que dans ce manuscrit nous choisirons de parler de l'**ajustement** de la prise énergétique.

1.2. Les concepts clés : la faim, le rassasiement et la satiété

Alors que les besoins énergétiques d'un individu sont continus, la prise alimentaire est un comportement discontinu composé de séquences périodiques d'ingestion (en particulier les repas). Qu'est ce qui fait alors que l'on *initie*, que l'on *termine* ou que l'on *inhibe* sa prise alimentaire ? Pour tenter de répondre — en partie — à cette question complexe, nous décrirons succinctement les trois états psychophysiologiques sous-jacents, que sont

[1] Chez les nourrissons, la masse corporelle ne peut être qualifiée de stable, mais cela est lié à la dynamique normale qu'est la croissance. Le bilan énergétique s'écrit alors : apports = dépenses + dépenses de croissance.

respectivement la *faim*, le *rassasiement* et la *satiété*. Notons que faim, rassasiement et satiété peuvent être influencés par de nombreux facteurs, qu'ils soient psychologiques, sociaux, environnementaux ou encore génétiques.

La faim correspond à la phase pré-ingestive du comportement alimentaire. Elle est définie, selon Gallouin et Le Magnen (1987) comme étant '*un état d'éveil spécifique ou de 'motivation' du système nerveux central, provoqué par des signaux internes résultant du déficit énergétique de l'organisme requérant l'apport d'aliments et/ou par des stimulations sensorielles externes issues des aliments. Cet état est associé à une perception identifiée chez l'Homme, dite de sensation de faim. Il conduit l'animal, comme l'Homme, à rechercher, accepter et ingérer des matériaux qu'il connait être des aliments*'. Dans sa définition plus récente, Blundell (2010) ajoute que la faim peut être associée à des sensations désagréables, telles qu'une faiblesse générale ou des douleurs d'estomac. Les facteurs qui déterminent l'initiation de la prise alimentaire ne sont, à ce jour, pas bien compris : ils impliqueraient des interactions complexes entre des signaux sociaux, environnementaux et physiologiques (Näslund & Hellström, 2013). Les travaux menés chez l'animal (Le Magnen & Devos, 1970) puis chez l'homme (Campfield & Smith, 2003) montrent que l'initiation de la prise alimentaire ou la sensation de faim surviennent à la suite d'une baisse transitoire (de 10 à 12% du niveau basal) de la glycémie. Cette baisse du glucose plasmatique pourrait jouer un rôle important dans l'initiation de la prise alimentaire (Bellisle, 2005). La ghréline, une hormone produite par l'estomac pourrait également être impliquée : chez l'humain, son taux augmente drastiquement juste avant l'initiation de la prise alimentaire, puis décline rapidement pendant et après le repas (Cummings, Purnell, Frayo, Schmidova, Wisse, & Weigle, 2001).

Le rassasiement, notion proposée par Le Magnen (1971), intervient lors de la phase ingestive et correspond à une inhibition progressive du désir de manger. Le rassasiement est atteint lorsque le sujet cesse sa prise alimentaire (Bellisle, 2005). Ainsi, il est le processus dynamique impliqué dans l'arrêt du repas. La satiété, quant à elle, correspond à la phase post-ingestive : elle se définit comme une absence de faim et de désir de manger (Bellisle, 2005) et peut être associée à un état de confort, une sensation d'avoir l'estomac bien rempli. La satiété s'achève lorsque l'individu commence à nouveau à ressentir la sensation de faim. De par leur implication respective dans la cessation et l'inhibition de la prise alimentaire, le rassasiement et la satiété sont les deux processus clés dans la compréhension de l'ajustement de la prise énergétique et du maintien de la masse corporelle (Bellisle & Blundell, 2013). L'ingestion des aliments et boissons entraîne une succession de signaux de nature diverse (sensoriels,

cognitifs, hormonaux et métaboliques). Ce ‘flot’ de signaux a été représenté sous forme de ‘cascade de la satiété’, d’abord proposée par Blundell et collaborateurs (1987), puis modifiée plusieurs fois par d’autres auteurs. La version proposée par Blundell en 1991 est présentée en **Figure 1**. Le terme ‘cascade’ est justement employé pour illustrer la séquence temporelle des signaux, d’abord impliqués dans le processus de rassasiement, puis dans celui de la satiété. Les principaux facteurs impliqués dans le rassasiement seraient liés aux propriétés des aliments au sens large, incluant les propriétés nutritionnelles (macronutriments), mais aussi sensorielles (aspect, goût, arôme, texture). La dimension sensorielle de la prise alimentaire est étroitement liée à la valeur hédonique des aliments (Brondel, 2016). On comprend alors que l’arrêt de la prise alimentaire est un processus complexe, qui n’est pas seulement dépendant de facteurs internes mécaniques (distension gastrique) et physiologiques (hormonaux, peptidiques) : un sujet au ventre bien rempli peut continuer de manger si les aliments sont hautement palatables pour lui. Quant à la satiété, elle serait modulée, dans l’ordre, par des facteurs sensoriels (ex : diminution du plaisir de manger pour un aliment donné ou *‘rassasiement sensoriel spécifique’*), cognitifs (ex : le sujet sait qu’il vient de manger une certaine quantité, ce qui contribue à inhiber la prise alimentaire pendant un certain temps), pré-absorptifs (ex : distension gastrique) puis post-absorptifs (ex : disponibilité des nutriments dans la circulation sanguine) (Blundell & Rogers, 1991).

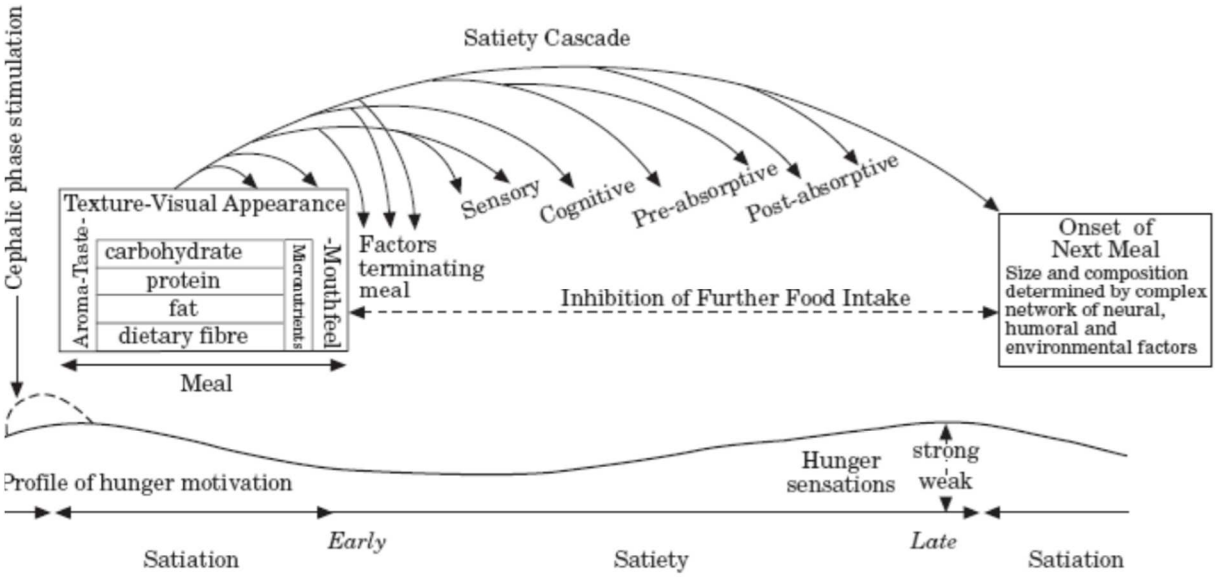


Figure 1 : Schéma de la ‘Cascade de la satiété’ proposé par Blundell, 1991.

~ ~

Faim, rassasiement et satiété déterminent quand nous décidons d'initier, de stopper et d'inhiber la prise alimentaire. Chez le nourrisson, les mêmes mécanismes gouvernent probablement les séquences de prises alimentaires sous couvert du parent nourrissier. Dans ce travail, nous nous intéresserons au rassasiement, ce processus dynamique qui détermine quand la prise alimentaire est stoppée.

1.3. Le pattern de consommation : « Combien et comment on mange ? »

Étudier le rassasiement revient à étudier le processus actif de consommation et son arrêt. Les deux variables les plus étudiées pour le décrire sont les *quantités ingérées* et la *microstructure* (ou cinétique) de la prise alimentaire, ce qui relève du *combien* et du *comment* on mange. Tel que souligné par Chapelot (2013), ces deux aspects du comportement alimentaire sont généralement étudiés séparément, mais doivent être vus comme complémentaires si l'on veut comprendre le processus dynamique qu'est le rassasiement. Qu'elles aient porté sur les quantités ingérées et/ou sur la microstructure de la prise alimentaire, les études se basent sur le postulat que ces deux aspects reflètent la propension de l'individu à être plus ou moins réactif à ses signaux internes de rassasiement. Alors que les quantités ingérées sont souvent mesurées à l'issue d'un repas (ou de la consommation d'un aliment), l'étude de la miscrostructure de la prise alimentaire nécessite d'enregistrer cette prise en continu.

L'étude des courbes cumulatives de consommation chez l'adulte révèle que le pattern de consommation (incluant donc quantités ingérées et microstrucure du repas) est relativement stable et consistant pour un individu donné (Westerterp-Plantenga, 2000). Autrement dit *'on mangerait toujours plus ou moins de la même façon'*. Nous détaillerons dans le **CHAPITRE 2** les méthodologies disponibles pour étudier cela. Il est aussi établi que le pattern de consommation est caractérisé par une décélération de la vitesse de consommation, qui apparait 1 à 2 minutes après le début de la prise alimentaire, et est principalement associée à une diminution de la taille des bouchées (Bellisle & Le Magnen, 1980; Westerterp-Plantenga, Westerterp, Nicolson, Mordant, Schoffelen, & Ten Hoor, 1990). Cette décélération serait la manifestation comportementale de l'apparition progressive du rassasiement ; on la qualifie d'ailleurs de courbe biologique du rassasiement (Meyer & Pudel, 1972). Là encore, on peut supposer qu'un pattern de consommation du même type existe et puisse être décrit chez le nourrisson.

Ces notions théoriques étant posées, intéressons-nous désormais aux capacités d'ajustement énergétique chez le nourrisson, cœur de notre réflexion.

2. Mise en évidence des capacités d'ajustement énergétique chez le nourrisson

2.1. Que sait-on des capacités d'ajustement énergétique à l'échelle de plusieurs repas ?

Durant les premiers mois de vie, l'alimentation du nourrisson est uniquement constituée de lait (lait maternel et/ou préparation pour nourrissons (PPN)). Après cette période dite 'd'alimentation lactée exclusive', le nourrisson va progressivement être exposé à des aliments autres que le lait, pour tendre vers une alimentation de type 'adulte'. On parle de 'diversification alimentaire'. Cette transition, allant généralement de l'âge d'environ 5 mois à l'âge de 3 ans (PNNS, 2005, 2015), est ainsi marquée par une diminution progressive de l'alimentation lactée, au profit de l'alimentation diversifiée. Les études observationnelles menées par Clara Davis dans les années 30 ont démontré qu'un petit groupe de nourrissons (*n* = 3) n'ayant jamais été exposés à des aliments diversifiés, étaient capables de sélectionner une variété d'aliments proposés et d'en consommer des quantités appropriées, leur permettant d'assurer une croissance optimale sur une période de 6 à 12 mois (Davis, 1928, 1939). Ces données suggèrent l'existence d'une capacité 'innée' d'ajustement de la prise énergétique. Néanmoins, force est de constater que peu d'études expérimentales se sont attachées à décrire les capacités d'ajustement énergétique dans les premiers mois de vie.

2.1.1. Au cours de l'alimentation lactée exclusive et au début de la diversification alimentaire

Dans leur étude pionnière menée dans les années 70, Fomon et collaborateurs (1975) ont testé l'effet d'une modification de la densité énergétique de PPN[2], sur les consommations de 30 nourrissons non allaités de moins de 4 mois. La moitié des nourrissons recevait une PPN à faible densité énergétique (FDE = 54 kcal/100 mL), l'autre moitié une PPN à haute densité énergétique (HDE = 100 kcal/100 mL). Les consommations ont été observées quotidiennement de leur 8ème à leur 111ème jour de vie (soit juqu'à leur 3,6 mois). Au cours de

[2] La densité énergétique standard des PPN est d'environ 67 kcal/100mL (Composition des PPN régie par la directive de la Commission européenne du 25 septembre 2015 (UE/2016/127)). Celle du lait maternel est d'environ 68 kcal/100mL (Tounian, Javalet & Sarrio, 2017. *Alimentation de l'enfant de 0 à 3 ans (3ème edition)*. Paris : Elseiver Health Sciences, p117).

la première période d'observation (du 8ème au 41ème jour de vie), les nourrissons du groupe FDE ingèrent en moyenne de plus grandes quantités, mais cependant moins de calories que les nourrissons du groupe HDE (FDE : 735 mL/jour et 393 kcal/jour ; HDE : 540 mL/jour et 538 kcal/jour) (**Figure 2A**).

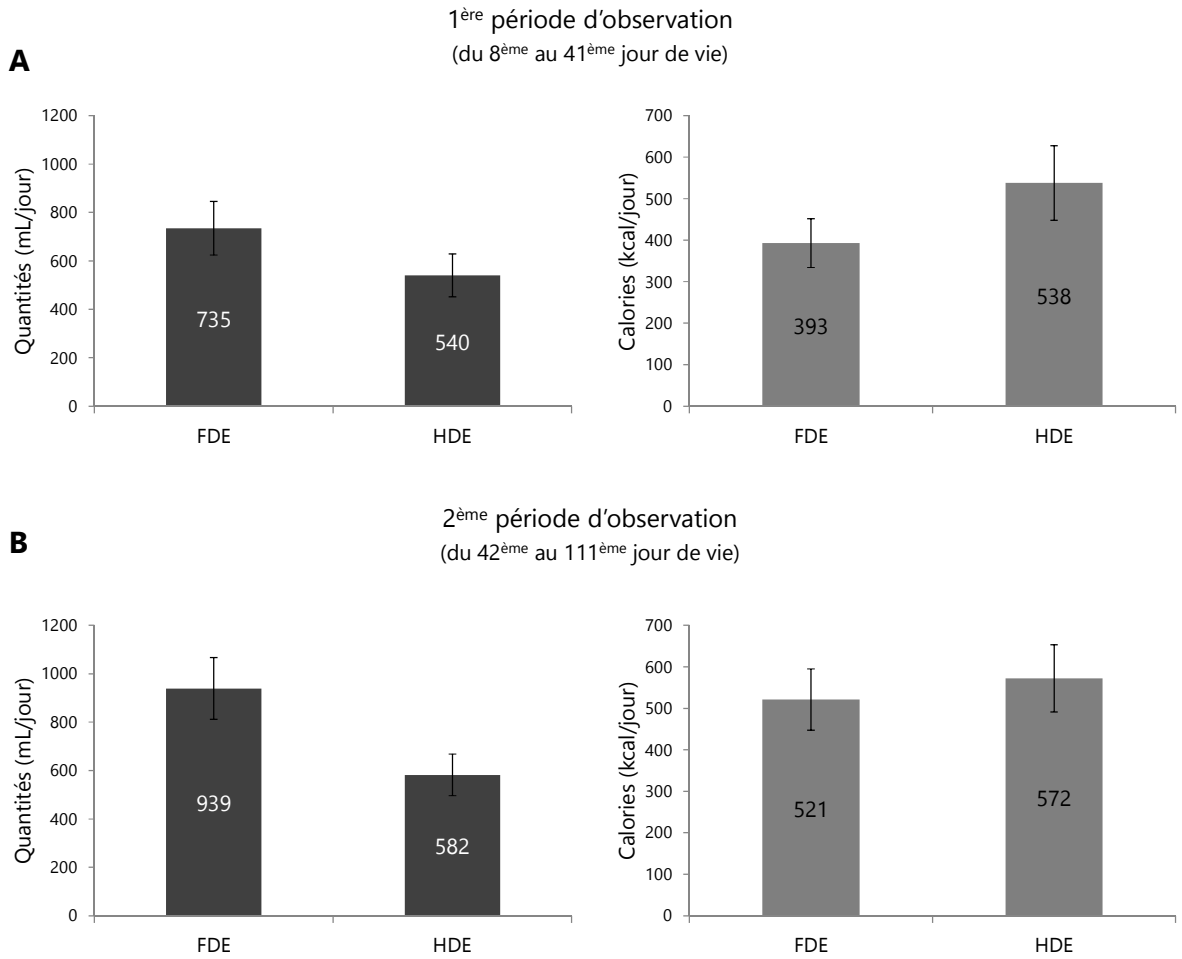


Figure 2 : Quantités et calories moyennes ingérées par les deux groupes de nourrissons (FDE/HDE, n=15 dans chaque groupe) lors de la première (A) et deuxième (B) période d'observation. FDE : PPN à 54 kcal/100 mL, HDE : PPN à 100 kcal/100 mL. D'après Fomon et al., 1975.

Au cours de la deuxième période d'observation (du 42ème au 111ème jour de vie), les nourrissons du groupe FDE augmentent encore les quantités ingérées, de telle sorte que l'apport énergétique moyen est similaire entre les deux groupes (FDE : 939 mL/jour et 521 kcal/jour ; HDE : 582 mL/jour et 572 kcal/jour) (**Figure 2B**). Ainsi, cette étude démontre que les nourrissons de moins de 4 mois sont capables, après une période d'apprentissage, d'ajuster le volume de PPN ingéré en fonction de sa densité énergétique. Plus récemment, Timby et collaborateurs (2014a) ont conduit une étude randomisée portant sur des nourrissons de moins de 2 mois. Le groupe expérimental (*n* = 76) recevait une PPN à densité énergétique

légèrement réduite (60 kcal/100 mL) par rapport au groupe standard (n = 72) qui recevait une PPN à densité énergétique standard (66 kcal/100 mL). Les quantités ingérées étaient relevées par les parents, 3 jours chaque mois, jusqu'aux 6 mois des nourrissons. Les résultats révèlent qu'en moyenne, sur la période allant de 2 à 6 mois, les nourrissons du groupe expérimental ingèrent de plus grandes quantités de PPN (876 mL/jour) que les nourrissons du groupe ayant reçu une PPN standard (810 mL/jour). Du fait de cette augmentation des volumes ingérés dans le groupe expérimental, l'apport énergétique moyen, quant à lui, ne diffère pas significativement entre les deux groupes (groupe expérimental : 525 kcal/jour ; groupe standard : 535 kcal/jour). Ces résultats viennent corroborer ceux rapportés par Fomon et collaborateurs en 1975. Une deuxième étude menée par Fomon et collaborateurs (1977) complète ces résultats en soulignant que cette capacité d'ajustement énergétique n'est plus effective lorsque la densité énergétique d'une PPN est fortement réduite. Ainsi, des nourrissons âgés de 112 jours et exposés pendant 56 jours à un lait écrémé à très faible densité énergétique (FDE : 36 kcal/100 mL) ingèrent moins d'énergie et ont un gain de poids significativement inférieur aux nourrissons ayant reçu une PPN à densité énergétique standard (67 kcal/100 mL). Les auteurs suggèrent que face à un aliment à très faible densité énergétique, l'ajustement énergétique parfait implique une augmentation des volumes ingérés au-delà de la capacité stomacale des nourrissons de cet âge.

~ ~

Les études expérimentales décrites ci-dessus suggèrent que dans leurs premiers mois de vie, les nourrissons sont sensibles aux signaux post-ingestifs et savent répondre à une variation de densité énergétique de façon appropriée en ajustant les volumes de PPN ingérés afin de satisfaire leurs besoins énergétiques. Cet ajustement énergétique ne serait cependant possible qu'après une période d'exposition et dans la limite des capacités physiologiques des nourrissons. À ce jour, la durée d'exposition, et donc le temps d'apprentissage nécessaire à l'apparition d'un ajustement énergétique, n'est pas décrit de façon précise. Par ailleurs, et compte tenu de la difficulté méthodologique, de telles études expérimentales n'ont pu être menées chez des nourrissons allaités.

2.1.2. Au cours de la diversification alimentaire

Les études basées sur des relevés de consommation ont fourni la preuve que les nourrissons en cours de diversification, donc exposés à divers aliments autres que le lait, ajustent leur prise énergétique à l'échelle de la journée. Parmi elles, l'étude de Pearcey & De

Castro (1997) s'est attachée à décrire dans quelle mesure l'apport énergétique de nourrissons âgés de 8 à 16 mois, pouvait varier d'un jour à l'autre et pour une occasion de consommation donnée au sein d'une même journée (le matin, le midi, le soir). Sur la base de 7 jours consécutifs de relevés de consommation de 29 nourrissons, les auteurs ont estimé, pour chaque sujet, l'énergie ingérée lors des différentes prises alimentaires quotidiennes. Ils ont ainsi calculé, pour chaque sujet, un coefficient de variation (CV, exprimé en %) traduisant dans quelle mesure la prise énergétique variait d'un jour à l'autre et pour une occasion de consommation donnée. À titre d'exemple, un nourrisson qui ingère 150 kcal lors du petit-déjeuner du lundi et 200 kcal lors du petit déjeuner du mardi, aura un coefficient de variation plus élevé qu'un nourrisson qui ingère 150 kcal lors du petit-déjeuner du lundi, et 155 kcal lors du petit-déjeuner du mardi. Les résultats révèlent que pour une occasion de consommation donnée, il existe une grande variabilité de l'apport énergétique (CV moyen = 47%). En revanche, à l'échelle de la journée, cette variabilité est bien moindre (CV moyen = 17%) (**Figure 3**).

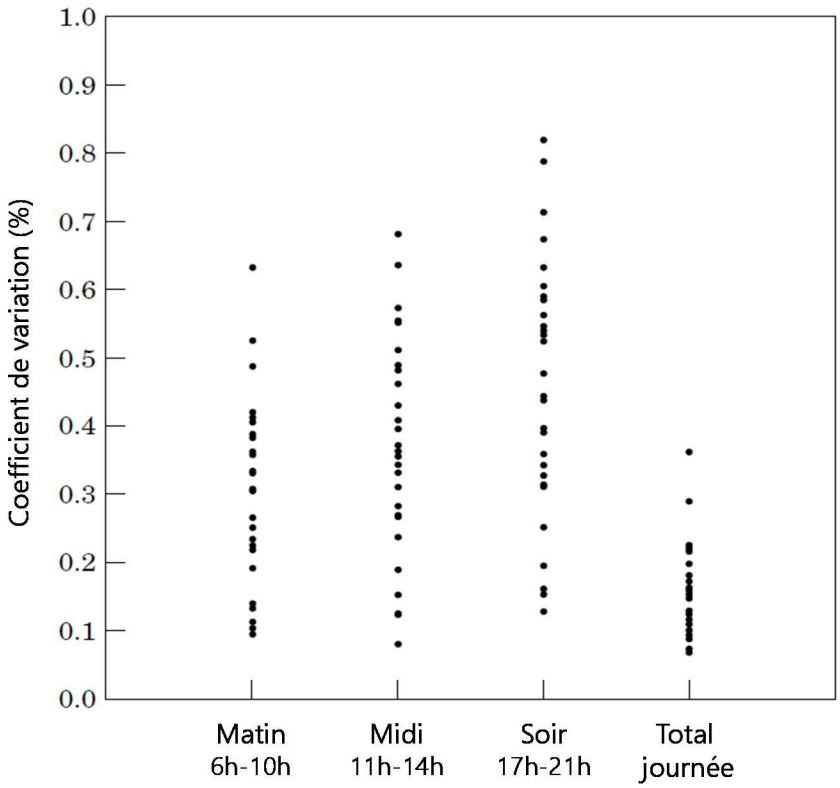


Figure 3 : Coefficients de variation de l'énergie ingérée (%) lors des prises alimentaires du matin, du midi et du soir et sur la journée entière pour chaque sujet. Un point correspond à un sujet. Pour chaque sujet, le coefficient de variation est calculé sur au moins 5 repas. Pearcey & De Castro, 1997.

Tel que souligné par les auteurs, ce résultat indique que les nourrissons ajustent leur prise énergétique d'un repas à l'autre, de façon à maintenir un apport énergétique quotidien relativement stable. L'évidence d'un ajustement énergétique à l'échelle de la journée a également été rapportée sur un échantillon plus important de plus de 3000 nourrissons (Fox, Devaney, Reidy, Razafindrakoto, & Ziegler, 2006). Cette étude transversale d'envergure révèle qu'entre 4 et 11 mois, la densité énergétique des aliments est négativement associée à la taille moyenne des portions consommées ('z-score de taille de portion'). Ainsi, à ces âges, les nourrissons ingèrent de plus grandes quantités lorsque la densité énergétique des aliments diminue, et de moindres quantités lorsque la densité énergétique des aliments augmente. Cette association n'étant plus retrouvée entre 12 et 24 mois, les auteurs suggèrent que la capacité d'ajustement énergétique se détériorerait vers l'âge de 1 an. Bien que basée sur des données transversales, cette étude est ainsi la première à mettre en évidence une détérioration des capacités d'ajustement énergétique entre 11 et 12 mois, et vient nuancer les résultats rapportés par Pearcey et DeCastro chez des nourrissons de 8 à 16 mois.

Les études conduites dans les pays en voie de développement sur des sujets sains ou en déficit nutritionnel (mal- ou dé-nutrition) nous apportent des informations sur les capacités d'ajustement énergétique des nourrissons en cours de diversification bien qu'elles n'aient pas été menées pour répondre à cet objectif. En effet, la diversification alimentaire peut s'avérer être une période critique pour la croissance du nourrisson. Dans ces pays, en raison de la faible qualité nutritionnelle des aliments diversifiés faits maison (ex : peu de variété, faible teneur en vitamines, minéraux et acides gras essentiels, faible densité énergétique comparé au lait), de pratiques de diversification non adéquates ou encore des risques sanitaires, cette transition alimentaire demeure un challenge (Abeshu, Lelisa, & Geleta, 2016). Dans l'objectif de promouvoir l'allaitement maternel face au risque de contamination inhérent à l'introduction des aliments diversifiés en Honduras, Cohen et collaborateurs (1994) ont testé l'effet de l'âge d'introduction d'aliments infantiles du commerce sur la prise énergétique et la croissance (z-score poids-pour-âge[3]) de 141 nourrissons sains et allaités. Cette étude révèle que lorsque les aliments de diversification sont introduits, les nourrissons allaités

[3] Le z-score est une indication chiffrée de la déviation d'une valeur observée (pour un sujet) par rapport à la médiane d'une population de référence de même sexe et de même âge. La valeur seuil la plus couramment utilisée est 2 écart-types. Par exemple, un nourrisson dont le z-score poids-pour-taille est inférieur à -2 est considéré comme étant en sous-poids par rapport à la population de référence.

maintiennent une croissance adéquate en ajustant les quantités de lait en réponse à l'apport énergétique des aliments diversifiés. Des résultats similaires ont été rapportés par Bajaj et collaborateurs en Inde qui ont testé l'effet d'un enrichissiment lipidique d'un aliment semi-solide (portion de riz) sur les consommations quotidiennes de nourrissons allaités âgés de 6 à 10 mois (Bajaj, Dubey, Nagpal, Singh, & Sachdev, 2005). Sur une période de 2 jours consécutifs, les nourrissons recevaient *ad libitum* du lait maternel et un aliment semi-solide à densité énergétique plus ou moins élevée selon le jour (jour FDE = 20 kcal/100 g ; jour HDE = 35 kcal/100 g) et offert à raison de 3 fois par jour. Les quantités d'aliment semi-solide ingérées sont équivalentes entre les jours FDE et HDE. En revanche, les nourrissons ingèrent au total (lait maternel + aliments semi-solides) significativement moins d'énergie lors du jour HDE que lors du jour FDE. Ce résultat est dû à une diminution importante des apports lactés lors du jour HDE : la densité énergétique de l'aliment semi-solide est négativement associée à l'énergie ingérée provenant du lait maternel (**Figure 4**).

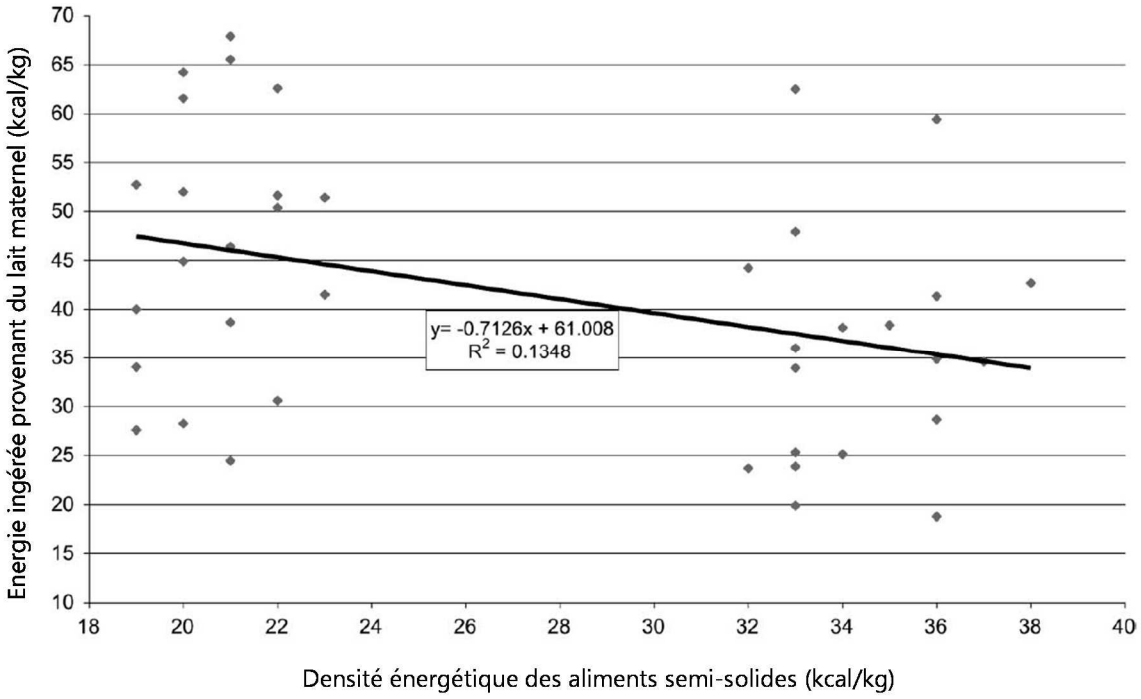


Figure 4 : Association entre la densité énergétique des aliments semi-solides et l'apport énergétique provenant du lait maternel. Les unités sont exprimées en kcal rapporté au poids corporel des sujets. Un point correspond à un sujet. La droite est la droite de régression linéaire. Bajaj et al., 2005.

Nous retiendrons de cette étude que les nourrissons sains sont capables de diminuer leurs apports lactés en réponse à une augmentation de la densité éenrgétique des aliments semi-solides. Dans une logique d'enrichissement énergétique des aliments pour augmenter les apports caloriques, gardons à l'esprit que, pour être efficace, l'enrichissement ne doit pas

induire une diminution trop importante des quantités consommées des autres aliments (comme le lait). Tout l'enjeu pour ce type d'intervention est de profiter des capacités d'ajustement énergétique (qui ne sont pas parfaites mais partielles) des nourrissons pour, *in fine*, augmenter leurs apports énergétiques totaux.

Au Bengladesh, Islam et collaborateurs (2008) ont relevé les consommations d'aliments semi-solides et de lait maternel de 18 nourrissons sains âgés de 8 à 11 mois. Dans cette étude, les auteurs ont fortement augmenté (jusqu'à 150 kcal/100 g) la densité énergétique d'un porridge en faisant varier les proportions d'ingrédients (notamment par ajout de maltodextrine[4]), et ont également fait varier la fréquence d'exposition quotidienne. Ainsi, sur 9 périodes de 3 ou 6 jours, les nourrissons recevaient quotidiennement, en plus du lait maternel, 3 porridges de densités énergétiques différentes (50, 100 et 150 kcal/100 g) à raison de 3, 4 ou 5 fois par jour. Les résultats révèlent que les quantités de lait maternel ingéré diminuent progressivement avec l'augmentation de la densité énergétique et la fréquence de consommation des porridges. De plus, l'énergie ingérée provenant du lait maternel est négativement associée à l'énergie ingérée provenant des porridges (**Figure 5**).

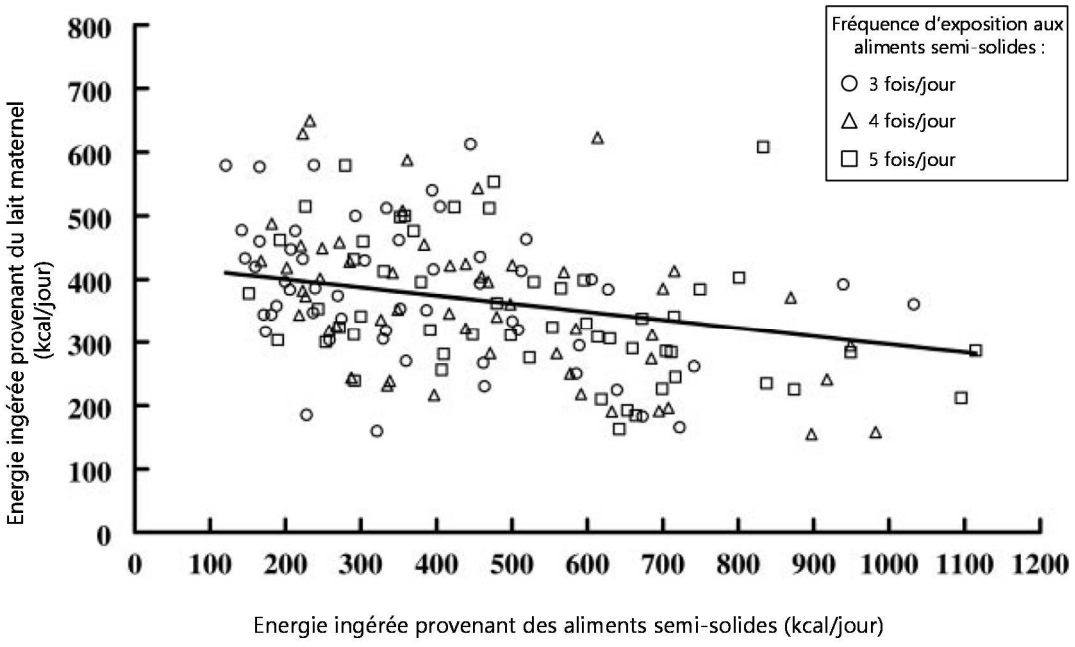


Figure 5 : Association négative entre l'énergie ingérée provenant des aliments semi-solides et l'énergie ingérée provenant du lait maternel, $n = 18$, $P < 0{,}001$. Islam et al., 2008.

[4] La maltodextrine est le résultat de l'hydrolyse d'un amidon de blé ou d'une fécule. Elle permet d'augmenter la teneur glucidique d'un aliment sans en modifier la saveur sucrée.

Ainsi, lorsque la densité énergétique des aliments semi-solides augmente, les nourrissons diminuent leur prise lactée, ce qui corrobore les résultats de Bajaj et collaborateurs (2005). En revanche, toutes prises alimentaires confondues (lait maternel + aliments semi-solides), l'énergie totale ingérée reste positivement associée à la densité énergétique et à la fréquence de consommation des aliments semi-solides (**Figure 6**).

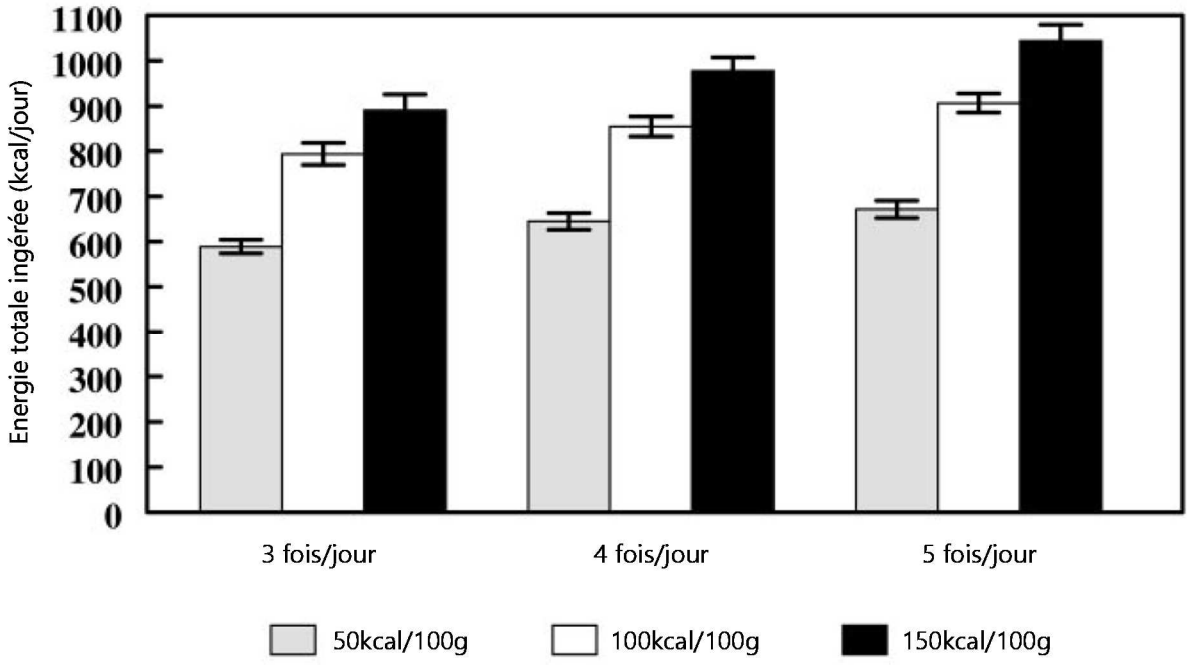


Figure 6 : Énergie moyenne ingérée (±ET) provenant du lait maternel et des aliments semi-solides, selon la densité énergétique et la fréquence de consommation des aliments semi-solides (n = 18). La densité énergétique et la fréquence de consommation des aliments semi-solides ont tous deux un effet significatif sur la prise énergétique totale (ANOVA, tous $P < 0,001$). L'énergie totale ingérée diffère significativement entre les trois densités énergétiques ; la fréquence de consommation de 3fois/jour diffère significativement des fréquences de 4 et 5 fois/jour (Test de Tukey, $P < 0,01$ et $P < 0,001$, respectivement). Islam et al., 2008.

Pour des nourrissons en déficit nutritionnel, une telle stratégie d'enrichissement énergétique des aliments semi-solides (couplée à une augmentation de la fréquence de consommation) pourrait permettre d'augmenter les apports caloriques. Ceci a été évalué et vérifié par des

travaux menés chez des sujets en déficit nutritionnel (Brown, Sanchez-Grinan, Perez, Peerson, Ganoza, & Stern, 1995). Il a été montré que des nourrissons (6-18 mois, n = 18) souffrant de malnutrition sévère[5], et ne recevant plus de lait maternel, ajustent partiellement leur prise énergétique lorsque ces nourrissons sont exposés à des aliments semi-solides à 40, 70, 100 ou 150 kcal/100 g à raison de 3, 4 ou 5 fois par jour. En effet, les quantités ingérées diminuent significativement avec la densité énergétique des aliments, mais l'énergie ingérée, quant à elle, augmente significativement avec la densité énergétique et la fréquence de consommation (**Figure 7**).

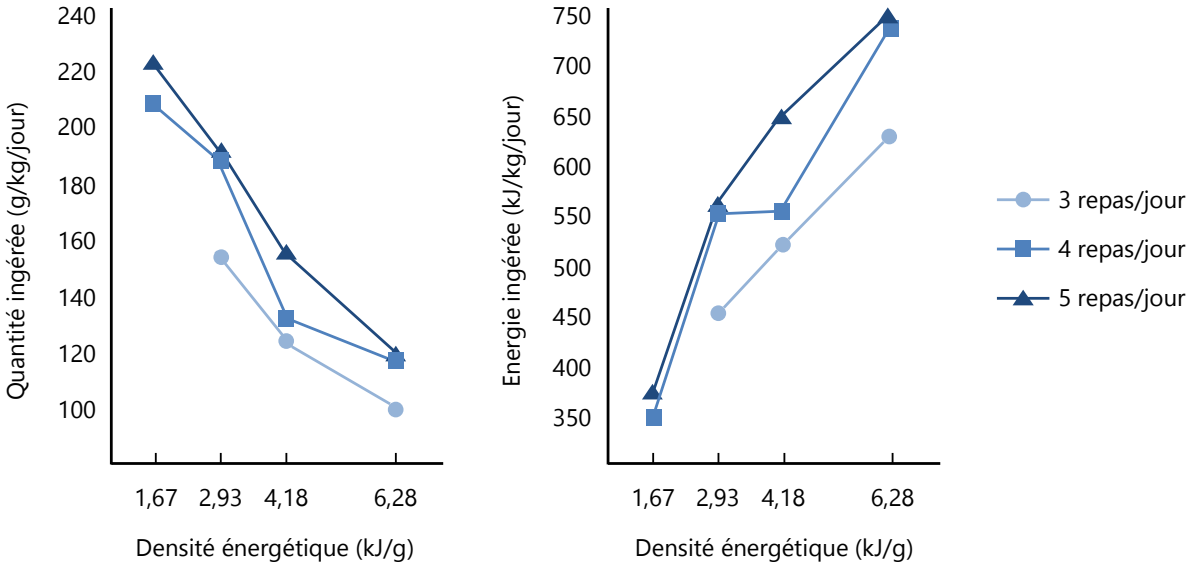


Figure 7 : Quantité et énergie ingérées selon la densité énergétique des aliments semi-solides et leur fréquence de consommation. n = 18 nourrissons hospitalisés pour malnutrition sévère. L'unité énergétique est le kilojoule (kJ) : 1 kJ = 0,24 kcal (par exemple, 1,67 kJ/g= 167 kJ/100g = 40 kcal/100 g). Brown et al., 1995.

L'introduction de certains aliments semi-solides céréaliers, comme les porridges ou bouillies de flocons d'avoine, peut induire une texture plus épaisse donc plus difficile à manipuler en bouche pour les nourrissons. Aussi, certains auteurs ont évalué dans quelle mesure liquéfier des porridges par l'ajout d'alpha-amylase pouvait permettre aux nourrissons d'ingérer de plus grandes quantités grâce à une texture plus facile à manipuler. Afin de tester la stratégie la plus efficace pour augmenter l'apport énergétique quotidien de nourrissons non allaités ayant souffert de malnutrition, Stephenson et collaborateurs (1994) ont manipulé la texture et la

[5] La moitié des sujets est caractérisé par un z-score poids-pour-taille < -2,0 soit en deça de la limite de la courbe de référence américaine.

densité énergétique de porridges. Ainsi, 15 nourrissons âgés de 7 à 15 mois, ont consommé 3 porridges différents : un porridge classique à faible densité énergétique et texture liquide (FDE-L = 51 kcal/100 g) et deux porridges expérimentaux isocaloriques à densités énergétiques élevées mais aux textures différentes (version semi-solide : HDE-S = 97 kcal/100 g, version liquéfiée : HDE-L = 98 kcal/100 g). Lorsque le porridge classique (FDE-L) est offert, les nourrissons ingèrent de plus grandes quantités (139 ± 25 g/kg/jour) que lors des consommations des deux porridges expérimentaux plus énergétiques (HDE-S : 98 ± 21 g/kg/jour et HDE-L : 108 ± 14 g/kg/jour). Le résultat inverse est retrouvé concernant l'énergie ingérée : les nourrissons ingèrent significativement moins d'énergie avec le porridge classique (71 ± 13 kcal/kg/jour), comparé aux deux autres porridges (HDE-S : 96 ± 20 kcal/kg/jour et HDE-L : 105 ± 14 kcal/kg/jour). En raison de l'ajustement énergétique partiel, l'objectif d'augmenter les apports caloriques journaliers est atteint. En revanche, à densité énergétique équivalente, la quantité et l'énergie ingérées ne diffèrent pas selon la texture : autrement dit, la liquéfaction n'a pas été bénéfique. À l'instar de l'étude de Stephenson précédemment décrite, Bennett et collaborateurs (1999) ont exposé un groupe de 18 nourrissons (8-17 mois, non allaités, ayant également souffert de malnutrition) à 3 aliments semi-solides : l'un à faible densité énergétique et texture liquide (FDE-L), et deux isocaloriques, à haute densité énergétique mais textures différentes (HDE-S et HDE-L). La principale différence avec l'étude de Stephenson est que les aliments proposés avaient une viscosité bien plus importante (les aliments étaient donc 'moins liquides'). Il apparait que les quantités ingérées sont significativement plus élevées pour le porridge classique FDE-L, et significativement plus élevées pour le porridge HDE-L (quantités ingérées HDE-S < HDE-L < FDE-L). Contrairement à Stephenson, les résultats montrent que l'apport énergétique quotidien augmente davantage si l'enrichissement des aliments diversifiés est couplé à une texture liquide (énergie ingérée FDE-L = HDE-S < HDE-L). Dans une logique d'enrichissement, la liquéfaction réalisée par les auteurs a donc eu un effet bénéfique. Aussi, nous retiendrons que les nourrissons semblent avoir ajusté leur prise énergétique en ingérant autant d'énergie lors des conditions FDE-L et HDE-S. En revanche, à densité énergétique équivalente, la texture des aliments diversifiés (et plus précisémment le niveau de viscosité) pourrait être un paramètre influant la prise énergétique.

~ ~

De cette sous-partie, nous retiendrons qu'au cours de la diversification alimentaire, les nourrissons sains ou souffrants d'un retard de croissance et/ou de malnutrition sont capables

d'ajuster leur prise énergétique, au moins partiellement, en diminuant les quantités consommées (de lait ou d'aliments semi-solides), lorsque la densité énergétique des aliments semi-solides augmente. Cet ajustement énergétique parfait ou partiel selon les cas semble pouvoir se faire sur des périodes incluant plusieurs repas, notamment à l'échelle de la journée. Néanmoins, cette capacité se détériorerait vers l'âge de 1 an, et à ce jour, aucune étude longitudinale n'a été menée à ces âges afin de décrire finement l'évolution des capacités d'ajustement énergétique.

Dans une logique d'enrichissement énergétique pour des nourrissons souffrant de déficit nutritionel, il est préférable que ces derniers n'ajustent que partiellement leur prise énergétique lors de la consommation d'aliments à haute densité énergétique et ainsi augmentent leurs apports caloriques et rattrapent leur retard de croissance.

2.2. Que sait-on des capacités d'ajustement énergétique à l'échelle du repas ?

Cette question ne semble avoir fait l'objet que d'une seule étude chez le nourrisson[6] (Kasese-Hara, Wright, & Drewett, 2002). Les difficultés méthodologiques inhérentes à ce type de travaux expliquent probablement ce constat. Ces auteurs ont posé l'hypothèse que des nourrissons ayant un retard de croissance seraient moins réactifs à leurs signaux de faim et de rassasiement que des nourrissons sains. Dans leur étude expérimentale, ces auteurs ont exploré en partie cette hypothèse avec deux groupes de nourrissons : des nourrissons d'un groupe contrôle (n = 26) et des nourrissons ayant un retard de croissance (groupe RC, n = 27) caractérisés par un poids de naissance comparable à celui du groupe contrôle mais avec un poids significativement inférieur au moment de l'étude[7], soit à l'âge de 1 an. Sur deux jours différents, les nourrissons ont consommé une boisson (aliment précharge) énergétique ou non (jour FDE : 0 kcal/100mL ; jour HDE : 96 kcal/100 mL – la quantité à consommer n'était pas fixée), suivi d'un repas *ad libitum*. Lors du jour FDE, les nourrissons du groupe RC ingèrent au total (pré-charge + repas) significativement moins d'énergie (164 kcal) que les nourrissons du groupe contrôle (255 kcal) (**Figure 8**).

---

[6] Une synthèse (détaillant tous les aspects méthodologiques) des travaux ayant porté sur les capacités d'ajustement énergétique à court terme chez les enfants âgés de 0 à 7 ans est présentée dans le **CHAPITRE 2**.

[7] -2,5kg comparé au groupe contrôle, ce qui correspond à un écart de 2,2 écarts-types par rapport à la courbe de référence anglaise.

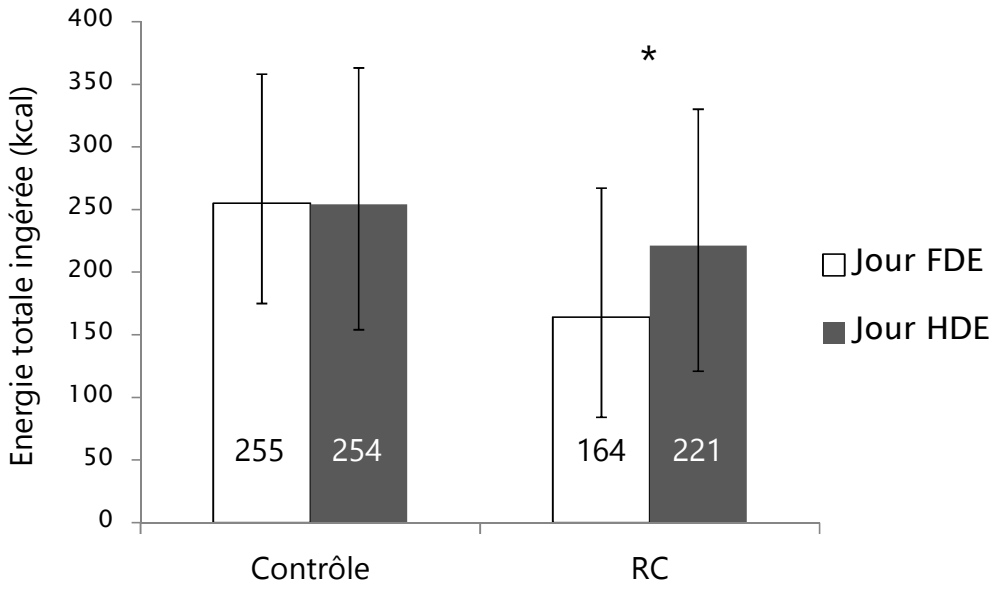


Figure 8 : Energie totale ingérée (pré-charge + repas) lors des jours à faible (FDE) et haute (HDE) densité énergétique, pour chaque groupe de nourrissons (groupe contrôle et groupe avec retard de croissance (RC)). * $P < 0,05$. D'après Kasese-Hara et al., 2002.

Lors du jour HDE, les nourrissons du groupe contrôle diminuent leur prise énergétique lors du repas suivant la pré-charge, pour au final, ingérer autant d'énergie lors du jour HDE (254 kcal) que lors du jour FDE (255 kcal) (**Figure 8**). Les nourrisons sains de 18 mois ont donc ajusté leur prise énergétique de façon très précise (à 1 calorie près !) à court terme, à l'échelle d'un repas. En revanche, les nourrissons du groupe RC du même âge ingèrent significativement moins d'énergie lors du jour FDE (164 kcal) que lors du jour HDE (221 kcal) : les nourrissons ayant un retard de croissance n'ont pas ajusté leur prise énergétique à la suite de la consommation de la boisson énergétique. Toutefois, compte tenu du manque d'études ayant porté sur les capacités d'ajustement énergétique à court terme chez les nourrissons, ce champ d'étude nécessite d'être plus amplement exploré.

~ ~

Cette première synthèse visant à décrire les connaissances actuelles relatives aux capacités d'ajustement énergétique révèle que les nourrissons sains sont, de façon générale, capables d'ajuster leur prise énergétique à l'échelle de la journée ou même sur un seul repas, que ce soit au cours de l'alimentation lactée exclusive après une période d'apprentissage, ou lorsque leur alimentation est diversifiée. Cet ajustement énergétique peut être parfait ou partiel lorsque l'augmentation de la densité énergétique est importante. Par ailleurs, il semblerait que les capacités d'ajustement énergétique se détériorent vers 1 an, âge auquel les

aliments de la table sont introduits. Cette question mérite d'être explorée. Dans la section suivante, nous détaillerons certains des facteurs potentiels sous-tendant les éventuelles différences interindividuelles des capacités d'ajustement énergétique.

3. Facteurs influençant la prise alimentaire, les capacités d'ajustement énergétique ou le statut pondéral

Compte tenu du peu d'études menées chez le nourrisson, nous étayerons cette partie en présentant quelques travaux menés chez l'enfant ou l'adulte. Ceci nous conduira à illustrer quelques facteurs susceptibles de moduler les capacités d'ajustement énergétique, mais aussi, de façon plus large, la prise alimentaire ou le statut pondéral.

3.1. Caractéristiques individuelles

Pour soutenir la croissance, les besoins énergétiques augmentent ce qui implique une prise alimentaire plus importante avec l'âge. Il existe également des différences de prise alimentaire liées au sexe. Dès la naissance, et tout au long de la vie, les filles et les garçons n'ont pas les mêmes besoins énergétiques. Par exemple, à l'âge de 1 an, les apports nutritionnels conseillés sont de 956 kcal/jour pour les garçons contre 908 kcal/jour pour les filles (Martin, 2001). Une étude expérimentale a notamment montré qu'à l'âge de 4 mois, la prise énergétique lactée (provenant du lait maternel ou de PPN) est significativement plus élevée chez les garçons que chez les filles (Ong, Emmett, Noble, Ness, & Dunger, 2006). Il existe aussi des différences de prise alimentaire liées au statut pondéral : si le statut pondéral est plus élevé, les besoins énergétiques sont plus élevés. Une enquête américaine montre que les nourrissons (12-18 mois) ayant un statut pondéral plus élevé mangent en moyenne de plus grandes portions, et ingèrent plus d'énergie que ceux ayant un statut pondéral moins élevé (McConahy, Smiciklas-Wright, Birch, Mitchell, & Picciano, 2002). Si l'on s'intéresse plus spécifiquement aux capacités d'ajustement énergétique et aux liens avec le sexe et les paramètres anthropométriques, l'étude de la littérature chez l'enfant (3-7 ans) rapporte des résultats contrastés : certaines études montrent un lien négatif entre les capacités d'ajustement énergétique et le z-score d'IMC (Carnell, Benson, Gibson, Mais, & Warkentin, 2017), ou l'adiposité chez les filles et les garçons (Johnson, 2000) ou uniquement chez les filles (Johnson & Birch, 1994) alors que d'autres études ne trouvent pas d'association (Faith, Keller, Johnson, Pietrobelli, Matz, Must et al., 2004; Remy, Issanchou, Chabanet, Boggio, & Nicklaus, 2015).

3.1.1. Traits appétitifs

Le fait que, dans un environnement donné (caractérisé, dans nos sociétés occidentales, par la disponibilité d'aliments palatables à forte densité énergétique), les individus n'aient pas le même statut pondéral, traduit entre autres l'expression de différents profils de traits appétitifs. De façon simple, nous pouvons dire que les traits appétitifs déterminent la propension à agir d'une certaine façon face à une situation alimentaire, notamment la propension d'un individu à être plus ou moins 'attiré' par la nourriture. Ainsi, le risque d'obésité pourrait être augmenté par la prédominance de traits appétitifs reflétant une attirance générale pour la nourriture ('food approach' en anglais), ou au contraire être freiné par la prédominance de traits appétitifs protecteurs, reflétant un moindre attrait ('food avoidance' en anglais) (Carnell & Wardle, 2008). D'après la théorie de Kral (2018), les traits appétitifs émergent tôt dans la vie et persistent au cours du temps. Cette auteure avance que les phénotypes comportementaux liés à l'obésité sont le résultat d'une forte attractivité pour la nourriture (forte réactivité aux propriétés organoleptiques des aliments) combinée à une faible autorégulation, qui peut en partie se traduire par de moindres capacités d'ajustement énergétique. La **Figure 9** illustre comment la manifestation de certains phénotypes comportementaux — eux-mêmes sous influence génétique et environnementale — peut affecter la prise énergétique, et à terme, le statut pondéral.

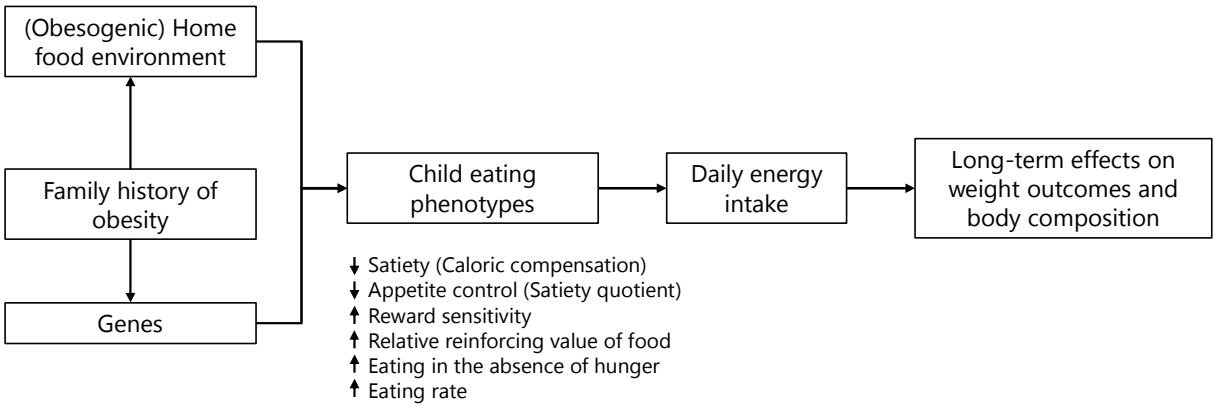


Figure 9 : Modèle conceptuel de phénotypes comportementaux liés à l'obésité chez l'enfant. Kral, 2018.

Les comportements alimentaires (*combien* et *comment* on mange) sont donc sous-tendus par des profils de traits appétitifs. L'évaluation des traits appétitifs peut se faire par des mesure

d'observations comportementales, ou, et de façon majoritaire, par l'utilisation de questionnaires psychométriques validés[8]. Parmi ces derniers, le questionnaire le plus largement utilisé chez l'enfant est le Child Eating Behaviour Questionnaire (CEBQ) (Wardle, Guthrie, Sanderson, & Rapoport, 2001). Lorsque les auteurs de ce questionnaire ont cherché à valider certaines dimensions avec des mesures comportementales chez l'enfant de 4-5 ans, ils ont notamment mis en évidence que l'énergie ingérée est négativement associée à l'une des dimensions reflétant la réactivité aux signaux de rassasiement ('satiety responsiveness'), et positivement associée à l'une des dimensions reflétant l'attrait général pour la nourriture ('enjoyment of food') (Carnell & Wardle, 2007). Des liens entre les comportements observés et les traits appétitifs évalués par le CEBQ ont aussi été rapportés dans la récente étude longitudinale GUSTO menée en Asie (Fogel, Fries, McCrickerd, Goh, Quah, Chan et al., 2018). À l'âge de 4,5 ans, les enfants perçus par leur mère comme étant des 'mangeurs lents' (score élevé pour la dimension 'slowness in eating') sont aussi caractérisés par des vitesses de consommation et de mastication moins élevées. À l'âge de 6 ans, les enfants perçus comme étant particulièrement attirés par la nourriture (score plus élevé pour la dimension 'enjoyment of food' et scores moins élevés pour 'satiety responsiveness', 'slowness in eating' et 'food fussiness') mangent plus rapidement et ingèrent plus d'énergie ; ce lien est d'autant plus fort chez les enfants ayant un statut pondéral (IMC) plus important. Par ailleurs, les données longitudinales révèlent que les enfants perçus comme étant des 'mangeurs lents' à l'âge de 4,5 ans mangent aussi plus lentement (durée des repas plus longue, nombre de pauses au cours du repas plus élevée) à l'âge de 6 ans. Dans la même perspective, les données d'une étude longitudinale menée sur une cohorte de 1029 enfants montrent que les nourrissons perçus comme ayant un 'bon appétit' ('score d'appétit' évalué par la mère sur une échelle de 1 à 5) aux âges de 6 semaines et 1 an sont aussi perçus comme étant moins sensibles à leurs signaux de rassasiement à l'âge de 5-6 ans (scores plus élevés pour les dimensions 'food responsiveness' et 'enjoyment of food' et scores moins élevés pour les dimensions 'satiety responsiveness', 'slowness in eating' et 'food fussiness') (Parkinson, Drewett, Le Couteur, & Adamson, 2010). Cependant, aucune étude n'a mis en lien les traits appétitifs, les capacités d'ajustement énergétique et le comportement alimentaire chez le nourrisson.

[8] Les méthodes pour évaluer les traits appétitifs sont présentées dans le **CHAPITRE 2**.

~ ~

Nous venons d'illustrer que les comportements alimentaires sont sous-tendus par des profils de traits appétitifs. Mais que sait-on des différences interindividuelles dans les patterns de consommation observables et de leurs liens avec la prise alimentaire et/ou le statut pondéral ?

3.1.2. Patterns de consommation

Les travaux menés chez l'adulte révèlent que la vitesse de consommation est positivement associée au statut pondéral (Ohkuma, Hirakawa, Nakamura, Kiyohara, Kitazono, & Ninomiya, 2015). Les individus qui mangent plus vite donc plus d'aliments sur une plus courte durée tendent à ingérer plus d'énergie ; une explication proposée est qu'une vitesse d'ingestion rapide ne permettrait pas au cerveau d'évaluer la charge calorique de l'aliment et donc d'intégrer les signaux de rassasiement (Robinson, Almiron-Roig, Rutters, de Graaf, Forde, Tudur Smith et al., 2014). Par ailleurs, la taille des bouchées est aussi plus importante chez des sujets adultes obèses, comparé aux sujets en surpoids ou normaux-pondéraux (Mattfeld, Muth, & Hoover, 2017) (**Figure 10**).

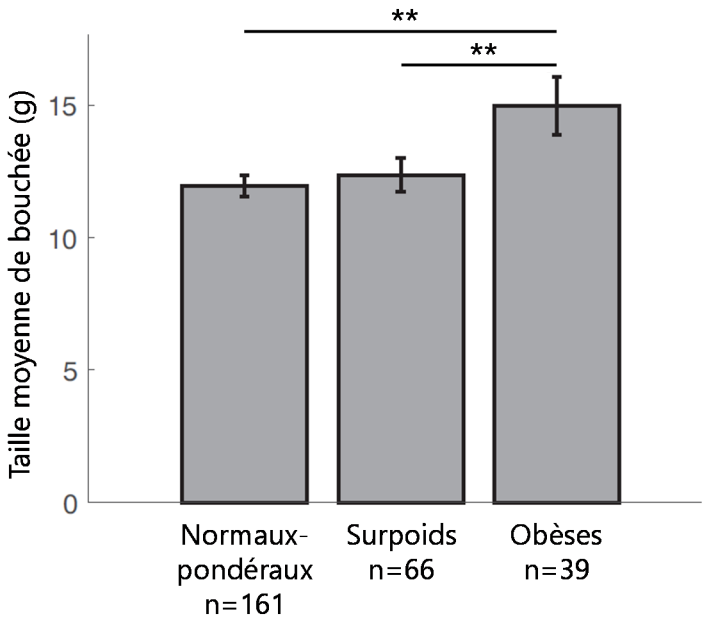


Figure 10 : Taille moyenne des bouchées (± 1 erreur standard), selon le statut pondéral (catégorisation selon la valeur de l'IMC). **P ≤ 0,002. Mattfeld et al., 2017.

Chez l'enfant, plusieurs études ont démontré qu'une vitesse de consommation plus élevée entraîne une augmentation de l'énergie ingérée, et est positivement associée au statut pondéral (Berkowitz, Moore, Faith, Stallings, Kral, & Stunkard, 2010; Fogel, Goh, Fries, Sadananthan, Velan, Michael et al., 2017a; He, Ding, Fong, & Karlberg, 2000). Parmi elles, et de façon intéressante, l'étude observationnelle de Fogel et collaborateurs (GUSTO) (2017a) a mis en évidence l'existence de 'mangeurs lents' et de 'mangeurs rapides' chez les enfants de 4,5 ans. Dans cette étude, les 'mangeurs rapides' sont caractérisés par une vitesse de consommation moyenne deux fois plus élevée que les 'mangeurs lents' (9,33 contre 4,43 g/min, respectivement). Aussi, les 'mangeurs rapides' ingèrent 75% d'energie en plus que les 'mangeurs lents', soit une différence de 131 kcal au cours d'un repas *ad libitum* (**Figure 11**).

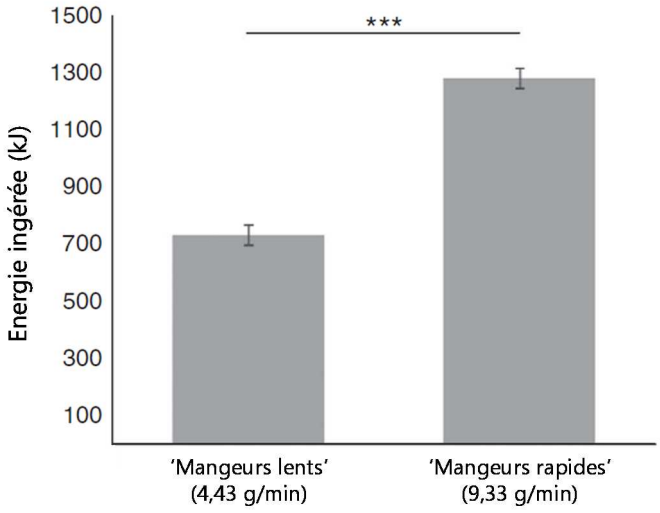


Figure 11 : Énergie ingérée lors du repas *ad libitum*, pour les 'mangeurs lents' (n = 192) et les 'mangeurs rapides' (n = 194). Énergie exprimée en kJ (1kJ = 0,24kcal). Les deux groupes de sujets ont été différenciés sur la base de la valeur médiane de la vitesse de consommation. Valeurs moyennes ajustées selon le sexe et l'ethnie. Les barres verticales correspondent à l'erreur standard. ANOVA, ***P < 0,001. Fogel et al., 2017a.

En essayant de caractériser plus finement ces profils de mangeurs, cette même équipe de chercheurs a montré que les 'mangeurs rapides' ingèrent de plus grandes quantités par bouchée, mâchent moins les aliments et gardent les aliments moins longtemps en bouche que les 'mangeurs lents'. Les auteurs proposent que le fait de manger rapidement (avec des bouchées plus grandes et plus fréquentes, moins de cycles masticatoires et un faible temps d'exposition en bouche) peut être qualifié de 'style alimentaire obésogène'. Les résultats montrent que les 'mangeurs rapides en surpoids' ont un pattern de consommation similaire

aux ‘mangeurs rapides sains’ (**Figure 12**). Toutefois, alors que les enfants ayant un statut pondéral sain sont tout autant susceptibles d’être classés en tant que ‘mangeurs lents’ ou ‘mangeurs rapides’, les enfants en surpoids ont 2,5 fois plus de risque d’être classés en tant que ‘mangeurs rapides’ (Fogel, Goh, Fries, Sadananthan, Velan, Michael et al., 2017b).

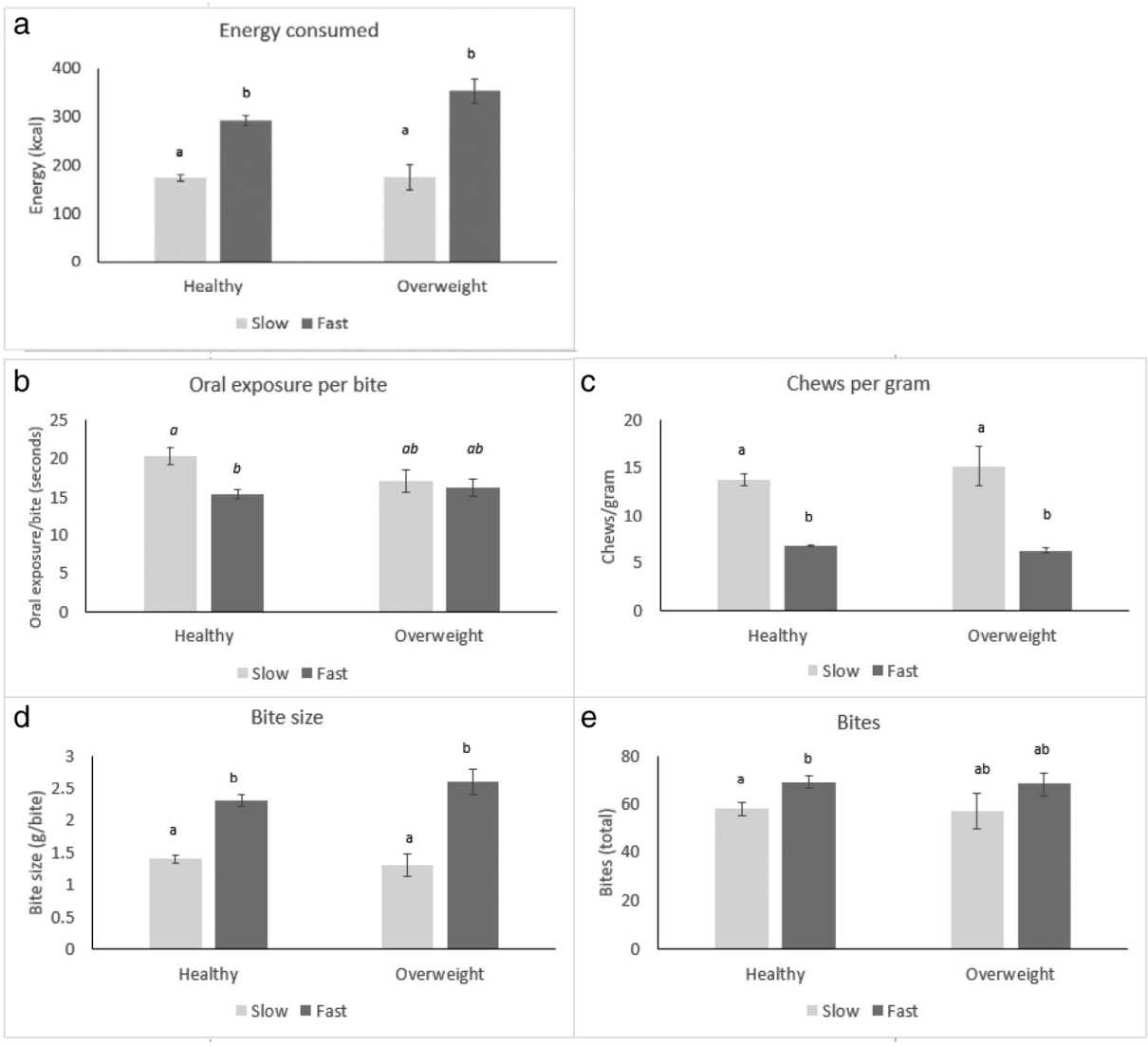


Figure 12 : Différences de pattern de consommation entre les ‘mangeurs lents’ et les ‘mangeurs rapides’ selon le statut pondéral (sain *vs* surpoids). Groupes ‘mangeurs lents sains’ : n = 166, ‘mangeurs lents surpoids’ : n = 20, ‘mangeurs rapides sains’ : n = 148, ‘mangeurs rapides surpoids’ : n = 44. Les annotations différentes (a et b) indiquent que les groupes diffèrent significativement (P < 0,001). Fogel et al., 2017b.

Il existe quelques évidences chez l’adulte, que la taille des bouchées et le temps d’exposition en bouche sont impliqués dans le processus de rassasiement (Forde, Van Kuijk, Thaler, De Graaf, & Martin, 2013). Dans la lignée de l’étude GUSTO, une étude prospective de cohorte chez des enfants d’âge préscolaire (30-42 mois) montre un lien positif entre la vitesse de

consommation (évaluée par questionnaire) à l'âge de 30 mois, et la statut pondéral (IMC) aux âges de 30 et 42 mois (**Figure 13**) (Okubo, Miyake, Sasaki, Tanaka, & Hirota, 2017). Malheureusement, dans ce travail, les capacités d'ajustement énergétique de ces très jeunes enfants ne sont pas mesurées.

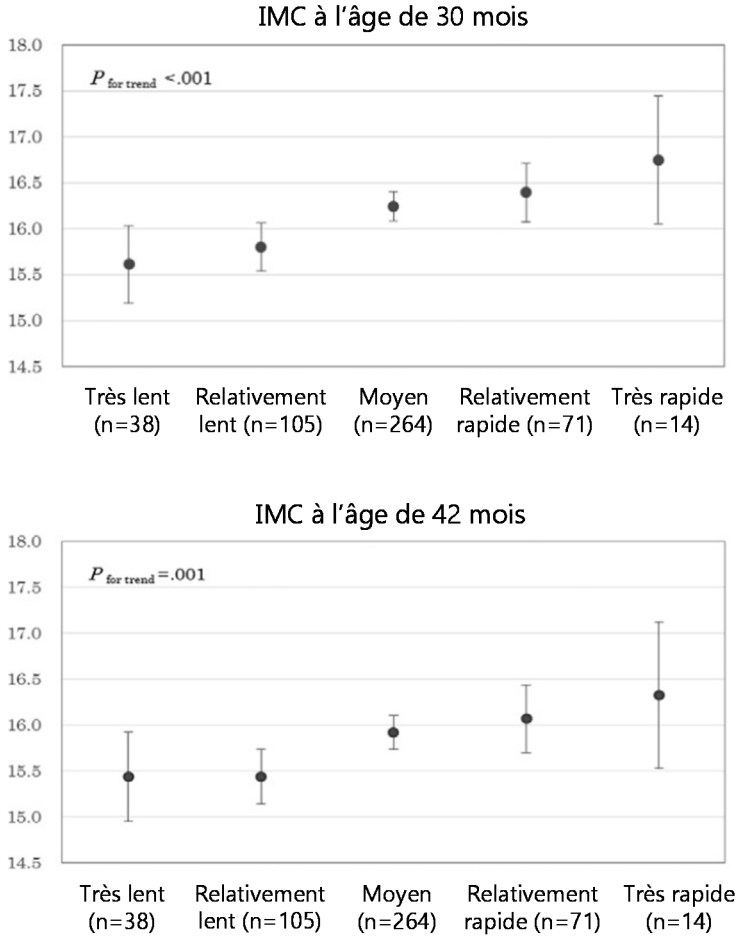


Figure 13 : Valeurs moyennes (et intervalle de confiance à 95%) de l'indice de masse corporelle (IMC, $kg.m^{-2}$) aux âges de 30 et 42 mois en fonction de la vitesse de consommation à l'âge de 30 mois. Okubo et al., 2017.

Le pattern de consommation n'a été décrit que chez des nourrissons en alimentation lactée exclusive. Les travaux d'Agras et collaborateurs menés dans les années 80 montrent qu'aux âges de 2 et 4 semaines, les sujets qui tètent avec vigueur (ex : succion plus rapide et plus forte) ingèrent plus d'énergie et présentent, aux âges de 1 et 2 ans, une adiposité (épaisseur du pli cutané) plus importante (Agras, Kraemer, Berkowitz, Korner, & Hammer, 1987). D'après les auteurs, le pattern de consommation observé au cours du premier mois de vie — qui dans ce cas se rapporte à la vitesse de consommation — déterminerait le degré d'adiposité future, au moins dans les deux premières années.

La vitesse de consommation moyenne sur le repas n'est pas le seul paramètre qui permet de distinguer les individus et de décrire la prise alimentaire. Une étude menée chez des enfants et adolescents (5-18 ans) révèle également que, contrairement aux sujets obèses ou atteints du syndrôme de Prader-Willi (sujets caractérisés par un comportement d'hyperphagie), les sujets normaux-pondéraux montrent une diminution de la vitesse de consommation (décélération) au cours du repas (**Figure 14**) (Lindgren, Barkeling, Hägg, Ritzén, Marcus, & Rössner, 2000).

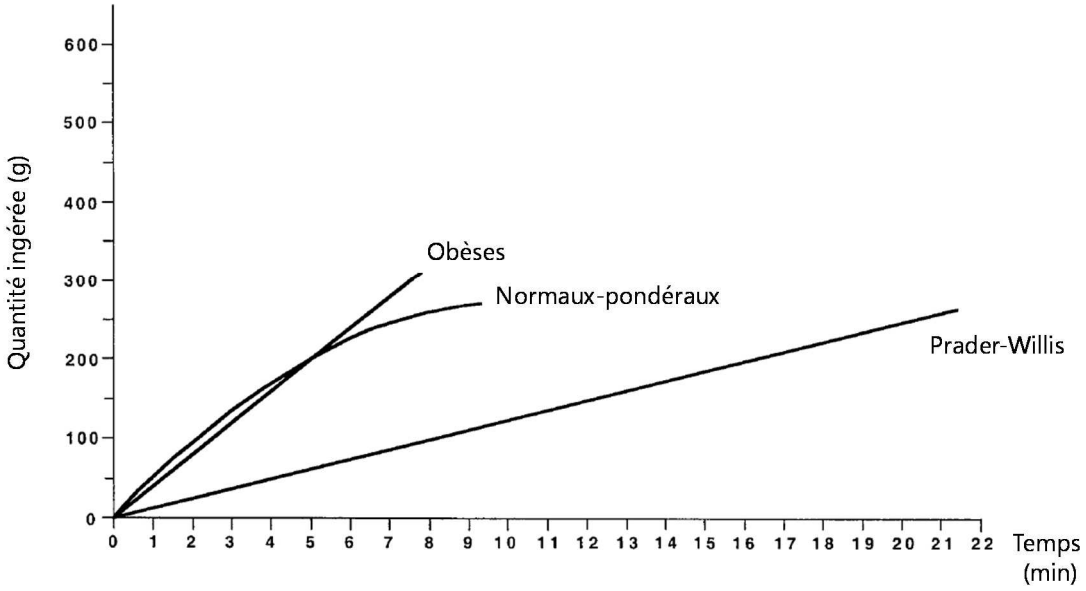


Figure 14 : Courbes typiques de consommation (quantités ingérées en fonction du temps) chez des sujets obèses, normaux-pondéraux et atteints du syndrôme de Prader-Willi. Les courbes on été obtenues sur la base des valeurs médianes de chaque groupe de sujets. Lindgren et al., 2000.

La décélération de la prise énergétique au cours du repas est l'un des indicateurs observables traduisant la prise en compte par l'individu de ses signaux de rassasiement. Dans cette étude, le fait que les sujets non sains ne montrent pas de décélération peut donc être interprété comme une 'non perception' des signaux de rassasiement, qui, dans le cas extrême des sujets atteints du syndrôme de Prader-Willi, entraîne une augmentation anormale de la durée de la prise alimentaire.

~ ~

Que ce soit chez l'adulte, l'enfant ou le nourrisson, il apparait que le pattern de consommation affecte la prise alimentaire, mais aussi le statut pondéral. La taille des bouchées, la vitesse de consommation ou encore l'apparition d'une décélération de la vitesse de consommation sont des paramètres pertinents qui permettent de caractériser des patterns de consommation et de déterminer si les sujets sont plus à même d'être à risque de sur-consommer. Alors que le pattern de consommation semble se mettre en place tôt dans la vie, aucune étude ne l'a décrit finement chez des nourrissons diversifiés ni ne l'a relié aux capacités d'ajustement énergétique.

3.2. Expérience alimentaire

3.2.1. Alimentation lactée

L'effet du mode d'alimentation lactée (sein ou biberon) sur les capacités d'ajustement énergétique ou plus largement sur la prise alimentaire et l'évolution du statut pondéral est largement documenté mais ne fait pas consensus (Woo & Martin, 2015). De nombreuses études suggèrent que, comparé aux nourrissons allaités, les nourrissons nourris au biberon auraient un pattern de consommation différent — en termes de quantités ingérées, de rythme des prises lactées et de force de succion — (Mizuno & Ueda, 2006; Sievers, Oldigs, Santer, & Schaub, 2002; Wright, Fawcett, & Crow, 1980), de moindres capacités d'ajustement énergétique (Heinig, Nommsen, Peerson, Lonnerdal, & Dewey, 1993; Li, Fein, & Grummer-Strawn, 2010) ou encore une prise de poids plus rapide (Appleton, Russell, Laws, Fowler, Campbell, & Denney-Wilson, 2018; Baird, Poole, Robinson, Marriott, Godfrey, Cooper et al., 2008).

Trois mécanismes sont avancés pour expliquer ces différences : 1) l'existence de facteurs confondants liés à la mère (statut pondéral, âge, niveau d'éducation, statut socioéconomique), 2) des différences de composition entre lait maternel et PPN (par exemple la présence de nombreux composés bioactifs dans le lait maternel telle que la leptine, ou des différences de composition en macronutriments telle que la composition en lipides), et 3) des différences comportementales et psycho-affectives entre les mères qui allaitent et celles qui donnent le biberon (Bartok & Ventura, 2009). En effet, contrairement à l'utilisation du biberon, l'allaitement favoriserait un style de nourrissage récepif, centré sur le nourrisson. N'ayant pas d'indice visuel pour évaluer les quantités ingérées, les mères allaitantes

excerceraient un moindre contrôle de la prise alimentaire et se baseraient sur les indices comportementaux de leur bébé (signaux de faim et rassasiement) pour initier et stopper la prise aliemntaire, ce qui favoriserait le développement de meilleures capacités d'ajustement énergétique chez ces nourrissons (Crow, Fawcett, & Wright, 1980). Les données d'une étude prospective de cohorte montre notamment que les mères qui allaitent longtemps se disent être moins restrictives envers leur bébé de 1 an (Taveras, Scanlon, Birch, Rifas-Shiman, Rich-Edwards, & Gillman, 2004). Une célèbre série de travaux basés sur des questionnaires révèle qu'indépendamment du type de lait (maternel *vs* PPN ou autres laits), les nourrissons nourris souvent au biberon entre 0 et 6 mois[9] sont plus enclins à terminer leur biberon à 6 mois et à 1 an (**Figure 15**) et à terminer leur assiette à 6 ans (Li, Fein, & Grummer-Strawn, 2008; Li, Fein, & Grummer-Strawn, 2010; Li, Scanlon, May, Rose, & Birch, 2014).

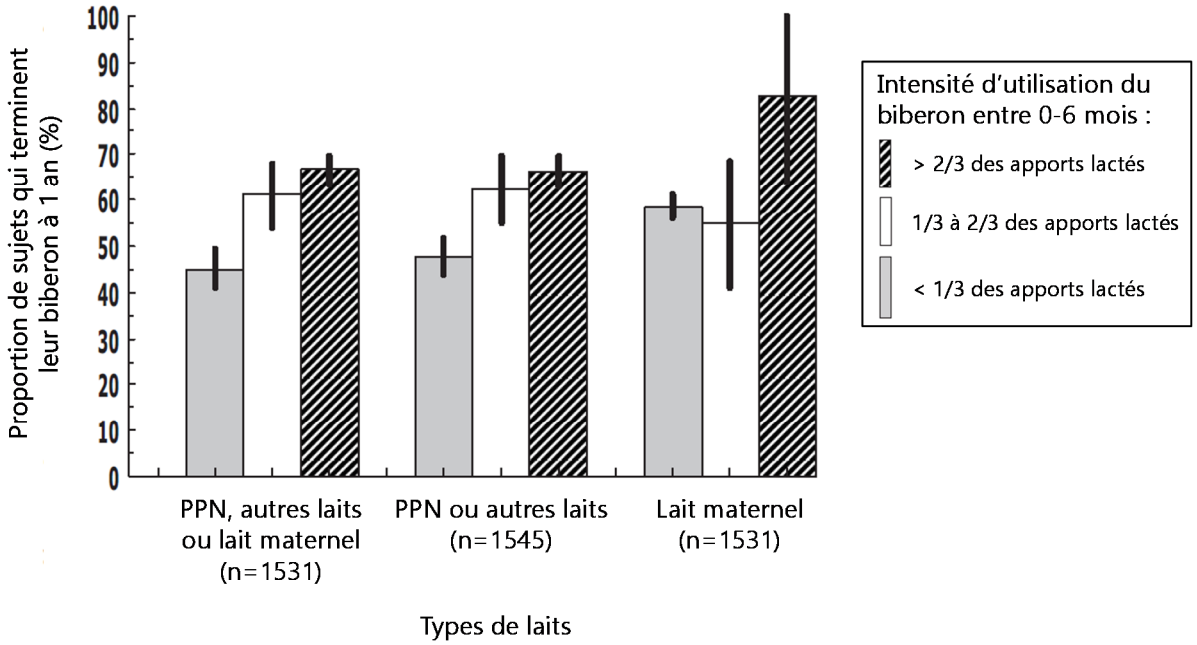


Figure 15 : Proportion de sujets qui terminent leur biberon à l'âge de 1 an selon l'intensité d'utilisation du biberon entre 0 et 6 mois et le type de lait. PPN : préparation pour nourrissons. Les 'autres laits' sont par exemple les laits de vache, de soja etc. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance (95%). Li et al., 2010.

[9] Au moins $^{1}/_{3}$ des apports lactés donnés au biberon

Les auteurs en concluent que l'utilisation du biberon dans les premiers mois de vie a un effet délétère sur les capacités d'ajustement énergétique dans la petite enfance. De plus, le mode d'alimentation lactée (sein *vs* biberon) prévaudrait sur le type de lait (maternel *vs* PPN ou autres laits). Notons toutefois que, dans ces études, la propension à terminer le biberon ou l'assiette a été utilisée comme indicateur des capacités d'ajustement énergétique. On peut se demander dans quelle mesure le fait de terminer son biberon ou son assiette traduit une moindre réactivité aux signaux internes de rassasiement. Les travaux de Ventura et collaborateurs (2017) menés chez des nourrissons de 2 à 6 mois viennent compléter ces résultats en démontrant que les mères qui rapportent utiliser fréquemment le biberon se disent aussi plus enclines à inciter leur bébé à terminer le biberon. De plus, la propension de la mère à 'forcer' la consommation est aussi associée au fait que la mère tire son lait et à certaines caractéristiques maternelles (ex : IMC avant la grossesse plus faible) et infantile (poids de naissance plus faible). À ce jour, et tel que souligné par les auteurs, il reste difficile de déterminer si les mères qui utilisent le biberon ont de plus en plus recourt à des pratiques de contrôle (forcer/restreindre les consommations) alors qu'elles n'ont pas choisi ce mode de nourrissage pour cette raison ou si c'est un mode de nourrissage choisi délibérement par les mères qui souhaitent contrôler les quantités ingérées.

Côté nourrisson, il s'avère que ceux allaités plus souvent ou plus longtemps dans leurs premiers mois de vie sont perçus comme étant plus sensibles à leurs signaux de rassasiement (score plus élevé pour la dimension 'satiety responsiveness' du CEBQ) entre 18 et 24 mois (Brown & Lee, 2012), mais aussi plus tard entre 3 et 6 ans (DiSantis, Collins, Fisher, & Davey, 2011).

Alors que l'ensemble de ces travaux suggèrent que l'allaitement, contrairement à l'utilisation du biberon, favoriserait de meilleures capacités d'ajustement énergétique, l'étude de Timby et collaborateurs (2014a) vient modérer ces conclusions. En effet, cette étude démontre expérimentalement que des nourrissons nourris au biberon (n = 160, âge < 2 mois) sont capables d'ajuster leur prise énergétique de façon précise en augmentant les quantités ingérées en réponse à une diminution de la densité énergétique d'une PPN (diminution de 66 à 60 kcal/100mL) (Timby, Domellof, Hernell, Lonnerdal, & Domellof, 2014a).

La qualité de l'interaction mère-nourrisson est probablement le facteur clé pour interpréter ces résultats. De par sa nature, l'allaitement maternel est un mode de nourrissage centré sur l'enfant plutôt que sur des décisions maternelles basées sur des critères externes

comme l'heure ou des quantités pré-définies. Les études expérimentales menées chez des nourrissons nourris au biberon révèlent que le style de nourrissage et/ou les caractéristiques individuelles (de la mère et/ou du nourrisson) peuvent moduler le pattern de consommation. Dans leur étude observationnelle, Golen & Ventura (2015) ont testé l'effet du tempérament du nourrisson (notamment les capacités d'orientation et de régulation évaluées par questionnaire[10]) et du niveau d'attention de la mère (distraite *vs* non distraite évaluée par observation) sur les quantités ingérées lors d'une prise lactée au biberon. Parmi les nourrissons perçus comme ayant de faibles capacités d'orientation/régulation, ceux des mères distraites ingèrent plus d'énergie que ceux des mères non distraites. En revanche, les nourrissons perçus comme ayant de hautes capacités d'orientation/régulation ingèrent des quantités similaires quel que soit le niveau d'attention de leur mère. Ainsi, l'interaction entre le niveau d'attention de la mère pendant le nourissage et les quantités ingérées est modérée par certaines dimensions tempéramentales du nourrisson. Des travaux expérimentaux se sont attachés à faire varier le degré de contrôle exercé par la mère durant le nourrissage au biberon. Dans l'étude de Ventura & Menella (2016), les mères étaient réparties selon deux conditions : dans la condition 'menée par la mère', ces dernières avaient pour instruction de nourrir leur bébé tel qu'elles le faisaient habituellement alors que dans la condition 'menée par le bébé', l'initiation et l'arrêt du repas étaient établis sur la base des signaux de faim et de rassasiement du nourrisson. Les nourrissons ingèrent de plus grandes quantités et ont une vitesse de consommation plus élevée lors de la condition 'menée par la mère'. Toutefois, les auteurs soulignent qu'il existe de grandes différences interindividuelles dans le différentiel d'énergie ingérée entre les deux conditions. Par un modèle de régression, les auteurs mettent en évidence que des apports énergétiques plus importants dans la condition 'menée par la mère' sont prédits par certaines caractéristiques infantiles tel qu'un âge plus élévé, des traits de tempérament (faible niveau de rythmicité et d'adaptabilité, niveau plus élevé d'humeur positive), mais aussi par des caractéristiques maternelles tel qu'un faible niveau de restriction pendant le nourrissage et un style de nourrissage 'plus réceptif'. Dans la même lignée, Ventura et Hernandez (2018) ont également fait varier le degré de contrôle exercé par la mère, mais cette fois en modifiant les caractéristiques du biberon (biberon classique transparent *vs* biberon opaque lesté). Lorsque le biberon ne permet pas à la mère d'évaluer les quantités

[10] De hautes capacités d'orientation et de régulation (évaluées par la version révisée de l'Infant Behavior Questionnaire (Putnam et al., 2014)) traduiraient de meilleures capacités d'ajustement énergétique.

ingérées (biberon opaque lesté), ces dernières se montrent plus réceptives aux signaux de leur bébé. Aussi, les nourrissons ingèrent de moindres quantités et ont une vitesse de consommation moins élevée. En revanche, l'effet du type de biberon est modulé par la clarté des signaux de faim et rassasiement émis par le nourrisson : ceux qui émettent des signaux clairs ingèrent de moindres quantités lors de la condition 'biberon opaque lesté' alors que ceux qui n'émettent pas de signaux clairs ingèrent des quantités similaires dans les deux conditions.

~ ~

La plupart des études s'accordent à dire que l'allaitement, contrairement à l'utilisation du biberon, a un effet bénéfique sur les capacités d'ajustement énergétique. En effet, indépendamment des différences de composition entre lait maternel et PPN, l'allaitement favoriserait un contrôle des quantités ingérées plutôt médié par le nourrisson que par la mère. Le pattern de consommation observé peut être significativement modulé par les caractéristiques individuelles, à la fois de la mère et du nourrisson. Le fonctionnement de la dyade est donc un facteur primordial dans la mise en place des patterns de consommation du nourrisson. Nous reviendrons sur ces aspects dans la partie ***3.3*** de ce chapitre.

3.2.2. Alimentation diversifiée

Tout comme pour l'alimentation lactée, on peut se demander si le type d'aliments offert (*quels aliments, quelle densité énergétique ?*) peut avoir une influence sur les capacités d'ajustement énergétique.

À ce jour, aucune étude n'a exploré le lien entre le type d'aliments diversifiés offerts aux nourrissons et leurs capacités d'ajustement énergétique. Les travaux menés chez l'adulte nous apportent cependant quelques informations et des pistes à explorer. Dans sa revue, Martin (2016) part du constat que notre environnement est caractérisé par une grande 'variabilité alimentaire' dans le sens où un aliment donné (ayant ses propres caractéristiques organoleptiques) peut avoir une densité énergétique très variable (du fait de marques différentes et/ou de versions allégées). Or, les apprentissages flaveur-nutriment (FNL, 'flavor-nutrient learning' en anglais) permettent à l'individu, après une période d'expositions répétées, d'associer les propriétés organoleptiques des aliments à leurs propriétés énergétiques. À la seule vue de l'aliment, le sujet serait alors en mesure d'anticiper les effets post-ingestifs. Ainsi, sur la base des travaux menés chez l'animal et l'adulte, l'auteure avance

que la variabilité de densité énergétique intra-aliment à laquelle un individu peut être exposé perturberait les apprentissages flaveur-nutriment, et aurait en conséquence un effet délétère sur ses capacités d'ajustement énergétique. En ce sens, la **Figure 16** illustre qu'une inconsistance entre les propriétés organoleptiques d'un aliment et sa densité énergétique ne permet plus au sujet (ici un animal) d'anticiper les effets post-ingestifs liés à la consommation de cet aliment (et donc dans quelle mesure le sujet s'attend à être rassasié). Bien que la plupart des travaux sur lesquels cette auteure base son hypothèse portent sur le modèle animal, il est probable que cela s'applique également aux humains, et peut-être aux nourrissons.

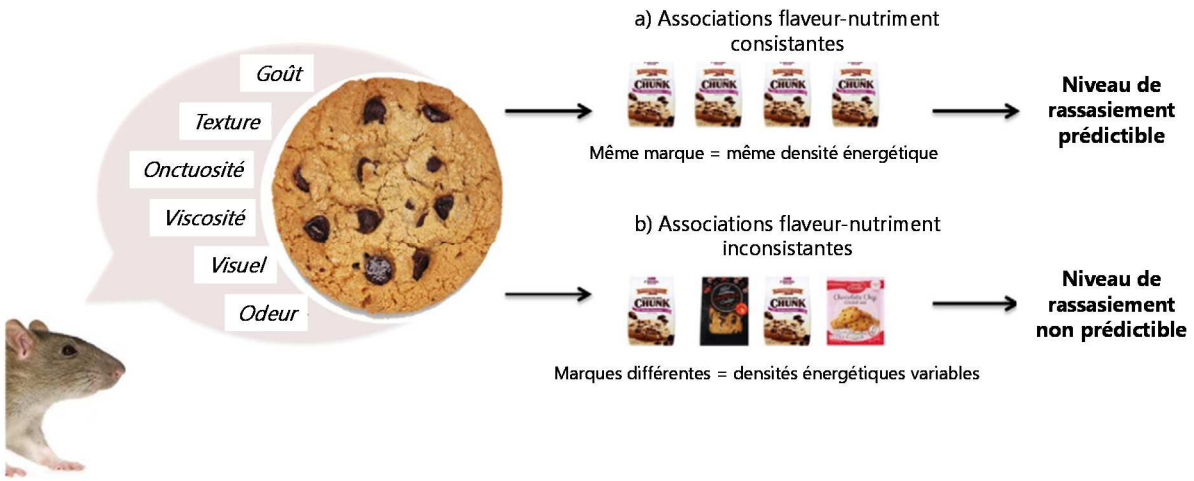


Figure 16 : Schéma illustrant comment la 'variabilité intra-aliment' de densité énergétique perturbe les apprentissages flaveur-nutriment. L'animal mémorise l'aliment sur la base de ses propriétés organoleptiques ('cookie') et, de par ses expériences passées, forme des attentes quant à l'effet rassasiant de l'aliment. a) L'exposition répétée à des associations flaveur-nutriment consistantes permet de prédire un certain niveau de rassasiement, alors que b) la 'variabilité intra-aliment' de densité énergétique augmente la probabilité d'expériences post-ingestives inconsistantes et perturbe ainsi la capacité à prédire le niveau de rassasiement. Martin, 2016.

Une étude expérimentale menée chez l'adulte valide l'hypothèse de Martin (2016) en montrant un lien négatif entre l'exposition à de la variabilité de densité énergétique pour la pizza peperroni et les capacités d'ajustement énergétique (Hardman, Ferriday, Kyle, Rogers, & Brunstrom, 2015). Les sujets exposés à une plus grande variabilité de densité énergétique pour la pizza peperroni (du fait de la consommation de multiples marques, variabilité maximale = 579 kcal/part de pizza) ajustent moins bien leur prise énergétique lors d'un repas

ad libitum précédé de la consommation d'une part de pizza peperroni (aliment pré-charge à 294 kcal/100 g).

Que savons-nous des apprentissages flaveur-nutriment chez le nourrisson ? Une étude expérimentale révèle que les nourrissons âgés de 4 à 8 mois sont capables d'apprendre à associer la flaveur d'un aliment à sa densité énergétique (Remy, Issanchou, Chabanet, & Nicklaus, 2013). Cet apprentissage étant possible, il nous reste à nous demander dans quelle mesure les nourrissons sont exposés à des inconsistances flaveur-nutriment pour un aliment donné (i.e., variabilité de densité énergétique intra-aliment).

Les données d'enquêtes nutritionnelles françaises basées sur des relevés de consommation révèlent, d'une part, qu'entre 4 et 36 mois les nourrissons sont exposés à différents types d'aliments, à savoir faits maison ou industriels, spécifiques bébés ou non spécifiques bébés (Bresson & Le Bris, 2013; Fantino & Gourmet, 2008). D'autre part, une transition alimentaire a lieu vers l'âge de 1 an : les nourrissons passent d'une alimentation spécifique bébé à une alimentation adulte (Ghisolfi, Bocquet, Bresson, Briend, Chouraqui, Darmaun et al., 2013). Une étude britannique ayant analysé la composition nutritionnelle des aliments spécifiques bébés du commerce pour les 6-9 mois montre que la densité énergétique moyenne des aliments à base de viande (58 kcal/100 g) ne diffère pas significativement de celle des aliments à base de légumes (61 kcal/100 g) (Zand, Chowdhry, Pollard, Pullen, Snowden, & Zotor, 2015). Ce résultat souligne que la densité énergétique des aliments infantiles du commerce est relativement homogène entre les recettes. Les données d'une enquête britannique (Carstairs, Craig, Marais, Bora, & Kiezebrink, 2016) et d'une étude allemande basée sur des relevés de consommation (Hilbig, Foterek, Kersting, & Alexy, 2015) montrent en revanche que la densité énergétique médiane des aliments infantiles du commerce est significativement inférieure à celle des aliments faits maison (évaluée sur la base de recettes pour ces derniers). Ainsi, ces études nous donnent quelques informations sur la variabilité de densité énergétique inter-aliment à laquelle les nourrissons peuvent être exposés. Outre le type d'aliments offerts, les pratiques de diversification en termes d'ajout d'ingrédients peuvent également influer sur la densité énergétique des aliments consommés par les nourrissons. Cette fois, cela peut donner des indications sur la variabilité de densité énergétique intra-aliment. En France par exemple, il est recommandé d'ajouter, à partir de 6 mois, une cuillère à café de matière grasse dans les purées (Fewtrell, Bronsky, Campoy, Domellöf, Embleton, Fidler Mis et al., 2017). En pratique, certaines mères ajoutent de la crème et du beurre dans leurs préparations culinaires (Maier, Chabanet, Schaal, Leathwood, &

Issanchou, 2007). Les données de la cohorte française ELFE (Etude Longitudinale Française depuis l'Enfance) révèlent qu'entre 3 et 10 mois, 64% des nourrissons reçoivent des ajouts de matières grasses (huile, margarine, beurre, crème) et environ 30% des ajouts de sucre et de sel (Bournez, Ksiazek, Charles, Lioret, Brindisi, de Lauzon-Guillain et al., 2019). Ensemble, ces données nous permettent de suggérer que les nourrissons peuvent être exposés à de la variabilité de densité énergétique inter- et intra-aliments. Néanmoins, à ce jour, l'exposition des nourrisons à de la variabilité de densité énergétique n'a jamais été décrite.

Si l'on revient à la diversification alimentaire, il existe deux grandes stratégies de présentation des aliments : la stratégie classique consiste à offrir les premiers aliments sous forme de purées lisses, puis d'augmenter graduellement la variété et la complexité des textures avec l'âge (ex : morceaux de plus en plus gros). Les aliments en purée sont généralement offerts à la cuillère par le parent. La deuxième stratégie dite de 'diversification menée par l'enfant' (DME ou 'baby-led weaning' en anglais) consiste à présenter dès le début de la diversification les aliments dans leur forme brute (non mixés, crus ou cuits ; un fleuret de broccoli blanchi par exemple) et de laisser une totale autonomie au nourrisson : ce dernier est libre de sélectionner, saisir, porter en bouche et consommer les aliments à sa propre initiative (Brown & Lee, 2011a; Rapley, 2011). Il a été montré que les mères qui utilisent la DME rapportent exercer un moindre degré de contrôle sur la prise alimentaire de leur bébé (ex : moins de pression, de restriction) et être moins inquiétes vis-à-vis du statut pondéral de leur bébé (Brown & Lee, 2011b). Des travaux ont testé l'effet du mode de diversification (stratégie classique *vs* DME) sur le degré de réactivité des nourrissons à leurs signaux internes de faim/rassasiement (évalué par les parents par questionnaire) et sur leur statut pondéral. Par exemple, une étude longitudinale menée sur près de 300 nourrissons montre que comparé aux nourrissons nourris avec une stratégie de diversification classique entre 6 et 12 mois ceux dont les parents ont choisi d'utiliser la DME sont perçus par leur mère comme étant plus réactifs à leurs signaux internes de rassasiement (score plus élevé pour la dimension 'satiety responsiveness' du CEBQ) et ont un statut pondéral (IMC : poids et tailles reportés par les parents) moins élevé entre 18 et 24 mois (Brown & Lee, 2015). Les auteurs suggèrent que la stratégie de DME permet aux nourrissons de mieux ajuster leur prise alimentaire et de suivre une trajectoire de croissance plus saine. Toutefois, dans leur essai randomisé (BLISS, Baby Led Introduction to SolidS), Taylor et collaborateurs (2017) ont testé l'effet d'une version améliorée de la DME entre 6 et 24 mois (avec en plus des recommandations sur l'introduction d'aliments riches en fer, à haute densité énergétique et préparés de façon à limiter les risques

d'étouffement) sur le statut pondéral. Aucune différence de statut pondéral (z-score d'IMC : poids et taille mesurés par un expérimentateur) n'est retrouvée à 12 et 24 mois entre les nourrissons du groupe contrôle (diversification classique) et ceux du groupe interventionnel (DME). Par ailleurs, et de façon surprenante, les nourrissons du groupe interventionnel sont perçus comme étant moins réactifs à leur signaux internes de rassasiement (score moins élevé pour la dimension 'satiety responsiveness' du CEBQ) que ceux du groupe contrôle à 24 mois. Tel que souligné par les auteurs, ces résultats sont en opposition directe avec ceux rapportés par Brown & Lee (2015) car ils suggèrent que la DME ne serait pas une stratégie bénéfique sur le tempérament alimentaire. Les différentes méthodologies employées (notamment dans la récolte des données anthropométriques), ou encore l'implication de facteurs confondants (statut socio-économique des parents, degré de contrôle exercé par la mère) sont des arguments avancés par les auteurs pour expliquer ces différences. Une revue de la littérature souligne, qu'à ce jour, il existe peu de preuves de l'effet bénéfique de cette stratégie sur les comportements alimentaire et les trajectoires de croissance (Brown, Jones, & Rowan, 2017). La DME reste une stratégie relativement récente (premier ouvrage destiné au public paru en 2008 en Angleterre (Rapley & Murkett, 2008)) et fait l'objet d'un intérêt grandissant. Notons toutefois que, bien que la DME soit très populaire dans les pays anglo-saxons (notamment en Angleterre), elle reste une stratégie de diversification peu démocratisée en France.

~ ~

Les études menées chez l'adulte suggèrent que l'exposition à de la variabilité de densité énergétique pour un aliment donné a un effet délétère sur les capacités d'ajustement énergétique. Chez le nourrisson, cette question n'a jamais été explorée et ouvre un champ de recherche. En effet, il semble que 1) les nourrissons sont capables d'apprendre à associer la flaveur d'un aliment à sa densité énergétique, et 2) ils sont exposés au cours de la diversification alimentaire à des aliments différents avec ou sans ajout d'ingrédients (selon les pratiques parentales), et sont donc potentiellement exposés à de la variabilité de densité énergétique intra-aliment.

3.3. Environnement social : la dyade parent-nourrisson

3.3.1. Cadre théorique

Pour interagir, le parent et le nourrisson/l'enfant doivent apprendre à reconnaître et interpréter les signaux de communication (verbaux et non verbaux) émis par l'un et par

l'autre. Le 'style parental' se définit comme les attitudes et comportements qui régissent l'ensemble des interactions au sens large, inhérentes à tous les domaines de la parentalité, y compris le nourrissage (Darling & Steinberg, 1993; Ventura & Birch, 2008). La littérature identifie quatre types de 'style parentaux' définis selon deux dimensions que sont le degré de réceptivité du parent (dans quelle mesure le parent est attentif et coopère avec son enfant) et le degré d'exigence (dans quelle mesure le parent contrôle et fixe des règles) (Maccoby & Martin, 1983). Aussi, un parent peut avoir un style autoritaire (réceptivité - / exigence +), indulgent (réceptivité + / exigence -), démocratique (réceptivité + / exigence +) ou négligeant (réceptivité - / exigence -). Dans le domaine alimentaire, il a été montré que le style démocratique (fixer des règles tout en étant attentif à son enfant) est plutôt propice à la mise en place de préférences alimentaires saines, car serait associé à la consommation de produits laitiers et de légumes chez l'enfant (Patrick, Nicklas, Hughes, & Morales, 2005). Dans la même lignée, des jeunes enfants de 20 à 36 mois sont perçus comme étant plus néophobes par rapport à l'alimentation lorsque leur mère adopte un style de nourrissage autoritaire ou permissif (soit guidé par les préférences de l'enfant) (Rigal, Chabanet, Issanchou, & Monnery-Patris, 2012).

L'une des principales caractéristiques de la prise alimentaire du nourrisson est qu'elle implique une interaction prolongée entre *celui qui est nourri* et *celui qui nourrit*, ce dernier étant généralement la mère (Dupuy, 2017). Le parent nourricier va décider des aliments à offrir mais également des quantités, du moment du repas, ou encore de la façon dont il va offrir ces aliments. Ainsi, la qualité de l'interaction entre le parent et le nourrisson est un élément central pouvant moduler les consommations du nourrisson. En effet, afin que la prise alimentaire soit adéquate (ni trop, ni trop peu), les deux membres de la dyade doivent intéragir de façon concordante : on parle du concept de 'nourrissage réceptif' ('responsive feeding' en anglais). Côté parent, le nourrissage réceptif implique 1) de mettre en place un contexte de nourrissage plaisant (ex : enfant assis confortablement, présentation d'aliments sains, adaptés aux besoins de l'enfant), 2) d'être attentif aux signaux de faim et de rassasiement émis par l'enfant et 3) de répondre à ces signaux rapidement et de façon adaptée au stade de développement de l'enfant (Black & Aboud, 2011). Le nourrisson doit quant à lui émettre des signaux de faim et de rassasiement suffisament clairs pour que le parent puisse y répondre. C'est ainsi qu'une routine peut s'installer dans le contexte alimentaire ; celle-ci est essentielle pour l'enfant car elle lui permet d'anticiper les réponses comportementales de son

parent et d'acquérir confiance et autonomie. Le **Tableau 1** illustre les étapes et principes clés nécessaires à la mise en place d'un nourrissage réceptif.

Tableau 1 : Nourrissage réceptif : étapes et principes clés. Pérez-Escamila et al., 2017.

Key Steps	Key Principles
▪ Child displays hunger signals ▪ Caregiver properly interprets hunger signals ▪ Predictable feeding response from caregiver ▪ Child displays satiety signals ▪ Predictable 'stop feeding' response from caregiver	▪ Pleasant, warm, and nurturing feeding environment ▪ Child seated comfortably facing caregiver and others ▪ Clear and consistent reciprocal communication of feeding expectations ▪ Predictable feeding schedules help ensure child is hungry when offered food ▪ Offering of healthy developmentally appropriate beverages and healthy, tasty foods ▪ Responding promptly to the child's hunger and satiety signals ▪ Feeding response needs to be emotionally supportive, contingent, and developmentally appropriate

Il est largement admis qu'un 'nourrissage non réceptif', résultant d'une interaction discordante entre le parent et le nourrisson est associé à un risque de surpoids chez le jeune enfant (Cristina Lindsay, Sitthisongkram, Greaney, Wallington, & Ruengdej, 2017; DiSantis, Hodges, Johnson, & Fisher, 2011; Hurley, Cross, & Hughes, 2011). Le modèle théorique proposé par Disantis et collaborateurs (2011) (**Figure 17**) illustre qu'un 'nourrissage non réceptif', entraînerait une augmentation de la fréquence des repas et des quantités ingérées, ce qui perturberait les capacités d'ajustement énergétique du nourrisson et mènerait, à terme, à une augmentation de la prise pondérale.

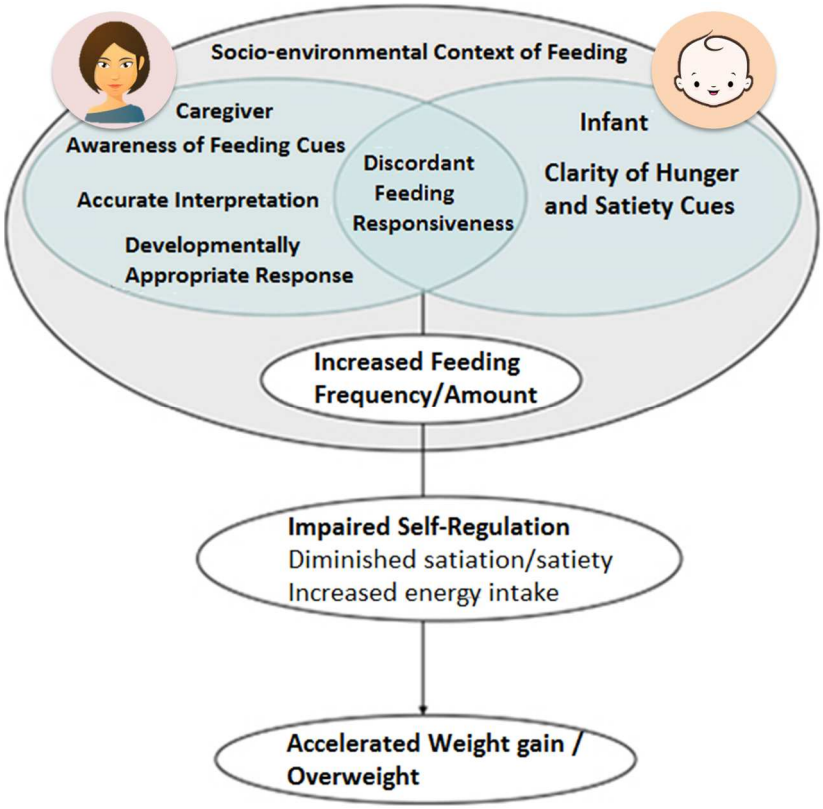


Figure 17 : Modèle théorique illustrant comment un 'nourrissage non réceptif' (interaction discordante entre le parent et le nourrisson) peut mener à une accélération du gain de poids. Ce modèle illustre également que la dyade parent-nourrisson évolue au sein d'un contexte socio-environnemental plus large, lui-même pouvant affecter la qualité de l'inreraction dyadique. DiSantis et al., 2011.

3.3.2. Côté nourrisson : diversité des signaux de faim et de rassasiement émis

Sur la base d'observations, Hodges et collaborateurs (2013) ont tenté de décrire la nature des signaux de faim et de rassasiement émis par les nourrissons avant l'âge de 2 ans. Les auteurs distinguent 3 catégories de signaux reflétant une séquence temporelle d'intensité croissante : les signaux précoces, qui sont plutôt subtils et qui se manifestent au niveau de la bouche ou du visage (ex : se lécher les lèvres, grimacer), les signaux actifs, plus visibles, qui impliquent des mouvements du corps (ex : essayer d'attraper les aliments, repousser le biberon ou la cuillère), et les signaux tardifs, très manifestes, qui traduisent un mal être (ex : pleurer, vomir). L'ensemble de ces signaux sont listés dans le **Tableau 2**. Il est intéressant de constater que les pleurs (signal tardif) sont identifiés par les auteurs comme étant à la fois un signal de faim et de rassasiement. Les pleurs se révèlent être une source de stress pour le parent qui les interprète généralement comme étant un signal de faim (McNally, Hugh-Jones, Caton, Vereijken, Weenen, & Hetherington, 2016). Ainsi, pour interpréter les pleurs d'une façon ou d'une autre, on peut supposer que le parent se base aussi sur des indices contextuels

(heure de la journée, en cours de prise alimentaire ou non). Pour le nourrisson, les pleurs sont la première forme de communication utilisée pour manifester ses états internes. Parce que les pleurs peuvent être émis pour communiquer de nombreux états autres que la faim, la pratique qui consiste à systématiquement nourrir son bébé en réponse aux pleurs peut mener à une sur-consommation alimentaire et détériorer les capacités du nourrisson à ajuster sa prise alimentaire (Birch & Doub, 2014).

Tableau 2 : Ensemble des signaux de faim et rassasiement observables au cours du repas chez des nourrissons de 7 à 24 mois. D'après l'échelle 'Responsiveness to Child Feeding Cues Scales (RCFCS)' développée par Hodges et al., 2013. Tableau issu de Hodges et al., 2016.

Child feeding cues	Early	Active	Late
Hunger/Receptiveness	Sucking	Rooting/nuzzling	Moving head frantically from side to side
	Opening/closing mouth repeatedly	Asking for food/excitatory or affirming vocalization	Crying
	Smacking/licking lips	Excitatory limb movement	Temper tantrum
	Increased alterness	Leaning/crawling/walking toward food	
		Bring or show bottle/spoon/cup/food to caregiver	
		Hitting caregiver on arm/chest	
		Motion to be placed in feeding location	
		Postural attention	
		Settling into feed/decrease in tension	
		Open mouth wide/latching on/feeding self	
		Fidgeting or squiming	
		Fussing or whining	
Fullness/Disinterest	Hand-to-face	Pushes tray of feeding hand away	Crying
	Decreased muscle tone	Gives back food/ustensils/bottle/cup	Sleeping
	Does not open mouth until spoon at lips	Pulls/tunr away abruptly	Physically struggling/arching
	Takes interest in surroundings/looks away	Falling asleep	Vomiting
	Decreased activity level	Maximal lateral gaze aversion	

Child feeding cues	Early	Active	Late
	Lip grimace/pout/frown	Refuse to open mouth	
	Slows or pauses	Takes off bib/attempts to leave feeding location	
	Gaze aversion	Biting spoon/nipple	
	Turning head in response to food	Detach from nipple	
		Tray pound	
		Saying 'no' or shaking head 'no'	
		Plays with food or surrounding items	
		Spitting or ejection food from mouth	
		Fussiness or whining	
		Physically agitated/squiming	

Certains auteurs ont tenté de décrire des séquences temporelles d'apparition/disparition des signaux de faim et de rassasiement. Ainsi, dans leur étude observationnelle menée chez des nourrissons de 6 à 24 mois, Shloim et collaborateurs (2018) montrent que la fréquence du signal de rassasiement 'taper sur la table' augmente au cours du repas alors que la fréquence de certains signaux de faim comme 'une attention visuelle portée vers la mère' diminuent au cours du repas. Une étude récente s'est notamment focalisée sur l'attention visuelle des nourrissons (6-18 mois) et montre que la fréquence des regards dirigés vers les aliments diminue progressivement au cours du repas, au profit d'une attention visuelle dirigée vers les objets environnants (McNally, Hugh-Jones, Caton, Vereijken, Weenen, & Hetherington, 2019). Ce shift attentionnel visuel traduit un désintérêt progressif pour la prise alimentaire et serait l'une des manifestations comportementales du rassasiement.

Les signaux de faim et de rassasiement sont variés et différents d'un individu à l'autre. Une revue de la littérature souligne que l'émission des signaux par le nourrisson (en termes de fréquence, de nature), et la réception par le parent (comment il interprète les signaux) sont tous deux modulés par de nombreux facteurs tel que le mode d'alimentation lactée et/ou le stade de développement de l'enfant et/ou les caractéristiques individuelles (tempérament, préférences alimentaires, réceptivité de la mère aux signaux de son bébé) (**Figure 18**) (McNally, Hugh-Jones, Caton, Vereijken, Weenen, & Hetherington, 2016).

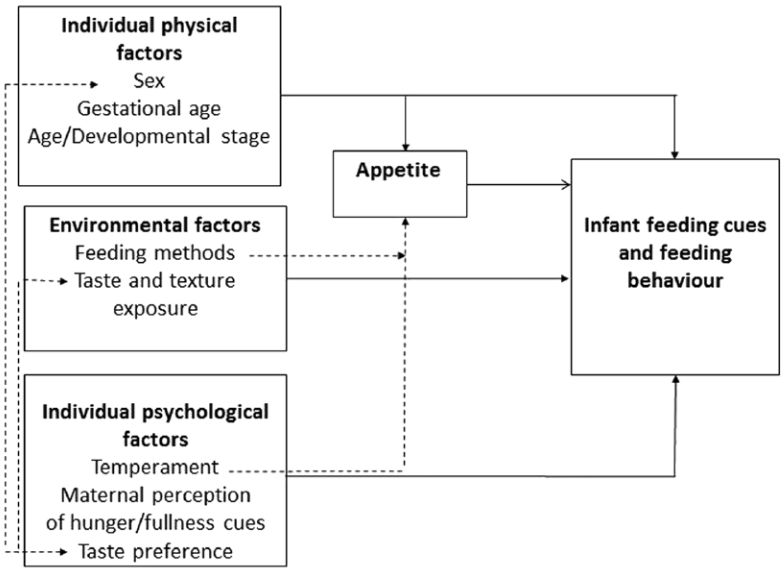


Figure 18 : Principaux facteurs qui influencent l'émission des signaux de faim et de rassasiement et le comportement alimentaire dans les 2 permières années de vie. Traits pleins : relations établies, traits en pointillés : impact des facteurs individuels sur le comportement de consommation et interactions entre ces facteurs.

Concernant les facteurs infantiles modulant l'émission des signaux de faim et de rassasiement, l'âge du nourrisson est un facteur qui peut moduler à la fois l'émission, mais aussi l'interprétation des signaux par la mère. Avec l'âge, les signaux sont communiqués de façon plus intense (Shloim, Shafiq, Blundell-Birtill, & Hetherington, 2018) et (peut-être en conséquence), sont interprétés plus facilement par la mère (Hodges, Johnson, Hughes, Hopkinson, Butte, & Fisher, 2013). Lorsqu'elles sont interrogées, les mères rapportent que les signaux de faim (ex : ouvrir la bouche à l'approche de la cuillère) apparaissent à un âge plus précoce (entre 4,4 et 5,7 mois) que les signaux de rassasiement (ex : fermer la bouche pour rejeter l'aliment) (entre 5,8 et 7,5 mois) (Skinner, Carruth, Houck, Moran, Reed, Coletta et al., 1998). Une raison évolutive peut être avancée : pour le nourrisson, signaler son état de faim est une urgence plus grande que signaler son état de rassasiement. Dans leur étude, Hodges et collaborateurs (2016) montrent que jusqu'à l'âge de 6 mois, le fait de s'endormir pendant le repas ou de lâcher le sein/la tétine (baisse du tonus musculaire) sont les signaux actifs de rassasiement les plus fréquents (**Figure 19**).

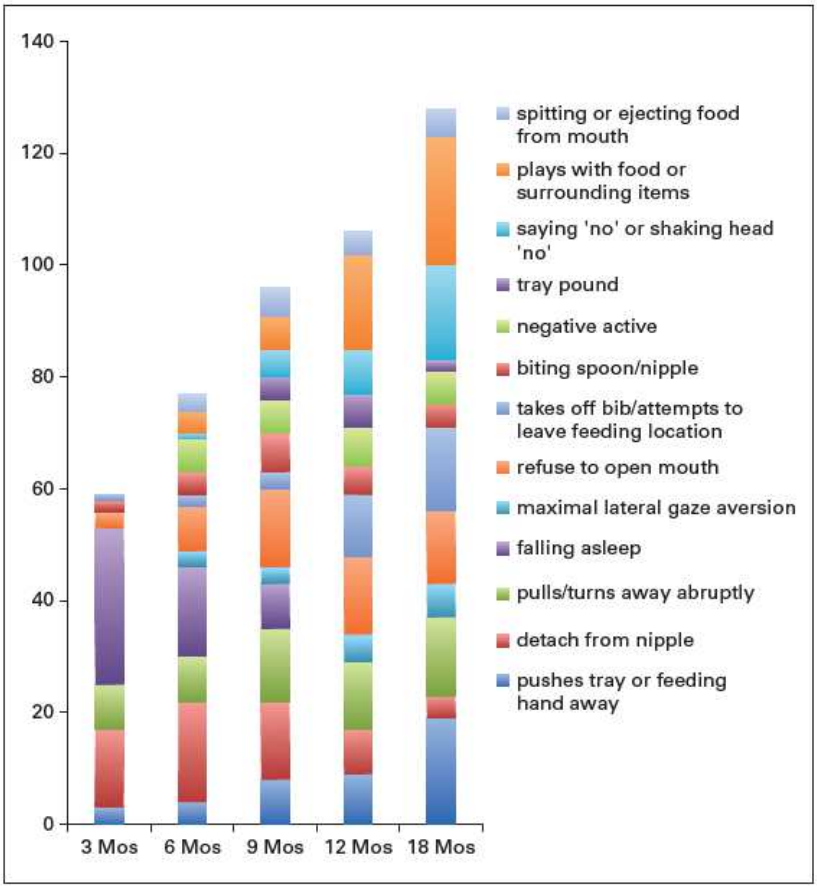


Figure 19 : Signaux actifs de rassasiement observés chez les nourrissons de 3 à 18 mois. Hodges et al., 2016.

Entre 9 et 18 mois, les signaux de rassasiement sont de plus en plus diversifiés et dominés par des signaux plus saillants comme jouer avec la nourriture ou les objets environnants, repousser les aliments ou exprimer 'non' (verbalement ou non). Cette évolution vers des signaux communiqués de façon plus intense va de pair avec le développement moteur et langagier des nourrissons. À la vue d'une telle diversité de signaux, on peut facilement envisager qu'une mère, bien qu'elle ait le désir d'être réceptive aux signaux de son bébé, puisse éprouver des difficultés à les interpréter correctement lorsqu'ils sont subtils ou changeants et/ou s'ils ne correspondent pas à ses attentes. Des études basées sur des observations révèlent que l'allaitement favorise la communication entre la mère et le nourrisson : ces derniers émettent plus de signaux, et la mère est aussi plus sensible à ces signaux (Hetherington, 2017). Ainsi, une étude ayant comparé les interactions mère-nourrisson lors des prises lactées (sein *vs* biberon) montre, qu'en moyenne, les nourrissons allaités émettent plus souvent de signaux de faim et de rassasiement au cours du repas que les nourrissons nourris au biberon (Shloim, Vereijken, Blundell, & Hetherington, 2017). En

particulier, au cours du premier tiers du repas, les nourrissons allaités signalent plus souvent leur état de faim par des mouvements de bouche ('succion', 'bouche ouverte'), que les nourrissons nourris au biberon. Pour signaler leur rassasiement, les nourrissons allaités sont plus enclins à rester immobiles que les nourrissons nourris au biberon.

~ ~

Les nourrissons peuvent émettre des signaux très variés pour signaler leurs états de faim et de rassasiement. Mais comment sont-ils reçus ?

3.3.3. Côté mère : degré de contrôle et réceptivité aux signaux émis par le nourrisson

Évaluer le degré de réceptivité de la mère aux signaux du nourrisson implique d'étudier le fonctionnement de l'interaction dans ses aspects dynamiques : dans quelle mesure la mère sait lorsque son enfant a faim ou n'a plus faim, et comment ajuste-t-elle son comportement en réponse à ces signaux ? *In fine*, ces pratiques de nourrissage, en ayant un effet sur le comportement alimentaire du nourrisson, peuvent avoir un effet sur la prise alimentaire et le statut pondéral du nourrisson. Pour mesurer le degré de nourrissage réceptif (ce qui n'est pas chose aisée), la plupart des études se sont attachées à décrire certains *comportements* de la mère au cours du nourrissage. Ces *comportements* peuvent refléter deux dimensions qui ne sont pas nécessairement indépendantes l'une de l'autre et qui sont 1) le degré de contrôle exercé par la mère (qui est inversement proportionel au degré d'autonomie laissé à l'enfant) et 2) le degré de réceptivité de la mère aux signaux de faim et rassasiement de son enfant.

Évaluer le degré de contrôle revient à étudier certaines pratiques de nourrissage telles que la propension de la mère à décider des quantités, du type d'aliments et/ou de la façon dont le repas doit se dérouler. Il a été montré que le degré de contrôle exercé par la mère (propension à restreindre ou forcer la prise alimentaire) à l'âge de 6 mois interfère avec les capacités du nourrisson à réguler sa prise de poids entre 0 et 12 mois (Farrow & Blissett, 2006). En effet, lorsque les mères exercent un degré de contrôle faible ou modéré (supervisent le repas tout en permettant au nourrisson d'être autonome), les nourrissons semblent réguler leur prise de poids au cours de la première année : ceux qui prennent du poids rapidement entre 0 et 6 mois montrent un ralentissement de la prise de poids entre 6 et 12 mois tandis que ceux qui prennent du poids lentement entre 0 et 6 mois montrent une accélération de la prise de poids entre 6 et 12 mois (**Figure 20**). En revanche, lorsque les mères exercent un haut

degré de contrôle, cette régulation de la prise de poids n'est plus observée : les nourrissons qui ont une prise de poids rapide entre 0 et 6 mois continuent de prendre du poids très rapidement entre 6 et 12 mois, et, de la même façon, ceux qui prennent du poids lentement entre 0 et 6 mois continuent de prendre trop peu de poids entre 6 et 12 mois.

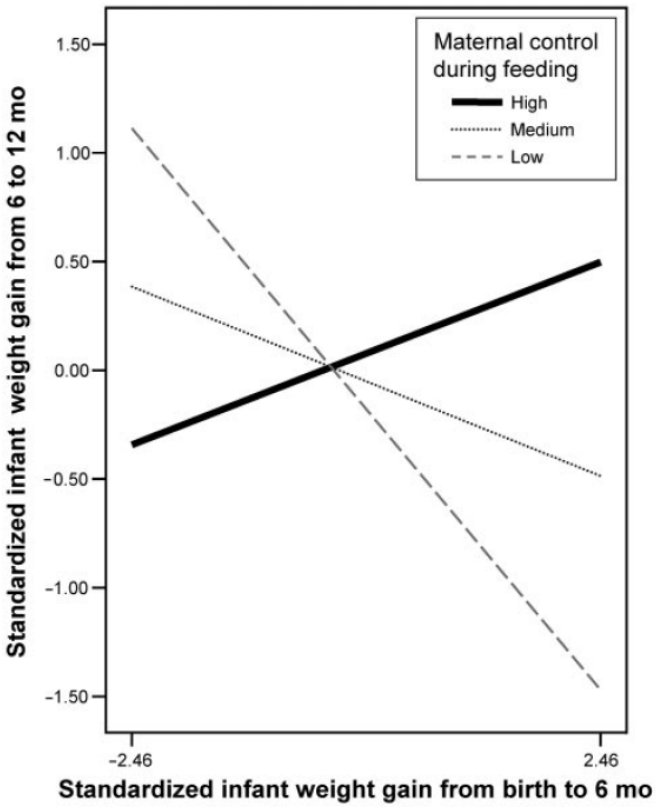


Figure 20 : Pentes des régressions du gain de poids standardisé entre 6 et 12 mois en fonction du gain de poids standardisé de la naissance à 6 mois pour trois niveaux de contrôle maternel. Un haut degré de contrôle correspond à 1 écart-type en-dessous de la moyenne, un faible degré de contrôle correspond à 1 écart-type au-dessus de la moyenne, un contrôle modéré correspond à la valeur moyenne du contrôle maternel pendant le nourrissage à 6 mois. Farrow & Blissett, 2006.

Les auteurs concluent que si les nourrissons prennent beaucoup de poids entre 0 et 6 mois, les mères adoptent des pratiques restrictives dans le but de limiter la prise de poids de leur bébé ; au contraire, si les nourrissons prennent peu de poids entre 0 et 6 mois, les mères adoptent des pratiques de 'pression à manger', visant à augmenter la prise de poids de leur bébé. Dans les deux cas, ces pratiques de contrôle seraient défavorables. En revanche, il s'avère que le degré de contrôle exercé par la mère sur son nourrisson à l'âge de 12 mois est négativement associé au poids à l'âge de 24 mois (Farrow & Blissett, 2008). À 12 mois, exercer un haut degré de contrôle semble donc être bénéfique pour limiter une prise de poids excessive. Toutefois, les auteures suggèrent que la mère pourrait persister dans cette pratique au-delà de 2 ans. Or,

persister dans cette pratique (exercer un fort contrôle sur l'alimentation) s'avère ne plus être bénéfique à long terme : les enfants plus âgés sujets à un haut degré de contrôle montrent en effet des comportements de désinhibition dans le domaine alimentaire. Ils sur-consomment des aliments palatables à haute densité énergétique dès qu'ils en ont l'occasion ; ce qui est associé à un risque de surpoids (Faith, Scanlon, Birch, Francis, & Sherry, 2004). D'après Farrow & Blissett (2008), un fort degré de contrôle parental à 12 mois ne serait donc pas une pratique à encourager. Chez l'enfant de 4-5 ans, une étude a montré une corrélation négative entre le degré de contrôle exercé par la mère et les capacités d'ajustement énergétique des enfants mesurées exprimentalement : plus les mères exercent un contrôle (ex : encouragent leur enfant à terminer leur assiette ou à manger à un heure précise plutôt que de manger en réponse à leurs signaux de faim), moins les enfants sont capables d'ajuster leur prise énergétique lors d'un repas *ad libitum* précédé d'un aliment pré-charge (Johnson & Birch, 1994).

Intéressons-nous à présent aux liens entre le degré de réceptivité maternelle et le comportement alimentaire du nourrisson. Sur la base d'observations de dyades mères-nourrissons, une étude longitudinale montre que les nourrissons de mères qui continuent de les nourrir en dépit de l'émission de signaux de rassasiement prennent plus de poids entre 6 et 12 mois (Worobey, Islas Lopez, & Hoffman, 2009). Lors de la validation de leur questionnaire visant à mesurer le style de nourrissage de la mère (IFSQ : Infant feeding style questionnaire), Thompson et collaborateurs (2009) corroborent ce résultat : les nourrissons (3-18 mois) ont un statut pondéral (z-score poids-pour-taille) moins élevé lorsque leur mère est plus réceptive aux signaux de rassasiement. De façon surprenante, cette étude montre aussi des liens négatifs entre le statut pondéral des nourrissons et des pratiques dites 'non réceptives' à savoir forcer son enfant à ingérer plus de calories par l'ajout de céréales dans les biberons et nourrir son enfant pour lui faire plaisir ou le calmer (relatif au 'nourrissage émotionnel'). D'après les auteurs, les mères d'enfants 'moins gros' seraient plus inquiètes quant au statut nutritionnel de leur enfant et adopteraient des pratiques visant à augmenter leur prise énergétique, donc des pratiques 'moins réceptives'.

Nous l'avons vu précédemment, les mères seraient plus réceptives aux signaux de faim qu'aux signaux de rassasiement de leur enfant (**Figure 21**). Cela peut être perçu comme un avantage d'un point de vue évolutif : la nécessité de répondre aux signaux de faim — et donc de nourrir son enfant — prévaut.

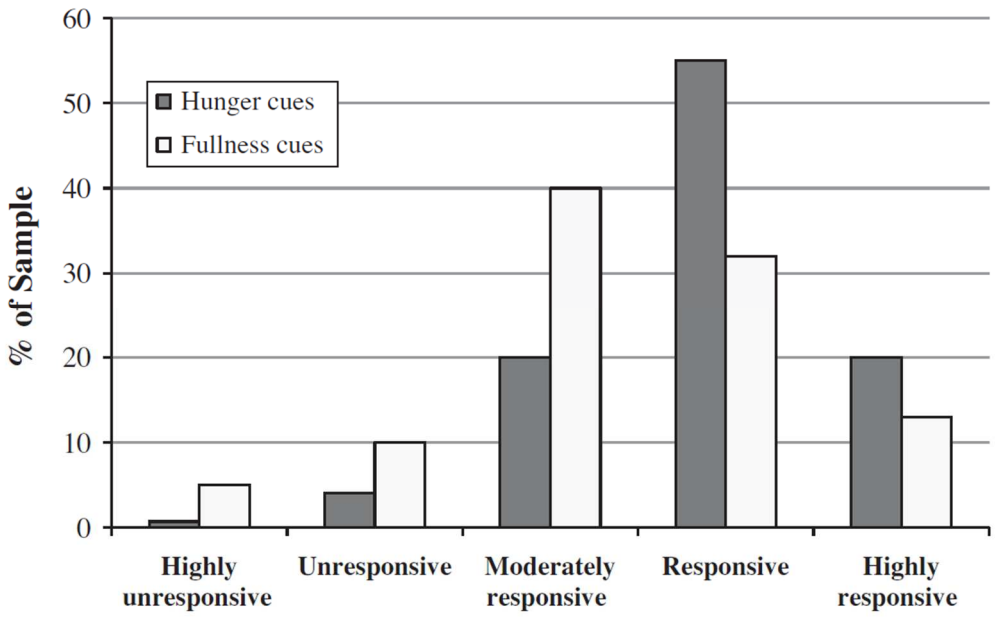


Figure 21 : Fréquence de distribution du degré de réceptivité de la mère aux signaux de faim et de rassasiement de son enfant. Les mères sont plus réceptives aux signaux de faim qu'aux signaux de rassasiement (t-test apparié, $P < 0.0001$, $n = 144$). Hodges et al., 2013.

Cette différence de réceptivité aux signaux de faim et de rassasiement pourrait être modulée par le statut pondéral de la mère : les mères obèses perçoivent plus facilement les signaux de faim que les signaux de rassasiement de leur enfant (Gross, Fierman, Mendelsohn, Chiasson, Rosenberg, Scheinmann et al., 2010). De plus, dans cette étude basée sur questionnaire, les mères obèses sont plus enclines à identifier le signal 'mains dans la bouche' comme étant un signal de faim, et pensent que leur bébé n'est pas capable de ressentir ses propres signaux de rassasiement. Hodges et collaborateurs (2013) rapportent aussi un lien négatif entre l'IMC de la mère et la réceptivité aux signaux de rassasiement de l'enfant : il se pourrait que les mères en surpoids ou obèses soient moins réceptives à leurs propres signaux de rassasiement et, en conséquence, moins réceptives à ceux de leur bébé.

De manière intéressante, l'interprétation des signaux par la mère pourrait aussi différer selon le sexe des nourrissons, et ce, dès le premier mois de vie (Wright, 1986). Les mères allaitantes de garçons rapportent que ces derniers ont un niveau de faim qui varie au cours de la journée (niveau de faim plus intense en fin d'après-midi et début de soirée) alors que cette observation n'est pas systématiquement rapportée chez les mères de filles, alors même que les quantités quotidiennes ingérées ne diffèrent pas entre les filles et les garçons (Wright, 1986). Les auteurs suggèrent que les mères de garçons ont tendance à mal interpréter certains comportements (ex : haut niveau d'éveil ou d'activité) en les associant à des signaux de faim.

Les garçons seraient donc perçus comme étant ‘plus affamés’ que les filles. En ce sens, les données de la cohorte française ELFE montrent que les garçons sont plus suceptibles que les filles d’être diversifiés précocement, avant l’âge de 4 mois (Bournez, Ksiazek, Wagner, Kersuzan, Tichit, Gojard et al., 2018), ce qui suggère que les pratiques de nourrissage seraient genrées, et ce, dès la petite enfance. Chez l’enfant (3-5 ans), il a d’ailleurs été montré que les mères sont plus restrictives envers leur fille (les empêchant de manger trop) qu’envers leur garçon (Johnson & Birch, 1994). Cela pourrait être associé à la norme sociale selon laquelle ‘les femmes doivent rester minces’.

~ ~

Ces travaux démontrent que la qualité de l’interaction entre le parent et le nourrisson au cours du repas est un élément central susceptible de moduler le pattern de consommation mais aussi le statut pondéral du nourrisson. En effet, un ‘nourrissage non réceptif’ (le parent ne perçoit pas ou n’interprète pas bien les signaux de faim/rassasiement de son bébé et/ou ce dernier n’émet pas de signaux assez clairs) peut avoir un effet délétère sur les capacités d’ajustement énergétique, et à terme, favoriser le risque de surpoids. Il apparait que l’émission et la perception des signaux sont deux aspects difficilement dissociables, car inhérents à un processus dynamique et réciproque. Ce processus peut être modulé par les caractéristiques maternelles et infantiles. À ce jour, les études se sont principalement attachées à décrire le degré de réceptivité de la mère aux signaux de son bébé. Comme le souligne Bergmeier et collaborateurs (2015), des suivis longitudinaux permettant d’explorer le fonctionnement de l’interaction parent-enfant sont souhaitables pour mieux décrire dans quelle mesure ce fonctionnement dyadique a une influence sur le pattern de consommation des nourrissons et leur statut pondéral. Un nourrissage réceptif permettrait de perserver les capacités d’ajustement du nourrisson et de favoriser une croissance saine.

4. Bilan de la synthèse bibliographique

Les objectifs de cette synthèse bibliographique étaient de faire un état des lieux quant aux capacités d'ajustement énergétique chez le nourrisson, et aux facteurs susceptibles de moduler ces capacités. De cette synthèse nous retiendrons que :

- Dans les premiers mois de vie, les nourrissons sont capables, après une période d'apprentissage, d'ajuster parfaitement ou au moins partiellement leur prise énergétique selon la densité énergétique des aliments à l'échelle de plusieurs repas. Ils sembleraient également capables d'un tel ajustement à l'échelle d'un seul repas, mais, à ce jour, trop peu de données sont disponibles et ce champ de recherche mérite de plus amples considérations. On peut aussi se demander dans quelle mesure l'ajustement énergétique sur plusieurs repas (à moyen terme) peut être lié aux capacités d'ajustement énergétique à l'échelle du repas (à court terme).
- Les capacités d'ajustement énergétique semblent se détériorer vers l'âge de 1 an. La question de l'évolution des capacités d'ajustement énergétique à ces âges n'a cependant fait l'objet d'aucune étude longitudinale spécifiquement construite pour étudier cette question. L'introduction des aliments de la table vers l'âge de 1 an est-il un facteur en jeu dans cette présumée détérioration des capacités d'ajustement énergétique ?
- Les capacités d'ajustement énergétique sont soumises à de grandes variations interindividuelles. Ces différences peuvent être liées à de nombreux facteurs, incluant, entres autres, les caractéristiques individuelles du nourrisson (on retiendra notamment les traits appétitifs ou le pattern de consommation comme la vitesse de consommation), mais aussi les expériences alimentaires (on retiendra en particulier : allaitement maternel *vs* alimentation lactée avec des PPN, introduction d'aliments de densité énergétique plus ou moins variés avec des combinaisons flaveur-nutriment plus ou moins consistantes) ainsi que les interactions avec le parent nourricier qui peut se montrer plus ou moins réceptif. Notons que l'évaluation de l'interaction parent-enfant reste relativement difficile car implique de prendre en compte de nombreux paramètres.

5. Objectifs scientifiques et hypothèses

Ce travail de thèse s'articule autour d'une mesure expérimentale centrale qu'est la mesure des capacités d'ajustement énergétique aux 11 et 15 mois des nourrissons. Après avoir décrit ces capacités, nous avons cherché à identifier certains facteurs liés aux différences interindividuelles. Ainsi, les objectifs et hypothèses se déclinent de la façon suivante :

1. Décrire les changements développementaux des capacités d'ajustement énergétique chez le nourrisson entre 11 et 15 mois.

H1 : Les capacités d'ajustement énergétique se détérioreraient avec l'âge.

2. Identifier certains facteurs liés aux différences interindividuelles des capacités d'ajustement énergétique :

2.1 Quels sont les liens entre les capacités d'ajustement énergétique et les **caractéristiques individuelles des nourrissons** (sexe, poids de naissance, z-score d'IMC et son évolution jusqu'aux 24 mois) ?

2.2 Quels sont les liens entre les capacités d'ajustement énergétique et **le mode d'alimentation lactée** depuis la naissance (durées d'allaitement maternel exclusif et total) ?

H2.2 : Les nourrissons ayant été allaités plus longtemps auraient de meilleures capacités d'ajustement énergétique.

Les réponses à ces questions seront présentées dans le **CHAPITRE 3**, incluant l'**Article 2** et l'**Article 3**.

2.3 Quels sont les liens entre les capacités d'ajustement énergétique et **le type d'aliments diversifiés** (i.e., quels aliments, quelle densité énergétique) offerts aux nourrissons ?

Les liens entre les capacités d'ajustement énergétique et le type d'alimentation diversifiée seront abordés dans le **CHAPITRE 4**, incluant l'**Article 4**.

2.4 Quels sont les liens entre les capacités d'ajustement énergétique et **l'interaction mère-nourrisson au cours du repas** ?

2.5 Quels sont les liens entre les capacités d'ajustement énergétique et **le tempérament alimentaire des nourrissons** évalué par la mère ?

H2.5 Les nourrissons perçus comme étant plus sensibles à leurs signaux internes de rassasiement auraient de meilleures capacités d'ajustement énergétique.

Les liens entre les capacités d'ajustement énergétique, l'interaction mère-nourrisson au cours du repas et le tempérament alimentaire du nourrisson seront abordés dans le **CHAPITRE 5**, incluant l'**Article 5**. La Figure 22 permet de visualiser l'ensemble de ces objectifs les uns par rapport aux autres ainsi que le suivi longitudinal mis en place afin d'y répondre.

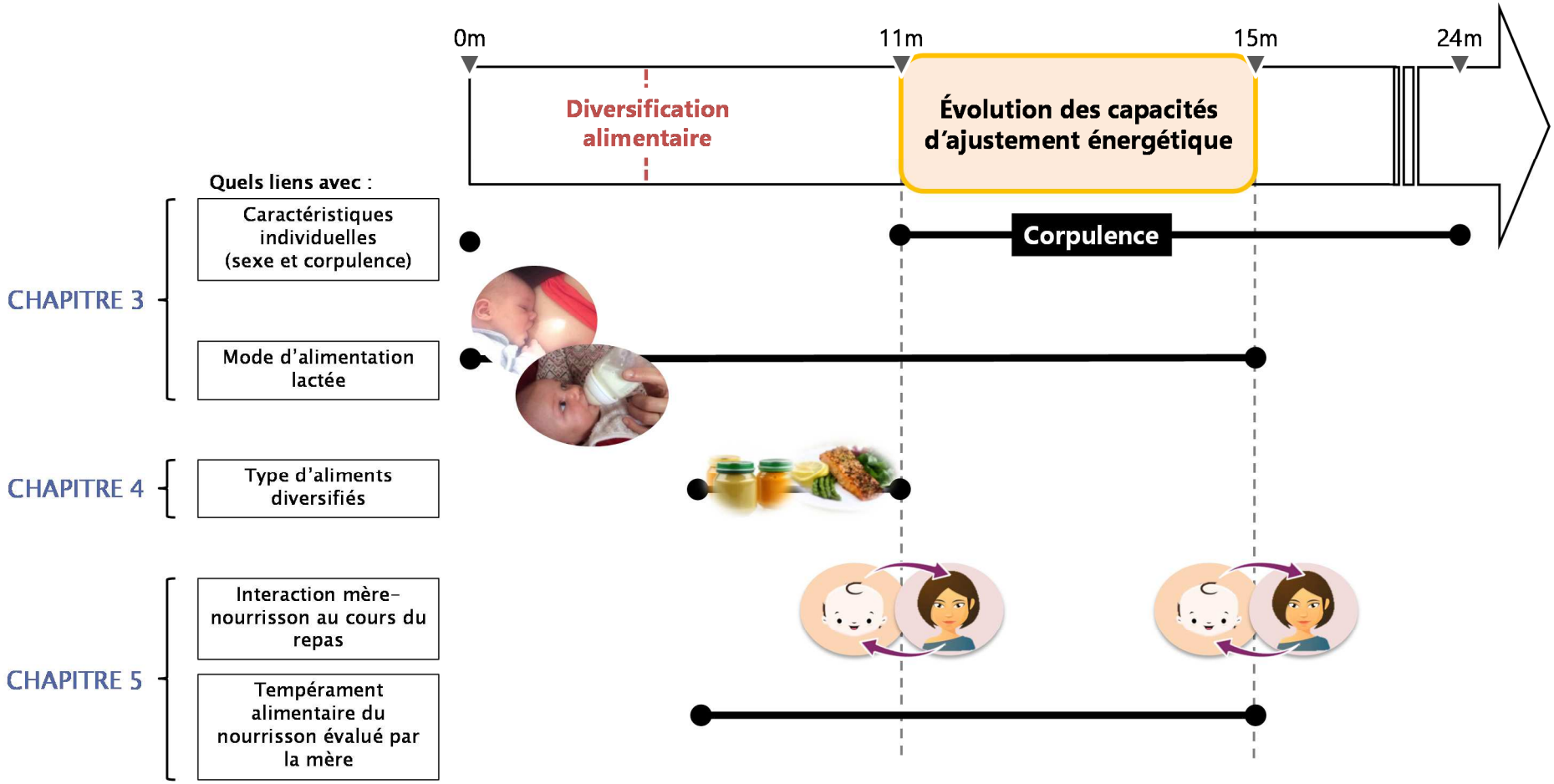


Figure 22 : Schéma-bilan des objectifs de la thèse

CHAPITRE 2

Stratégie et méthodologie mise en oeuvre

Ce chapitre a pour objectif de présenter et de justifier les choix méthodologiques mis en œuvre dans le présent travail. Ainsi, nous donnerons un aperçu des méthodes existantes utilisées pour 1) décrire les capacités d'ajustement énergétique des nourrissons et pour 2) décrire le fonctionnement de la dyade parent-nourrisson au cours du repas. Les outils choisis dans ce travail feront l'objet de plus amples descriptions.

1. Comment mesurer les capacités d'ajustement énergétique ?

1.1. Mesures expérimentales

Tel qu'évoqué dans le **CHAPITRE 1**, il est théorisé que les phénotypes comportementaux liés à l'obésité sont le résultat d'une forte attractivité pour la nourriture (se traduisant par une forte réactivité aux signaux externes alimentaires liés par exemple au contexte, à la palatabilité des aliments), combinée à une faible autorégulation (se traduisant par une faible réactivité à ses propres signaux internes de faim et de rassasiement) (**Figure 23**) (Kral, Moore, Chittams, Jones, O'Malley, & Fisher, 2018).

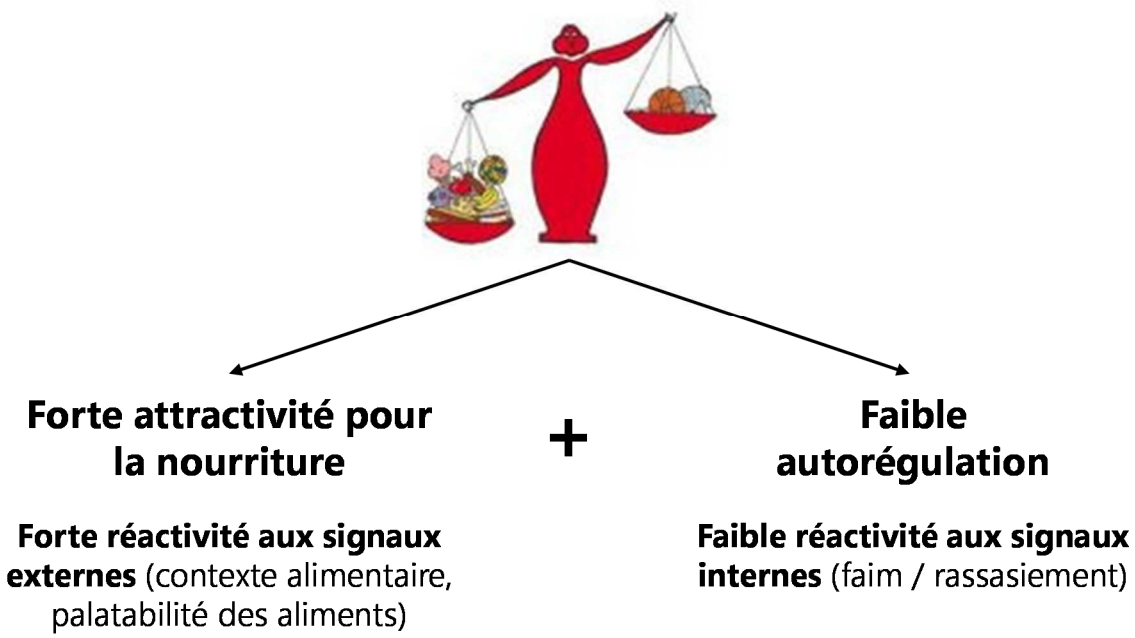


Figure 23 : Phénotypes comportementaux liés à l'obésité. D'après Kral, 2018.

- *Mesure en lien avec l'attractivité pour la nourriture*

De façon expérimentale, l'attractivité pour les aliments peut se mesurer via le paradigme de 'propension à manger en l'absence de faim' (EAH : Eating in the Absence of

Hunger en anglais). Ce paradigme consiste à évaluer dans quelle mesure un individu est susceptible de consommer des aliments hautement palatables (donc attractifs), alors qu'il est déjà rassasié. En pratique, le sujet consomme un repas *ad libitum*, puis, quelques minutes plus tard, se voit proposer un ensemble d'aliments palatables (biscuits, bonbons, chips etc.) dont les consommations sont mesurées. Plus l'individu ingère de calories alors qu'il est rassasié, plus il est considéré comme étant attiré par la nourriture. Largement utilisé chez l'enfant de plus de 3 ans (pour des exemples se référer à Birch, Fisher, & Davison, 2003; Fisher & Birch, 1999), ce paradigme a récemment été employé avec de plus jeunes enfants à 21, 27 et 33 mois (Asta, Miller, Retzloff, Rosenblum, Kaciroti, & Lumeng, 2016). Toutefois, envisager une telle mesure chez des nourrissons âgés de 1 an s'avère particulièrement délicat. Bien qu'à cet âge, les nourrissons aient la capacité motrice de porter un aliment en bouche, que ce soit avec les mains ou plus rarement en utilisant une cuillère, leur motricité fine permettant une action de préhension anticipée, précise et coordonnée est encore en développement (Sampallo-Pedroza, Cardona-López, & Ramírez-Gómez, 2014). Dans le contexte du paradigme de 'propension à manger en l'absence de faim', on peut alors se demander dans quelle mesure un nourrisson de 1 an est capable de façon totalement autonome de sélectionner des aliments pour les consommer. Si le nourrisson est majoritairement dépendant d'un parent pour se nourrir, ce paradigme reflèterait alors davantage la propension du parent à 'nourrir en l'absence de faim' plutôt qu'une réelle attractivité du nourrisson pour les aliments. Dans leur étude longitudinale, Asta et collaborateurs (2016) ont testé le lien entre la propension à manger en l'absence de faim à 21 et 27 mois et le z-score d'IMC à 33 mois. Seule la propension à manger en l'absence de faim à 27 mois est positivement associée au z-score d'IMC ultérieur. Les auteurs suggèrent que la réactivité aux signaux externes des aliments serait conditionnée par une exposition répétée à des aliments palatables avant l'âge de 24 mois mais ne se manifesterait pas avant 27 mois. Là encore, cette observation nous indique que ce paradigme ne serait pas le plus approprié chez des nourrissons de 1 an.

- *Mesures en lien avec l'autorégulation des prises alimentaires*

En raison des difficultés méthodologiques liées à la mesure de l'attractivité pour les aliments chez le nourrisson, nous avons jugé plus pertinent de nous intéresser à l'aspect 'autorégulation' de la prise alimentaire, en mesurant la réactivité des nourrissons à leurs signaux internes de rassasiement. Les mesures expérimentales associées ont pour principe d'évaluer la propension d'un individu à modifier sa prise alimentaire en termes de calories ingérées en réponse à une manipulation des caractéristiques des aliments (ex : densité

énergétique, texture). La prise alimentaire peut être évaluée selon deux procédures : l'évaluation concurrente qui consiste à mesurer les consommations de l'aliment qui est manipulé, ou le paradigme de pré-charge qui consiste à mesurer les consommations d'un aliment non manipulé mais précédé de l'ingestion d'un aliment manipulé, appelé 'pré-charge'. Comme le souligne Chapelot (2013), ces deux procédures répondent à des questions différentes : l'évaluation concurrente permet d'évaluer dans quelle mesure les calories ingérées diffèrent selon les caractéristiques de l'aliment, alors que le paradigme de pré-charge permet d'évaluer dans quelle mesure les caractéristiques de l'aliment affectent les calories ingérées lors d'une prise alimentaire qui suit. La plupart des études ayant utilisé l'évaluation concurrente se sont attachées à faire varier une ou plusieurs caractéristiques des aliments qui sont proposés de façon répétée, sur plusieurs repas. Par exemple, c'est en faisant varier la densité énergétique de PPN sur une période de presque 4 mois que Fomon et collaborateurs (1975) ont démontré pour la première fois que les nourrissons étaient capables d'apprendre à ajuster leur prise énergétique en fonction de la densité énergétique. Chez l'enfant de 3-5 ans, Leahy et collaborateurs (2008a) ont modifié la densité énergétique des aliments de plusieurs repas (petit-déjeuner, déjeuner et goûter) sur 2 jours, et ont ainsi mis en évidence un ajustement volumétrique plutôt que calorique. D'autres études ont fait varier plusieurs caractéristiques de façon simultanée telle que la densité énergétique et la viscosité des aliments de diversification offerts aux nourrissons pendant 4 jours (Bennett, Morales, González, Peerson, López de Romaña, & Brown, 1999; Stephenson, Gardner, Walker, & Ashworth, 1994). Notons que l'évaluation simultanée et le paradigme de pré-charge peuvent être combinés : quelques travaux menés chez l'enfant de plus de 2 ans ont manipulé la densité énergétique et/ou la taille des portions du plat principal (servi en premier), et ont observé à la fois les consommations du plat principal, mais aussi des aliments qui succèdent (Fisher, Liu, Birch, & Rolls, 2007; Leahy, Birch, Fisher, & Rolls, 2008; Leahy, Birch, & Rolls, 2008b).

Comme indiqué dans le **CHAPITRE 1**, nous n'avons, à ce jour, que très peu d'informations quant aux capacités d'ajustement énergétique à court terme (à l'échelle d'un seul repas) des nourrissons. Pour explorer cette question, notre attention s'est donc portée sur le paradigme de pré-charge, et plus particulièrement sur le **paradigme de compensation calorique** (Birch & Deysher, 1985) dont le principe général est décrit en **Figure 24**. La mesure de compensation calorique se déroule sur 2 jours différents : elle consiste à offrir un aliment pré-charge de densité énergétique plus ou moins élevée selon le jour (jour FDE / jour

HDE) mais de volume constant, suivi, après un laps de temps déterminé — appelé intervalle inter-repas — d'une deuxième prise alimentaire à consommer *ad libitum*.

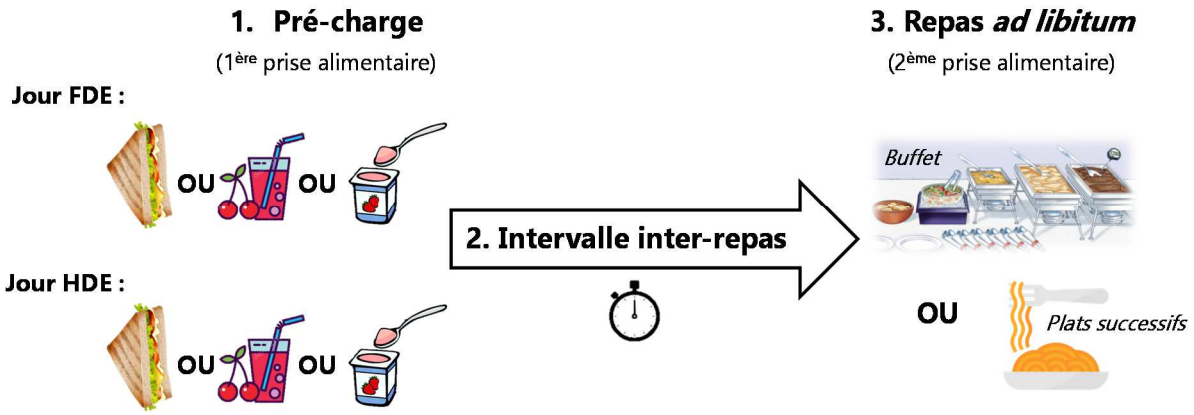


Figure 24 : Principe général du paradigme de compensation calorique. Les pré-charges (sandwich ou jus de fruit ou yaourt) et les types de présentation du repas (buffet ou plats successifs) sont donnés à titre d'exemple. En théorie, les deux jours de mesure ne diffèrent que par l'apport énergétique de la pré-charge (ex : yaourt allégé lors du jour FDE *vs* yaourt standard lors du jour HDE). Inspiré de Chapelot, 2013.

Le paradigme de compensation calorique est largement utilisé chez l'adulte et l'enfant (pour des exemples chez l'enfant de 0 à 7 ans, se référer au **Tableau 3**). Probablement en raison des difficultés méthodologiques, ce paradigme n'a fait l'objet que de deux études incluant des nourrissons (Kane, Wright, Fariza, & Hetherington, 2011; Kasese-Hara, Wright, & Drewett, 2002). En effet, l'étude des capacités d'ajustement énergétique (et du comportement alimentaire plus généralement) du nourrisson nécessite de prendre en compte plusieurs contraintes liées à son développement psychomoteur et cognitif. Premièrement, et par définition, le nourrisson est **dépendant d'une tierce personne pour se nourrir** : il ne décide pas seul de quand, quoi et surtout, si l'on considère notre question d'intérêt de **combien** manger. À cela s'ajoute que le nourrisson **ne peut communiquer ses états internes** — dont son état de rassasiement — **par la parole**. Dans le cadre d'une expérimentation, comment s'assurer qu'un nourrisson mange jusqu'à rassasiement c'est-à-dire à sa faim, ni trop, ni trop peu ? Comment décider de l'arrêt du repas ? De plus, vers l'âge de 1 an, le nourrisson a un **répertoire alimentaire encore limité**, que ce soit en termes de type d'aliments mais aussi en termes de texture des aliments qui doit être adaptée à ses capacités masticatoires et acceptable pour le parent. Les données d'une enquête française révèlent qu'au cours de la première année, les nourrissons sont principalement exposés à des purées lisses ; l'introduction des

morceaux étant très progressive (entre 6 et 22 mois) (Demonteil, Ksiazek, Marduel, Dusoulier, Weenen, Tournier et al., 2018).

Intéressons-nous désormais aux paramètres expérimentaux du paradigme de compensation calorique. Tel qu'illustré dans la **Figure 24**, les trois paramètres à considérer sont : **la pré-charge (1)**, **l'intervalle inter-repas (2)** et **le repas *ad libitum* (3)**. Afin d'illustrer nos propos, nous nous réfèrerons aux travaux ayant utilisé un paradigme de pré-charge chez l'enfant âgé de 0 à 7 ans (**Tableau 3**). Cette synthèse met en évidence l'hétérogénéité des méthodes utilisées.

Tout d'abord, **la pré-charge** peut être offerte sous différentes formes physiques : la plupart des études a utilisé une pré-charge liquide de type boisson, ou milkshake (7 études/14) ou une pré-charge semi-solide de type pudding, yaourt ou gelée (4/14). Différentes stratégies ont été utilisées pour faire varier la pré-charge d'un jour à l'autre. La première d'entre elles (nommée Absence / Présence dans la colonne *'Préparation FDE vs HDE'* du **Tableau 3**) consiste à ne présenter qu'une seule pré-charge lors d'un des deux jours de la mesure (assimilé au jour HDE). Ainsi les consommations des repas sont comparées selon qu'ils soient précédés de l'ingestion d'une pré-charge ou non (Remy, Issanchou, Chabanet, Boggio, & Nicklaus, 2015; Zandstra, Mathey, Graaf, & van Staveren, 2000). Cette méthode peut cependant être discutée car elle ne permet pas de placer l'individu dans la même situation de réplétion stomacale d'un jour à l'autre. La deuxième stratégie, plus largement utilisée, consiste à présenter le même type d'aliment pré-charge lors des deux jours. Selon la question de recherche, la modification des pré-charges peut porter sur l'apport calorique et/ou les propriétés organoleptiques (notamment le goût). La majorité des études s'attache à faire varier l'apport énergétique des pré-charges. Lorsque le type de pré-charge est identique, la différence d'apport calorique entre les pré-charges FDE et HDE est en moyenne de 116 kcal (min = 57 kcal ; max = 200 kcal) (**Tableau 3**). Par exemple, pour modifier l'apport énergétique, Kasese-Hara et collaborateurs (2002) ont dilué ou concentré une boisson sucrée afin d'obtenir respectivement les pré-charges FDE et HDE. Une autre méthode, plus largement employée, consiste à utiliser des édulcorants non énergétiques (tel que l'aspartame) qui permettent de maintenir l'intensité sucrée sans modifier l'apport énergétique pour la pré-charge FDE, ou de faire varier la composition en glucides (par ajout de maltodextrine par exemple qui permet d'augmenter l'apport énergétique sans modifier le goût) pour la pré-charge HDE (par exemple Johnson & Birch, 1994). Cependant, l'utilisation d'édulcorants (et notamment d'aspartame) dans l'alimentation est sujette à controverse car elle pourrait avoir

des effets néfastes sur la santé (Ab Qayoom Naik & Shrivastava, 2018; Durán Agüero, Angarita Dávila, Escobar Contreras, Rojas Gómez, & de Assis Costa, 2018). Aussi, dans le cadre d'une expérimentation menée chez le nourrisson, l'utilisation d'édulcorants (bien que ponctuelle) est probablement une pratique qui ne serait pas approuvée par un comité d'éthique ni acceptée par tous les parents. Enfin, notons que parmi les études ayant utilisé le même type de pré-charge, aucune n'a manipulé la teneur en lipides pour faire varier l'apport énergétique. L'ajout de lipides étant remcommandé chez le nourrisson (Fewtrell, Bronsky, Campoy, Domellöf, Embleton, Fidler Mis et al., 2017), cette piste est intéressante à explorer. La troisième stratégie de présentation des pré-charges consiste à offrir des aliments différents. Dans ce cas, les propriétés organoleptiques et caloriques des pré-charges diffèrent. Par exemple, Araya et collaborateurs (1999) ont présenté des 'repas pré-charge' différents (riz, œuf, banane *vs* soupe, jus, fruit) ayant des densités énergétiques distinctes mais étant isocaloriques. En conséquence, les quantités de pré-charge offertes étaient presque 2 fois plus élevées pour la condition FDE que pour la condition HDE. De façon intéressante, l'étude de Carnell et collaborateurs (2017) menée chez des enfants de 4 à 5 ans a testé de façon indépendante l'effet du goût et de l'apport calorique des pré-charges. Pour se faire, les auteurs ont combiné deux stratégies en proposant des pré-charges de densités énergétiques différentes aux propriétés organoleptiques identiques (boissons à l'orange) ou contrastées (eau *vs* milkshake). Enfin, quelle que soit la stratégie de présentation des pré-charges, leurs consommations ne sont pas systématiquement fixées (colonne *'Conso. intégrale requise ?'* du **Tableau 3**). Ainsi, bien que les volumes présentés soient en général identiques entre le jour FDE et le jour HDE, les quantités ingérées peuvent différer pour un individu donné (d'un jour à l'autre) mais aussi entre les individus, ce qui peut rendre délicates les comparaisons interindivuelles.

Le deuxième paramètre d'intérêt est **l'intervalle inter-repas.** En moyenne, sur les 14 études présentées dans le **Tableau 3**, il est de 51 min (min = 0 min ; max = 210 min). Cette grande variabilité s'explique par le fait que certaines études ont évalué l'ajustement énergétique d'un repas au repas suivant, le premier étant assimilé à un 'repas pré-charge' (ex : repas suivi du goûter plus de 3h après) (Araya, Vera, & Alvina, 1999). Ainsi, la valeur médiane de l'intervalle inter-repas des études reportées est beaucoup plus faible, à savoir 30 min. Les deux études ayant porté sur des nourrissons ont utilisé des intervalles inter-repas de 25 et 30 min (Kane, Wright, Fariza, & Hetherington, 2011; Kasese-Hara, Wright, & Drewett, 2002).

Concernant le dernier paramètre qu'est **le repas *ad libitum***, il apparait que la majorité des études (10/14) a proposé plusieurs aliments (6 en moyenne) sous la forme d'un buffet. L'une des deux études ayant porté sur des nourrissons (Kasese-Hara, Wright, & Drewett, 2002) a proposé une grande variété d'aliments (13 snacks de type chips, fromage, sandwich etc.) dont le mode de présentation n'est pas précisé, et qui pouvaient être consommés par le nourrisson de façon autonome ou avec l'aide de son parent. En raison des caractéristiques des nourrissons étudiés par Kane et collaborateurs (2011) (2 sujets ayant été ou étant toujours nourris par sonde gastrique au moment de la mesure), les repas ont été choisis par les parents afin de permettre leur acceptabilité : ils pouvaient donc différer d'un nourrisson à l'autre, ce qui limite les comparaisons interindividuelles.

Tableau 3 : Synthèse des travaux basés sur un paradigme de pré-charge suivi d'une consommation *ad libitum* chez l'enfant de 0 à 7 ans.

Auteurs, année	**Âge (ans)**	**N** (effectif pour lequel le COMPX est calculé)	**Contexte**	**Pré-charge**					**Intervalle inter-repas (min)**	**Repas *ad libitum***	**COMPX moyen ± ET (%)**
				Type d'aliment	**kcal/portion FDE *vs* HDE**	**Préparation FDE *vs* HDE**	**Portion servie**	**Conso. intégrale requise ?**		**Nb d'items : mode de présentation**	
Kasese-Hara et al., 2002	1,5	Contrôle : 26	Maison	Boisson	0 *vs* 96	Dilution / Concentration	150 mL	non	25	13 : —	Contrôle : 102 [b]
		Retard de croissance : 27									Retard de croissance : -50 [b]
Kane et al., 2011	1-10 < 2ans N=2	Nutrition entérale [a] : 11	Labo	Boisson	0 *vs* 121	Edulcorants / Maltodextrine	200 mL	oui (tolérance, conso. min 80%)	30	— Aliments choisis par les parents sur la base d'un menu	73 ± 78 [b]
Birch et al., 1989	2-3	Exp 1 : 20	École	Boisson	0 *vs* 60	Eau / Sucrose	150 mL	oui	0, 30, 60	5 : buffet	123 [b]
						Eau / Aspartame + Maltodextrine					158 [b]
					3,5 *vs* 60	Aspartame / Sucrose					85 [b]
						Aspartame / Aspartame + Maltodextrine					122 [b]
	4-5	Exp 2 : 24			0 *vs* 90	Eau / Sucrose	205 mL			7 : buffet	94 [b]
						Eau / Aspartame + Maltodextrine					126 [b]
					3,5 *vs* 90	Aspartame / Sucrose					55 [b]
						Aspartame / Aspartame + Maltodextrine					88 [b]

Auteurs, année	Âge (ans)	N (effectif pour lequel le COMPX est calculé)	Contexte	Pré-charge					Intervalle inter-repas (min)	Repas *ad libitum*	COMPX moyen ± ET (%)
				Type d'aliment	kcal/portion FDE *vs* HDE	Préparation FDE *vs* HDE	Portion servie	Conso. intégrale requise ?		Nb d'items : mode de présentation	
Hetherington et al., 2000	2-5	Exp 1 : 15	Crèche	Gelée	6 *vs* 73	Aspartame / Sucrose	100 g	oui	120	5 : plats successifs	105 ± 46
		Exp 2 : 19			9 *vs* 109		150 g			9 : plats successifs	88 ± 22
Birch & Deysher, 1986	2,5-5	21	—	Pudding	32 *vs* 132	Aspartame / Maltodextrine	85 g	oui	20	6 : buffet	109 [b]
Birch et al., 1993	3-4	24	—	Céréales et boisson (référence) *vs* glace	80 *vs* 177	Référence / Lipides -	113 g	oui	100	11 : buffet	78 [b]
					80 *vs* 228	Référence / Lipides					38 [b]
					80 *vs* 275	Référence / Lipides +					29 [b]
Birch & Deysher, 1985	3-5	Exp 1 : 8	École	Pudding	42 *vs* 156	Aspartame / Maltodextrine	100 mL	oui	20 ou 40	2 : buffet	82 [b]
		Exp 2 : 10							20		96 [b]
Johnson, & Birch, 1994	3-5	70	École	Boisson	3 *vs* 150	Edulcorants / Sucrose + Maltodextrine	163 g	oui	20	7 : buffet	46 ± 50 [b]
Remy et al., 2015	3-6	203	Labo	Brioche	Ø *vs* 137	Absence / Présence	39 g	oui	30	5 : plats successifs	53 ± 4 (± erreur standard)
Faith et al., 2004	3-7	64 (32 paires de frères et sœurs)	Labo	Boisson	3 *vs* 150	Aspartame / Maltodextrine	173 g	oui	25	7 : buffet	104 ± 107

Auteurs, année	Âge (ans)	N (effectif pour lequel le COMPX est calculé)	Contexte	Pré-charge					Intervalle inter-repas (min)	Repas *ad libitum*	COMPX moyen ± ET (%)
				Type d'aliment	kcal/portion FDE *vs* HDE	Préparation FDE *vs* HDE	Portion servie	Conso. intégrale requise ?		Nb d'items : mode de présentation	
Carnell et al., 2017	4-5	Test A : 90	École	Boisson	0 *vs* 200	Dilution / Maltodextrine	200 mL	oui	30	7 : buffet	70 ± 77
		Test B : 65		eau *vs* milkshake		Boissons différentes					51 ± 58
Araya et al., 1999	4-6	234	École	Riz, œuf, banane *vs* soupe, fruit, jus	390 *vs* 399	Aliments différents mais composition identique en macronutriments	310 *vs* 580 g	non	210	5 : buffet	-220 [b]
Zandstra et al., 2000	4-6	30	École	Yaourt	Ø *vs* 72	Absence / Présence	200 g	oui	75	6 : buffet	-21
					Ø *vs* 191	Absence / Lipides					-7
					Ø *vs* 191	Absence / Glucides					-7
					Ø *vs* 287	Absence / Lipides-Glucides					34
Tripicchio et al., 2014	4-7	64 paires de jumeaux	Labo	Boisson	3 *vs* 159	—	173 g	—	25	7 : buffet	Jumeau 1 : 101 ± 120
											Jumeau 2 : 77 ± 122

[a] Sujets ayant été nourris par sonde gastrique avant l'étude sur une période allant de 6 mois à 6,6 ans (N=4), ou l'étant toujours au moment de l'étude de façon principale (N=5) ou en supplément (N=2). [b] COMPX (± écart-type) calculé sur la base des données disponibles dans l'article : sous-compensation 'extrême' (COMPX < 0%), sous-compensation (0 < COMPX < 90%), compensation parfaite (COMPX = 100 ± 10%), surcompensation (COMPX > 110%).

Pour traduire le niveau de compensation calorique, la plupart des études rapportent un score de compensation calorique exprimé en pourcentage et appelé COMPX (Johnson & Birch, 1994). Ce score correspond à la différence d'énergie ingérée entre les deux repas *ad libitum*, divisée par la différence d'énergie ingérée entre les deux pré-charges :

$$COMPX = 100 \times [(REPAS_{FDE} - REPAS_{HDE}) / (PC_{HDE} - PC_{FDE})]$$

Avec $REPAS_{FDE}$ / $REPAS_{HDE}$: énergie ingérée (kcal) lors du repas suivant la pré-charge FDE /HDE, PC_{FDE} / PC_{HDE} : énergie ingérée (kcal) lors de la pré-charge FDE / HDE.

La **Figure 25** illustre comment interpréter le score COMPX en termes d'énergie et de quantités ingérées. Si le score COMPX est égal à 100%, on parle de compensation parfaite : cela signifie que le sujet ingère autant d'énergie lors des deux jours (**Figure 25B**). Un score COMPX > 100% correspond à une surcompensation : dans ce cas, le sujet ingère plus d'énergie lors du jour FDE que lors du jour HDE (**Figure 25A**). Enfin, un score COMPX < 100% correspond à une sous-compensation : le sujet ingère plus d'énergie lors du jour HDE que lors du jour FDE (**Figure 25C,D,E**). Notons qu'un COMPX égal à 0% correspond à une sous-compensation particulière qui traduit un ajustement volumétrique : le sujet ingère autant en quantité lors du jour FDE que lors du jour HDE (**Figure 25D**).

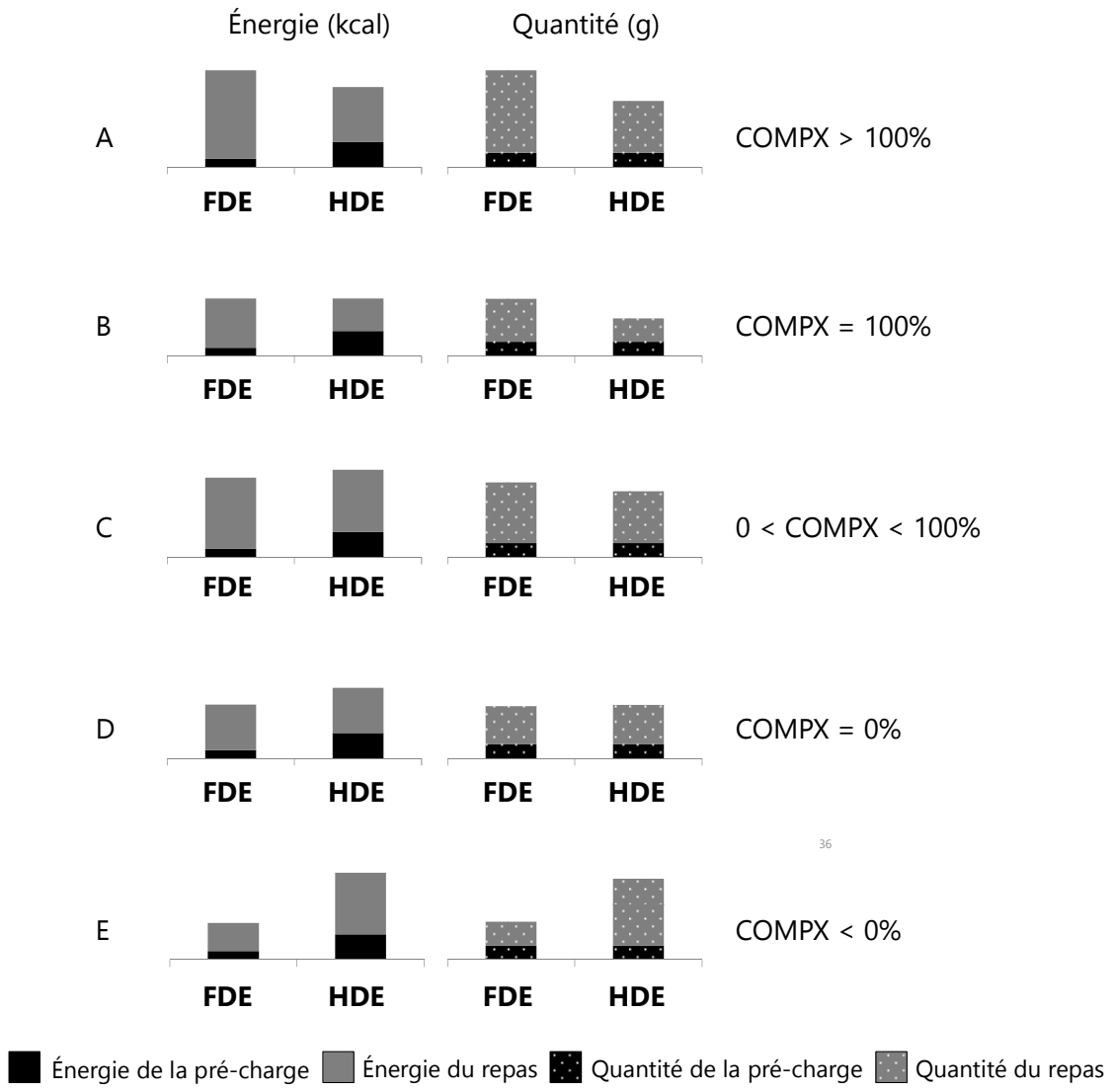


Figure 25 : Interprétation des scores COMPX en termes d'énergie (kcal) et de quantités ingérées (g), pour le cas d'une sur-compensation (A), compensation parfaite (B) et trois cas de sous-compensations (C,D,E). F/HDE : pré-charge de Faible/Haute Densité Énergétique. Figure supplémentaire associée à l'**Article 2** (Brugaillères, Issanchou, Nicklaus, Chabanet, & Schwartz, 2019).

Dans leur revue systématique de la littérature, Almiron-Roig et collaborateurs (2013) ont inclus 48 études ayant utilisé le paradigme de compensation calorique chez l'adulte (avec calcul du COMPX) en conditions contrôlées en laboratoire. Les auteurs rapportent une grande variabilité du COMPX, allant de -370 à 450%. Les principaux facteurs qui peuvent faire varier le COMPX sont la forme physique de la pré-charge et l'intervalle inter-repas, qui, à eux deux, expliquent plus de 50% de la variance indépendamment du sexe et de l'IMC. Comparée aux pré-charges de formes semi-solides ou solides, une pré-charge de forme liquide est associée à une sous-compensation (COMPX < 100%) (**Figure 26**).

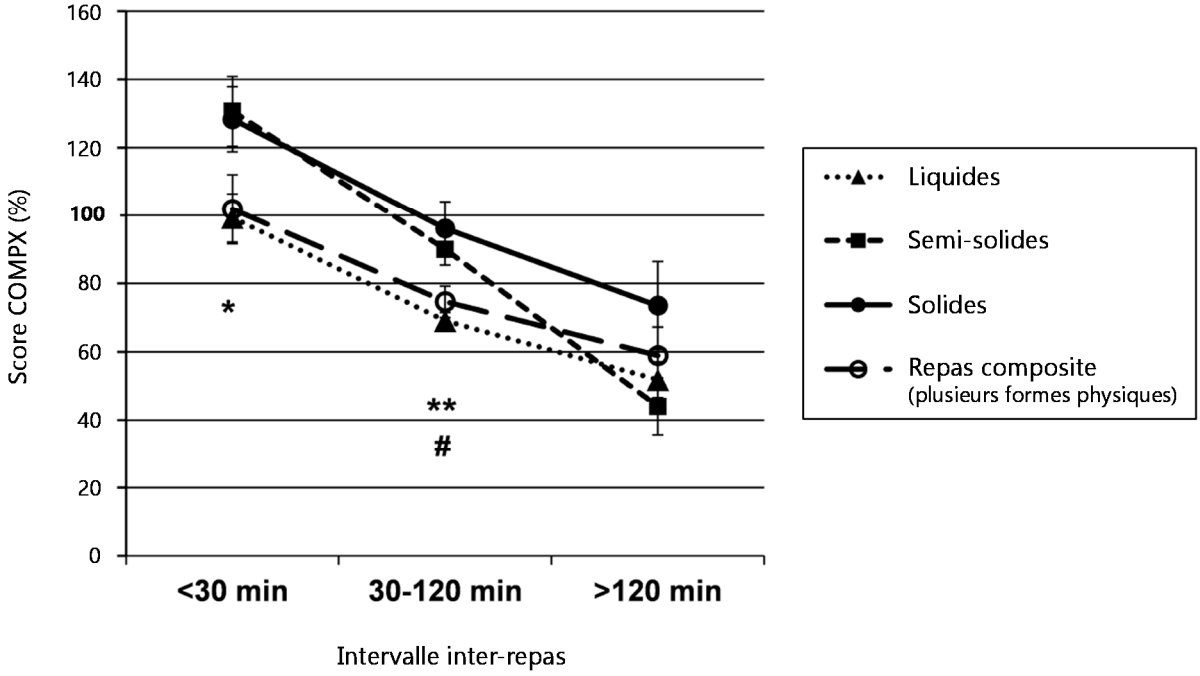


Figure 26 : Valeur moyenne du COMPX rapporté chez l'adulte selon l'intervalle inter-repas (<30 min, 30-120 min, >120 min) et la forme physique des pré-charges (liquide, semi-solide, solide, repas composite). Seules les études rapportant un COMPX positif sont rapportées. *Les pré-charges liquides diffèrent des pré-charges semi-solides avec $P < 0,05$. **Les pré-charges liquides diffèrent des pré-charges semi-solides avec $P < 0,001$ et des pré-charges solides avec $P < 0,01$. # Les pré-charges semi-solides tendent à différer des pré-charges composites avec $P = 0,077$. D'après Almiron-Roig et al., 2013.

Par ailleurs, quelle que soit la forme physique de la pré-charge, la compensation calorique diminue avec l'augmentation de l'intervalle-inter-repas (**Figure 26**). Chez l'adulte, la compensation calorique serait plus précise (plus proche de 100%) lorsque les pré-charges sont de forme semi-solides ou solides et l'intervalle inter-repas compris entre 30 et 120 minutes.

Dans notre tableau de synthèse (**Tableau 3**), afin de permettre les comparaisons, nous avons parfois calculé un score COMPX lorsque ce dernier n'était pas rapporté dans les articles (6 études /14). On observe ainsi que chez l'enfant de 0 à 7 ans (**Tableau 3**), il existe également une grande variabilité du COMPX allant de -220 à 158% selon les études. Les cas de sous-compensations 'extrêmes' (COMPX < 0%, cases colorées en rouge dans le Tableau 3) ne sont cependant observés que dans trois études : une portant sur des nourrissons ayant un retard de croissance (Kasese-Hara, Wright, & Drewett, 2002) et deux qui se distinguent par leurs designs expérimentaux : présentation d'une seule pré-charge (Zandstra, Mathey, Graaf, & van Staveren, 2000) ou de pré-charges isocaloriques mais de masses différentes (Araya, Vera, & Alvina, 1999). La grande majorité des études rapporte en effet des cas de sous-

compensations (0 < COMPX < 100%, cases colorées en orange dans le Tableau 3) ou de compensation quasi parfaite (COMPX proche de 100 ± 10% près, cases colorées en vert dans le Tableau 3). Notons que dans la tranche d'âge qui nous intéresse (< 2 ans), les COMPX observés sont de 102% chez des nourrissons sains et de -50% chez des nourrissons avec un retard de croissance (Kasese-Hara, Wright, & Drewett, 2002). Dans l'étude de Kane et collaborateurs (2011) portant sur des sujets ayant été ou étant nourris par sonde gastrique, seuls 2 sujets ont moins de 2 ans et leurs COMPX sont de -73% et 162% (valeurs individuelles rapportées dans l'article). De par l'hétérogénéité des méthodes utilisées, il reste cependant difficile de comparer les scores COMPX entre ces études. Une seule étude (menée chez les 2-5 ans) a comparé le niveau de compensation calorique en faisant varier l'intervalle inter-repas : les auteurs n'ont cependant pas trouvé de différence, que l'intervalle soit de 0, 30 ou 60 minutes (Birch, McPhee, & Sullivan, 1989).

1.2. Les relevés de consommation alimentaire

C'est sur la base d'estimations des quantités ingérées sur 7 jours consécutifs que Pearcey & De Castro (1997) ont mis en évidence que les nourrissons de 8 à 16 mois ajustent leur prise énergétique à l'échelle de la journée. En utilisant une méthode similaire mais cette fois sur 7 jours non consécutifs, une étude menée chez des enfants de 3 à 4 ans rapporte la même conclusion (Shea, Stein, Basch, Contento, & Zybert, 1992). Ces études illustrent que l'utilisation de relevés de consommation permet d'inférer les capacités d'ajustement énergétique. Mettre en œuvre une telle méthode nécessite de faire des choix méthodologiques qui sont particulièrement importants pour obtenir des données de qualité.

Cette mesure consiste à collecter l'ensemble des prises alimentaires d'un individu sur une période d'au moins 24 h de la façon la plus précise possible (types d'aliments, mode de préparation, quantités ingérées, nombre de prises alimentaires, heure des repas etc.) (De Castro, 1994). Généralement, le relevé se fait sur plusieurs périodes de 24 h. Se pose alors la question du choix des jours de relevé (consécutifs ou non, jours de semaine ou de week-end). Pour être représentatif, le relevé de consommation doit inclure des jours pendant lesquels l'individu mange 'comme d'habitude'. D'après Burrows et collaborateurs (2010), le relevé sur 3 jours incluant jours de semaine et de week-end est la meilleure méthode chez les 4-11 ans. Dans l'enquête Nutri-Bébé SFAE 2013 portant sur les consommations de nourrissons (nourris au biberon) de 15 jours à 35 mois, ont été relevées les consommations lors de 3 jours non consécutifs : 2 jours de semaine et 1 jour de week-end (Chouraqui, Tavoularis, Simeoni,

Ferry, & Turck, 2019). Quels que soient les jours suivis, le relevé peut se faire de façon prospective (le sujet rapporte ce qu'il mange au moment du repas, sur un carnet par exemple) ou rétrospective (le sujet est interrogé, par téléphone par exemple, sur ce qu'il a mangé dans la journée ou la veille). De façon non surprenante, plus le relevé est rétrospectif, plus l'individu est susceptible de faire des erreurs (oublis, manque de précision) : un relevé en rétrospectif ne peut être basé que sur des estimations des quantités ingérées. De façon générale, l'estimation des quantités ingérées s'avère être une tâche cognitive complexe et les individus auraient notamment de grandes difficultés à estimer visuellement la taille des portions (Livingstone, Prentice, Coward, Strain, Black, Davies et al., 1992). Une évaluation en rétrospectif fait de plus appel aux capacités mnésiques des individus. Il a par exemple été montré que lorsque des adultes sont interrogés le lendemain, ils sous-estiment les quantités et le nombre de snacks consommés la veille au laboratoire (Fries, Green, & Bowen, 1995). Le suivi en prospectif permet l'évaluation des quantités ingérées soit par des pesées précises (pesée du plat avant et après la consommation), soit par des estimations basées sur des supports illustrés (référentiel photographique de mesures ménagères). Une revue systématique de la littérature incluant des travaux menés chez les enfants de 0 à 18 ans souligne que la pesée est la méthode la plus pertinente pour évaluer les quantités ingérées chez de jeunes enfants âgés de 0,5 à 4 ans (Burrows, Martin, & Collins, 2010). Une étude menée chez des 7-24 mois rapporte que, comparé à la moyenne de 3 jours de pesées, l'estimation des quantités ingérées par un rappel de 24 h (méthode multiple-pass 24h-recall[11]) donne lieu à une surévaluation de l'énergie ingérée (+13% chez les 7-11 mois et +29% chez les 12-24 mois) (Fisher, Butte, Mendoza, Wilson, Hodges, Reidy et al., 2008). Les auteurs rapportent que cette surévaluation est principalement due à des erreurs d'estimation de la taille des portions et suggèrent que les déclarations du parent pourraient être soumises au biais de désirabilité sociale : le parent surévaluerait sciemment les quantités ingérées par son enfant (*'mon enfant mange bien, donc beaucoup'*). Cette conclusion n'est cependant pas retrouvée lorsque l'estimation se fait de façon prospective (le parent complète un carnet au moment des repas): chez les 6-24 mois, l'énergie ingérée sur la base de 5 jours de pesées ne diffère pas

[11] La méthode multiple-pass 24h-recall consiste à collecter les prises alimentaires du sujet selon 3 étapes : 1) le sujet liste tous les aliments ingérés (ex : céréales au petit déjeuner), 2) le sujet décrit de façon plus précise ces aliments (ex : céréales servies dans du lait, en quelle quantité), 3) l'expérimentateur passe en revue toutes les prises alimentaires du sujet et demande des informations complémentaires (ex : autres prises alimentaire entre le petit-déjeuner et le déjeuner). Cette méthode permet de minimiser la sous-évaluation et demande moins d'effort cognitif pour le sujet interrogé et l'expérimentateur (Johnson, Driscoll, & Goran, 1996).

significativement de l'énergie ingérée sur la base de 5 jours d'estimations (Lanigan, Wells, Lawson, & Lucas, 2001).

L'avantage des relevés de consommation par rapport à des mesures en laboratoire est de capter les habitudes alimentaires d'un individu dans son environnement quotidien. En revanche, cela ne permet d'avoir autant de contrôle sur la qualité des données collectées. Par ailleurs, les consommations des nourrissons sont rapportées par les parents qui ne savent pas toujours ce qui est offert à leur bébé hors du domicile familial (chez la nourrice, à la crèche), ce qui peut donner lieu à des imprécisions supplémentaires (Shea, Stein, Basch, Contento, & Zybert, 1992). Enfin, notons que le remplissage nécessite un référentiel photographique de mesures ménagères adapté aux nourrissons (Chouraqui, Tavoularis, Simeoni, Ferry, & Turck, 2019). De plus, l'analyse de relevés de consommation est très coûteuse en temps et nécessite d'avoir à disposition des bases de données nutritionnelles relativement fournies. Dans la base CIQUAL[12] (version 2017) sont répertoriés 36 aliments infantiles, dont beaucoup sont des aliments 'moyens' (ex : 'petits pots de légumes 4-6 mois' ; 'petits pots de légumes avec féculents 4-6 mois').

~ ~

Le paradigme de compensation calorique est basé sur une mesure obtenue dans des conditions contrôlées, ce qui en fait le paradigme de référence pour évaluer les capacités d'ajustement énergétique (Faith, Carnell, & Kral, 2013). L'un des avantages de ce paradigme est qu'il repose sur une mesure intra-individuelle : chaque sujet reçoit deux conditions (FDE et HDE) qui sont comparées entre elles pour donner — le plus souvent — un score de compensation calorique individuel (le sujet est donc son propre contrôle). Cet aspect est particulièrement important car il permet d'atténuer les éventuelles différences de consommation liées aux besoins énergétiques qui peuvent être particulièrement variable d'un individu à l'autre. De plus, la manipulation de l'aliment pré-charge peut permettre de dissocier les effets de certains facteurs tels que la densité énergétique, la teneur en macronutriments ou encore le goût des aliments. Notre synthèse bibliographique des études ayant porté sur les enfants de 0 à 7 ans révèle qu'il existe une grande hétérogénéité dans les méthodes utilisées. Par ailleurs, une seule étude a utilisé le paradigme de compensation calorique chez des nourrissons sains (Kasese-Hara, Wright, & Drewett, 2002). Cette étude a

[12] Centre d'Informations sur la QUalité des ALiments. https://ciqual.anses.fr/.

cependant été conduite au domicile familial. Bien que cela permette de placer les nourrissons dans un environnement connu, on peut se demander dans quelle mesure les paramètres expérimentaux sont contrôlés : dans cette étude, il est seulement précisé que l'ordre de présentation des pré-charges (FDE/HDE) n'était connu ni des parents ni de l'expérimentateur (présentation en double aveugle). Un autre fait marquant est qu'à ce jour, aucune étude n'a utilisé le paradigme de compensation calorique de façon longitudinale.

La principale limite de la mesure de compensation calorique est qu'elle évalue les capacités d'ajustement énergétique à court terme en prenant en compte deux prises alimentaires successives (pré-charge + repas). Or, dans la littérature, plusieurs études basées sur des relevés de consommation suggèrent que l'ajustement énergétique peut se faire sur plus de deux prises alimentaires, notamment à l'échelle de la journée. Cela a été mis en évidence chez l'enfant (Birch, Johnson, Andresen, Peters, & Schulte, 1991; Kral, Stunkard, Berkowitz, Stallings, Brown, & Faith, 2007; Shea, Stein, Basch, Contento, & Zybert, 1992) et le nourrisson de 8-16 mois (Pearcey & De Castro, 1997). Une mesure expérimentale de compensation calorique et une mesure observationnelle basée sur des relevés de consommation apparaissent donc comme étant complémentaires pour étudier les capacités d'ajustement énergétique.

1.3. Mesure des capacités d'ajustement énergétique aux 11 et 15 mois des nourrissons : notre choix méthodologique

1.3.1. Une mesure expérimentale au laboratoire

Dans ce travail, nous avons choisi de mesurer les capacités d'ajustement énergétique à court terme, en adaptant le paradigme de compensation calorique proposé par Birch & Deysher (1985). Le design expérimental est présenté en **Figure 27**.

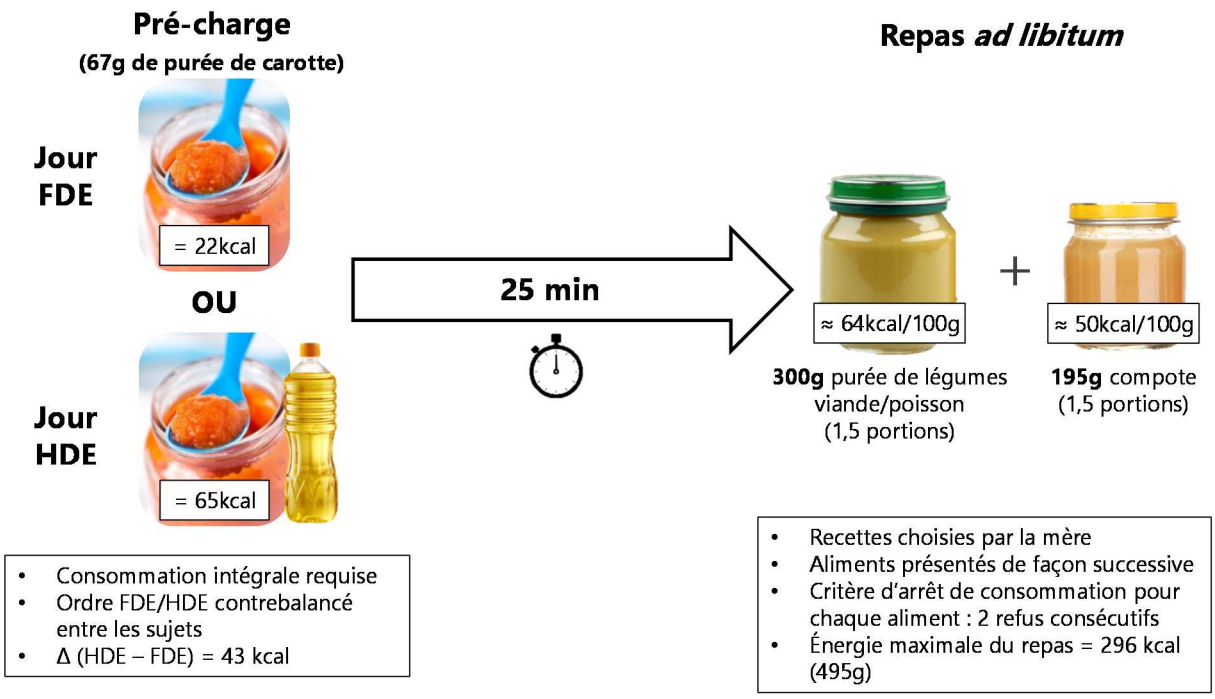


Figure 27 : Design expérimental utilisé dans le présent travail pour mesurer les capacités d'ajustement énergétique à court terme des nourrissons âgés de 11 et 15 mois. F/HDE : faible/haute densité énergétique. Adapté du paradigme de compensation calorique (Birch & Deysher, 1985).

Afin de contrôler les paramètres expérimentaux, cette mesure est réalisée **au laboratoire**. Elle se fait sur 2 jours non consécutifs (jour FDE / jour HDE, ordre contrebalancé entre les sujets). Pour permettre la **consommation intégrale de la pré-charge** (67g), nous avons choisi d'utiliser une **purée de carotte (texture semi-solide)** qui est un aliment bien accepté et connu des nourrissons (Ahern, Caton, Bouhlal, Hausner, Olsen, Nicklaus et al., 2013). Nous avons modifié la densité énergétique de la pré-charge par un **ajout d'huile végétale lors du jour HDE** : ainsi, l'apport énergétique est triplé par rapport au jour FDE (22 *vs* 65 kcal). Ce facteur multiplicatif est du même ordre de grandeur que ceux retrouvés dans les travaux de Birch et collaborateurs chez l'enfant, dans lesquels la pré-charge HDE est 2 à 4 fois plus énergétique que la pré-charge FDE (Birch & Deysher, 1985, 1986;

Birch, McPhee, Bryant, & Johnson, 1993). L'ajout de lipides étant préconisé chez les nourrissons en cours de diversification (Fewtrell, Bronsky, Campoy, Domellöf, Embleton, Fidler Mis et al., 2017), nous suggérons que présenter une purée de carotte avec ou sans huile est une situation qui peut être connue du nourrisson. Par ailleurs, nous n'avons pas envisagé de faire varier la teneur glucidique des pré-charges (bien que cette méthode soit largement employée chez l'enfant) car l'ajout de glucides est à limiter dans la petite enfance : son utilisation pourrait donc être discutable d'un point de vue éthique. Après un **délai fixe de 25 minutes**, la mère offre à son bébé un repas *ad libitum* dont les **items sont présentés séparément** : une purée de légumes avec viande ou poisson suivi d'une compote. Afin de s'assurer que le nourrisson mange à sa faim, ni trop, ni trop peu, nous avons fixé l'arrêt de la consommation (pour chaque item du repas) après **2 refus consécutifs** émis par le nourrisson (ex : tourne la tête à l'approche de la cuillère, ferme la bouche, fait « non » de la tête). Le respect de ce critère passe par des **consignes précises données à la mère** : *« Votre enfant doit manger à sa faim, ni plus, ni moins. C'est lui qui décide des quantités qu'il souhaite manger. Je vous demande donc de ne pas l'inciter à manger plus ou à manger moins que ce qu'il ne voudrait […]. Lorsque votre enfant émet 2 refus consécutifs à l'approche de la cuillère, on considère qu'il n'en veut plus […] ».* Ce design expérimental est plus largement détaillé dans l'**Article 2**.

1.3.2. Une mesure observationnelle au domicile

Pour compléter la mesure de compensation calorique et évaluer dans quelle mesure l'ajustement énergétique peut se faire à l'échelle de plusieurs repas après la consommation de la pré-charge, nous avons utilisé un relevé de consommation. L'ensemble des prises alimentaires du nourrisson est renseigné de façon **prospective** dans un carnet (par la mère ou la personne qui nourrit) sur deux périodes de **24 h suivant les deux venues au laboratoire** (lors desquelles la mesure de compensation calorique est réalisée) : par exemple, si le premier jour de la mesure de compensation calorique est un lundi au déjeuner, la mère renseigne les prises alimentaires de son bébé jusqu'au mardi, déjeuner inclus. **Les quantités sont évaluées par pesées** (si le nourrisson est allaité, ce dernier est pesé avant et après la tétée à l'aide d'un pèse-bébé). Dans le cas où la mère n'aurait pas la possibilité de peser les aliments (ex : nourrisson en crèche, oubli de la balance), un référentiel photographique de mesures

ménagères illustré (développé par le CRÉDOC[13] pour l'étude Nutri-Bébé SFAE 2013, (Chouraqui, Tavoularis, Simeoni, Ferry, & Turck, 2019)) est également fourni en tant 'qu'outil de secours' pour estimer les quantités servies et restantes. La mère renseigne également l'heure de la prise alimentaire et décrit les aliments offerts de façon précise (marque du produit, détail de préparation, ajout de matière grasse etc.). Un extrait de carnet de consommation est présenté en **Figure 28**. De plus amples détails sont donnés dans l'**Article 3**.

Qui a donné à manger ? *M=Mère P=Père A=Autre personne*	**Heure**	**Aliments et détails des recettes proposés à l'enfant**	*Poids du petit pot, de l'assiette ou du biberon Pesez de la même façon avant et après !*	
			Quantité servie	**Quantité restante**
		REPAS AU LABORATOIRE		
M	15h52	Petit brassé Nestlé nature sucré dès 6 mois	122g	26g
		2 boudoirs Blédiscuit dès 10 mois		Mangés en entier
M	19h10	Petit souper Nestlé macaroni tomates courgettes dès 8 mois + 1 c. à café de fromage râpé	222 g	126 g
P	7h40	Biberon lait Guigoz 2ème âge + 240ml d'eau	384 g	136 g
P	10h00	Pur jus pomme Joker dilué avec ¼ d'eau	258g	182g
M	11h46	Purée maison carotte (70%) pomme de terre (30%) + ½ tranche de jambon blanc sans couenne + 1 noisette de beurre	324 g	112 g
		Compote pommes-poires Blédina dès 4/6mois	220 g	92 g
		1 quignon de pain + 1 c. à café de confiture de fraise Confipote (65% de fruits)		Mangé à moitié

Figure 28 : Extrait d'un carnet de consommation : relevé des prises alimentaires depuis le déjeuner pris au laboratoire jusqu'au déjeuner du lendemain.

2. Comment mesurer le fonctionnement de la dyade parent-nourrisson ?

Le terme 'fonctionnement' sous-entend la notion de 'système dynamique', qui fait ici référence à l'interaction qui se produit entre le parent et son bébé au cours du repas. Capter la nature dynamique de l'interaction s'avère particulièrement difficile, bien que, nous le verrons, certaines méthodes peuvent être proposées. Ainsi, un premier pas pour tenter de comprendre comment l'interaction est susceptible d'être modulée peut consister à évaluer de façon indépendante le comportement de l'un ou de l'autre membre de la dyade (comportement du

[13] Centre de Recherche pour l'Étude et l'Observation des Conditions de Vie

parent — généralement la mère — ou du nourrisson). Dans ce cas, il nous faudra garder en tête que ces méthodes ne permettent pas de mesurer le 'fonctionnement dyadique' au sens strict mais donnent des éléments de compréhension sur chacun des membres de cette dyade.

2.1. Principaux questionnaires psychométriques

Le questionnaire psychométrique le plus largement utilisé pour évaluer les comportements alimentaires des enfants (3-13 ans) est le Child Eating Behaviour Questionnaire (CEBQ) (Wardle, Guthrie, Sanderson, & Rapoport, 2001). Il a été adapté selon la tranche d'âge, pour donner le Baby Eating Behaviour Questionnaire (BEBQ) (Llewellyn, van Jaarsveld, Johnson, Carnell, & Wardle, 2011) pour les nourrissons dont l'alimentation est principalement lactée et le Child Eating Behaviour Questionnaire for Toddlers (CEBQ-T) (Herle, Fildes, van Jaarsveld, Rijsdijk, & Llewellyn, 2016) pour les nourrissons dont l'alimentation est diversifiée. Le CEBQ-T est ainsi un questionnaire d'intérêt si l'on veut étudier les comportements alimentaires des nourrissons âgés de 1 an. Il a notamment été utilisé dans le cadre du projet européen HabEat (Caton, Blundell, Ahern, Nekitsing, Olsen, Møller et al., 2014). Le CEBQ et le CEBQ-T sont deux versions très similaires : parmi les dimensions que ces questionnaires évaluent, deux font référence à l'attractivité pour les aliments ('food responsiveness' et 'enjoyment of food') et trois font référence à l'évitement ('satiety responsiveness', 'slowness in eating' et 'food fussiness'). La dimension 'satiety responsiveness' est notamment considérée comme la dimension qui mesure la réactivité aux signaux internes de rassasiement. En ce sens, elle serait le pendant de notre mesure de compensation calorique (Faith, Carnell, & Kral, 2013). Dans le CEBQ-T, cette dimension comporte 5 items listés dans le **Tableau 4**. L'intégralité du CEBQ-T traduit en français est disponible en table supplémentaire associée à l'**Article 5** (page 214).

Tableau 4 : Items de la dimension 'satiety responsiveness' du questionnaire CEBQ-T (Herle et al., 2016). Items évalués sur une échelle allant de 1 = jamais à 5 = toujours.

Mon enfant a bon appétit*
Mon enfant ne peut pas manger son repas lorsqu'il vient juste de manger un snack
À la fin du repas, mon enfant laisse toujours de la nourriture dans son assiette
Mon enfant est rassasié avant la fin du repas
Mon enfant est rassasié facilement

*item codé de 5 à 1

Ainsi, un nourrisson qui montre un score élevé pour la dimension 'satiety responsiveness' est perçu comme étant réactif à ses signaux internes de rassasiement. Dans leur étude, Carnell & Wardle (2007) ont cherché à valider certaines dimensions du CEBQ avec des mesures comportementales chez des enfants de 4-5 ans. Les résultats montrent que le score de la dimension 'satiety responsiveness' est négativement corrélé à l'énergie ingérée et à la vitesse de consommation lors de repas *ad libitum*. Au contraire, les scores des dimensions 'food responsiveness' et 'enjoyment of food' sont positivement corrélés à l'énergie ingérée et à la vitesse de consommation. Les auteurs concluent que le CEBQ est un outil pertinent pour évaluer des comportements alimentaires potentiellement 'obésogènes'.

D'autres questionnaires s'attachent à évaluer les pratiques de nourrissage de la mère. Parmi eux, nous pouvons citer l'Infant Feeding Style Questionnaire (IFSQ) (Thompson, Mendez, Borja, Adair, Zimmer, & Bentley, 2009) adapté pour les nourrissons ou le Child Feeding Questionnaire (CFQ) (Birch, Fisher, Grimm-Thomas, Markey, Sawyer, & Johnson, 2001) pour les enfants. L'IFSQ évalue notamment le degré de contrôle exercé par la mère à travers la mesure de différents styles de nourrissage : 'laissez-faire', 'pressuring', 'restrictive' et 'responsive'. Il permet donc d'évaluer le degré de contrôle exercé par la mère, qu'il soit relatif aux quantités ingérées ou au contexte alimentaire en général. Il existe bien d'autres questionnaires pour évaluer les pratiques de nourrissage ; ils sont présentés dans des revues de la littérature (de Lauzon-Guillain, Oliveira, Charles, Grammatikaki, Jones, Rigal et al., 2012; Vaughn, Tabak, Bryant, & Ward, 2013).

Les questionnaires psychométriques ont pour avantage de donner un aperçu des comportements généralement manifestés par un individu dans son environnement quotidien. Cette évaluation permet de prendre en compte plusieurs situations alimentaires et ainsi d'évaluer un comportement 'moyen' en excluant les fluctuations liées à des variations ponctuelles (ex : comportement alimentaire différent le jour de son anniversaire). Leur principale limite est leur caractère subjectif : dans le cas d'une évaluation du comportement alimentaire d'un nourrisson, les informations recueillies reflètent la perception que le parent a de son bébé.

2.2. Mesures observationnelles

L'utilisation d'enregistrements vidéo est l'une des méthodes observationnelles les plus pertinentes pour capter la nature dynamique de l'interaction entre la mère et l'enfant au cours du repas (Hetherington, 2017). Sur la base de ces enregistrements, les comportements

de la mère et/ou du nourrisson peuvent être codés en utilisant des grilles d'observation. Parmi elles, la grille Nursing Child Assessment of Feeding Scale (NCAFS) (Sumner & Spertz, 1994) validée chez le nourrisson à partir de 1 an, ou encore la grille Responsiveness to Child Feeding Cues Scale (RCFCS) (Hodges, Johnson, Hughes, Hopkinson, Butte, & Fisher, 2013) validée chez le nourrisson de 7 à 24 mois, permettent, sur la base de comportements observables, d'évaluer la nature des interactions au cours du repas. La grille développée par Hodges et collaborateurs (2013) évalue par exemple la réceptivité générale de deux membres de la dyade (attention visuelle, vocalisations, gestes, postures etc.), la nature et la fréquence des signaux de faim et de rassasiement émis par l'enfant ainsi que la réceptivité du parent à ces signaux (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Définitions et méthode de codage des variables de la grille d'observation 'Responsiveness to Child Feeding Cues Scale' (RCFCS) (Hodges, Johnson, Hughes, Hopkinson, Butte, & Fisher, 2013)

Variable	**Scoring**
General responsiveness during feeding[a]	
Visual attentiveness: looking at or in the direction of the caregiver/child	
Positive expressiveness: vocalizations (e.g. babbling, talking) and/or non-verbal expressions (e.g. clapping, patting) of an affirmative, affectionate, and/or delighted tone or nature	5 = Very 4 = Fairly 3 = Somewhat 2 = Not very 1 = Not at all
Negative expressiveness (reverse-coded): vocalizations (e.g. fussing) and/or non-verbal expressions (e.g. hitting, kicking) of a negative, distressed, punitive, and/or forceful tone or nature	
Relaxed physical disposition: combination of relaxed posture and quiet movements during feeding (e.g. molding to caregiver's body)	
Child feeding cues	
Hunger (4 early, 13 active, 3 late cues): coded from the beginning of the observation until 1 min following the first bite	Presence (and frequency) *vs* absence
Fullness (9 early, 15 active, 4 late cues): coded from the beginning of food preparation until 1 min after the last food to mouth contact food/child was removed from feeding location – whichever came first	
Caregiver responsiveness to child feeding cues	
Hunger cues: the latency of the caregiver's feeding response to child hunger cues. Rated based on the type (e.g. early, active, late) of hunger cues observed from the beginning of the observation until food preparation or placing child in feeding position	5 = Highly 4 = Responsive 3 = Somewhat 2 = Not very 1 = Not at all
Receptiveness to being fed: the response of the caregiver to child hunger and fullness cues from the beginning of food preparation or placing child in feeding position until 1 min following the first food to mouth contact	

Variable	Scoring
Caregiver responsiveness to child feeding cues	
Fullness cues: the latency of the caregiver's feeding response to child fullness cues. Rated based on the type (e.g. early, active, late) of fullness cues observed 1 min after the first food to mouth contact up to 1 min after the last food to mouth contact or the food/child was removed from feeding location – whichever came first	5 = Highly 4 = Responsive 3 = Somewhat 2 = Not very 1 = Not at all

[a] Scored separately for mother and child.

D'autres outils disponibles pour évaluer les comportements sur la base d'enregistrements vidéo sont présentés dans une revue de la littérature (Hetherington, 2017). Ces méthodes d'observation et d'évaluation de ces types de comportements (parfois subtils) sont cependant très chronophages : les enregistrements vidéo doivent être visionnés *a posteriori* et codés par des expérimentateurs entraînés.

Toujours sur la base d'enregistrements vidéo, Fogel et collaborateurs (2017b) ont décrit la microstructure des repas chez des enfants âgés de 4,5 ans : les auteurs ont codé le nombre de bouchées, de cycles masticatoires, de déglutitions et la durée totale d'exposition orale afin d'évaluer différents paramètres tels que la vitesse de consommation (g/min), la taille moyenne des bouchées (g/bouchée) ou encore le nombre moyen de cycles masticatoires par gramme d'aliment. Ces paramètres sont codés à la main par l'expérimentateur lors du visionnage des vidéos à l'aide d'un logiciel de codage du type Noldus The Observer® ou ELAN®. À ce jour, cependant, aucune étude n'a décrit la microstructure du repas des nourrissons en cours de diversification.

Une autre façon de capter la cinétique de la prise alimentaire consiste à représenter des courbes cumulatives. Celles-ci représentent les quantités ingérées en fonction du temps et décrivent de nombreux paramètres tels que la durée du repas, la taille et la fréquence des bouchées ou encore la variation de la vitesse d'ingestion tout au long de la consommation. Les principaux paramètres qui permettent de décrire la microstructure d'un repas sont présentés dans le **Tableau 6**.

Tableau 6 : Principaux paramètres permettant de décrire la microstructure d'un repas. D'après Chapelot, 2013.

Meal
Amount eaten
Energy intake
Duration
Eating duration[a]
Mean eating rate
Eating rate according to each quarter of the meal
Changes in eating rate[b]
Relative rate of consumption[c]
Bites
Number of bites[d]
Bite frequency
Bite size or weight
Energy content per bite
Bite duration
Number of swallow per bite or food piece
Chew
Chewing time
Meal chewing rate
Bite chewing rate
Number of chews per meal
Number of chews per bite or food piece
Pauses
Number of pauses
Intrameal pause duration
Drinks
Number of drinks per meal
Drinking time per meal

[a] Calculated as the total time with food in mouth. [b] This parameter provides the cumulative intake curve. [c] Defined as 'intake of food during the first half of the meal minus intake during the second half of the meal divided by the total intake of food'. Values > 0.1 indicate a decelerated eating pattern. [d] Sometimes called mouthful or spoonful. The latter should be separated from bite if subjects do not putt all the spoon's content in their mouth.

Pour obtenir les courbes cumulatives il est possible de placer le contenant alimentaire (assiette, bol) sur une balance qui enregistre la variation de la masse tout au long du repas. En s'inspirant de certaines dimensions telle la réceptivité de la mère aux signaux de rassasiement de l'enfant (Hodges, Johnson, Hughes, Hopkinson, Butte, & Fisher, 2013), et en gardant en tête que chez l'adulte, l'apparition du rassasiement au cours du repas peut se traduire par une

décélération de la vitesse de consommation (Westerterp-Plantenga, 2000), nous pouvons suggérer que le parent, en adaptant le rythme de cuillerées offertes et/ou les quantités offertes par cuillérée, joue un rôle majeur dans la façon dont cette décélération est susceptible de se produire. Ainsi, décrire des paramètres purement quantitatifs liés à la microstructure du repas pourrait être un moyen d'appréhender la nature dynamique de l'apparition de modifications de la prise alimentaire liées à l'interaction entre le parent et son enfant. À ce jour, il n'y a pas de travaux ayant reporté des courbes cumulatives de consommation chez des nourrissons.

~ ~

L'observation de la dyade et la description des comportements complètent les questionnaires soumis à des biais de remplissage et ont pour avantage principal de capter de façon objective certains aspects de la nature dynamique de l'interaction grâce à des paramètres quantitatifs et/ou qualitatifs. L'analyse des enregistrements vidéo — qu'elle ait pour but de décrire la réceptivité des membres de la dyade ou la microstructure du repas — est cependant très chronophage. De plus, certains comportements chez le nourrisson, dont certains signaux de rassasiement, peuvent être très subtils et difficilement identifiables. L'utilisation d'une balance connectée, en permettant d'obtenir des courbes cumulatives, serait un autre moyen de décrire la dynamique de la prise alimentaire de façon relativement automatisée.

2.3. Mesure du fonctionnement de la dyade mère-nourrisson : notre choix méthodologique

2.3.1. Balance connectée couplée à un enregistrement vidéo

Nous avons choisi d'évaluer le fonctionnement de la dyade mère-nourrisson en décrivant la **microstructure des repas pris au laboratoire** (durant lesquels la mesure de compensation calorique est réalisée). Pour se faire, nous avons utilisé une **balance connectée couplée à un enregistrement vidéo**. Le développement et la validation de cette méthode objective, encore jamais utilisée chez le nourrisson en cours de diversification, fait l'objet de l'**Article 1** inséré ci-après.

Article 1

Combining two observational methods to describe mealtime episodes in mother-infant dyads during complementary feeding

P. Brugaillères, C. Chabanet, S. Issanchou and C. Schwartz

2018

Proceeding Measuring Behavior, 230-237

ISBN 978-1-910029-39-8

Objectif et principaux résultats

L'objectif de l'**Article 1** était de développer et de valider une méthode objective pour décrire la microstructure du repas des nourrissons âgés de 11 et 15 mois grâce à des enregistrements vidéo et une balance connectée.

La durée effective de consommation (obtenue grâce au codage vidéo) et la durée totale de consommation (obtenue par la balance connectée) sont positivement et très significativement corrélées. De même, le nombre de bouchées (obtenu grâce au codage vidéo) et le nombre de cuillerées offertes (obtenu par la balance connectée) sont positivement et très significativement corrélés. Le codage des enregistrements vidéo étant particulièrement chronophage, notre balance connectée est donc un outil fiable pour extraire automatiquement certains paramètres de la microstructure du repas tels que le contenu de chaque cuillerée ou le délai entre deux cuillerées.

Combining two observational methods to describe mealtime episodes in mother-infant dyads during complementary feeding

P. Brugaillères, C. Chabanet, S. Issanchou and C. Schwartz

Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Université Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France. pauline.brugailleres@inra.fr, camille.schwartz@inra.fr.

Introduction

Studies conducted in adults have shown that individual cumulative food intake curves (based on several consumption parameters like meal duration, bite size, bite frequency and change in eating rate) reflect the eating rate and are stable and consistent within subjects [1]. Yet, a faster eating rate may be a determinant of obesity risk in adults [2]. Considering that eating habits track until childhood and even later until adulthood [3], the description of eating behavior in early life is of importance, especially considering that learning processes related to eating behavior are numerous during this period [4]. Depending on studies, different methods have been used to describe the sequence of eating behaviors during mealtime episodes in children. Thus, videotape recordings or a connected weighing scale which continuously records the weight of plate have been used to analyze eating behavior. For example, in children aged from 10 to 13 years old, some authors assessed the children's eating rate using a connected weighing scale, both in subjects with Prader-Willi syndrome in hospital [5] and in healthy children at schools [6]. Other researchers used the analysis of videotape recordings of meals taken at home to assess the number of bites [7]. Recently, an experimental study conducted in adolescents associated both a videotape recording strategy to identify the type of selected foods in an *ad libitum* buffet and a connected weighing scale to quantify the amount of food eaten [8]. In younger children (4 to 5 years old), the video-recorded data of *ad libitum* lunches taken in laboratory revealed the existence of slow and fast eaters [9]. In this study, the authors went further in assessing the children's eating behavior by describing the microstructure of their eating behavior (i.e., bite size, number of chewing and swallows). In infants younger than one year old, whereas some studies have investigated the eating behavior in formula fed infants [10], no study was performed in complementary fed infants. The main feature of mealtime episodes during complementary feeding is the fact that infants remain dependent on a caregiver to be fed. This specific aspect has to be considered to describe mealtime episodes in mother-infant dyads during complementary feeding. Indeed, the meal initiation and cessation are highly linked to the parent-infant dyad functioning [11]. To start the meal when the infant is hungry and to stop the meal when the infant is full, the parent has to interpret correctly hunger and satiation signals that should be clear enough from the infant [12]. Hence, the infant's satiation signals play a major role in the cessation of the meal but their nature, and thus their clarity, could be highly variable between infants [13, 14]. From the parent's side, the perception of the satiation cues could also be modulated depending on several factors like maternal and infants' characteristics (e.g. sex of the infant, maternal weight status) [11]. In this regard, we assumed that combining two observational methods, the videotape recording and the use of a connected weighing scale, could be a relevant way to describe the dyadic processes occurring in mealtime episodes during complementary feeding. Thereby, the aim of this study was to develop and validate such mixed observational method as a tool to describe dyad functioning. Through this combined approach, changes in different parameters like the eating rate before and after the first refusal to consume, as a first cue of satiation, could be explored to describe whether the parents and the infants are synchronized and responsive to each other.

Materials and methods

Data collection

This study was part of a larger research project conducted from May 2015 to December 2016 and aimed at understanding the etiology of infants' eating behavior. This study was conducted according to the guidelines established in the Declaration of Helsinki and was approved by the local ethical committee (Comité de Protection des Personnes Est I Bourgogne, 2015-A000014-45). This trial was registered at clinicaltrials.gov as NCT03409042. Written informed consent was obtained from both parents. When the infants were nearly 1 year

old, the mother-infant dyads were invited to come twice to the laboratory on two non-consecutive days to participate in videotaped meals. For the purpose of the study, the infants were offered a food preload followed by an *ad libitum* meal. Here, we focus on the consumption of the *ad libitum* meal; thus, the preload consumption will no longer be mentioned. Two foods (i.e. 300g of a vegetable and meat or fish puree – here called as 'vegetable puree'– followed by 195g of fruit puree) were offered as the *ad libitum* meal. Each food was served in large opaque bowl, so that mothers could not get an accurate idea of the offered quantities. The infants were seated in a high chair in front of their mother in a dedicated study room. The mothers fed their infant as they usually did (i.e., free to interact), using their own spoon. They were instructed to remain attentive to the refusals to consume emitted by their infant. Indeed, they had for instruction not to encourage nor restrict consumption and to stop offering each food of the meal (vegetable and fruit puree) when the infant emitted 2 consecutive refusals (e.g., the infant refused to open the mouth, pushed away the spoon or shook his/her head). Via a door equipped with a two-way mirror, the experimenters could observe the mother-infant dyads without being seen and thus ensuring that instructions were followed by the mothers.

Connected weighing scale

During consumption, the opaque bowls were placed on a digital weighing scale of 0.1g sensitivity (Adam® PGL-12001 or NBL-4602e depending on the study room) connected to a computer which recorded the weight every second (Figure 1). Hence, mothers were asked to manipulate the spoon without handling the bowl. The experimenter started off and stopped the recording manually for each food. For this, the experimenter made sure that both start and end time corresponded to the same physical condition (i.e., spoon placed into the bowl + food content).

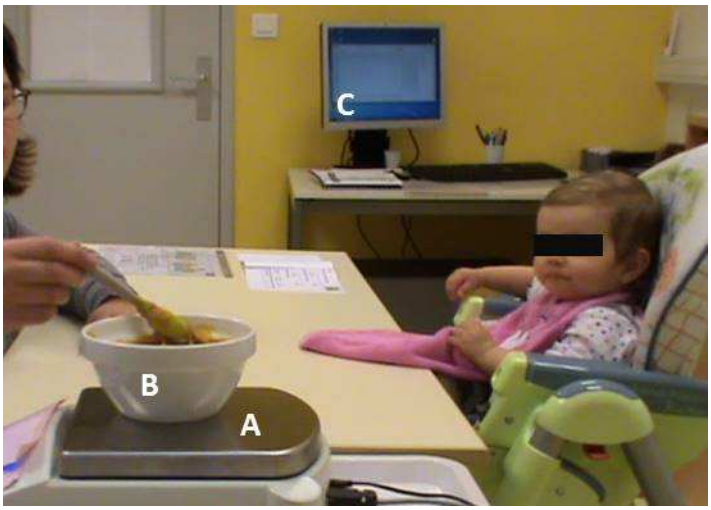


Figure 1. Recording device with the digital weighing scale (A), the bowl (B) and the computer (C).

The main output variables directly obtained were the total weight intake (g) and the total duration of the food consumption (s). Both were respectively obtained by the difference between the final and the initial weight and time recorded. Moreover, the device allowed the collection of numerous other variables like the number of spoonfuls (i.e., each time when the mother took off a full spoon from the bowl) or even the weight of spoonful content and the time at which each spoonful was taken off. Thus, the eating rate could be derived and was expressed in gram or in number of spoonfuls per second.

Videotape coding

All meals were video recorded using two cameras (Sony Handicam® DCR-SX31) filming the infant of the front and profile. The videotape coding was performed by four trained experimenters using the Noldus The Observer® software. For each food, four behaviors and one methodological parameter were coded (Table 1).

Table 1. Video-coded behaviors, methodological parameter and output variables

	Definition	Coding scheme	Output variable
Behaviors			
1. Consumption duration	The start of the consumption corresponded to the first lip-food contact, when the infant closed his mouth on the first accepted spoon The end of the consumption corresponded to the last lip-food contact, when the last accepted spoon got out of the mouth of the infant	State event	Effective consumption duration (s) (Consumption duration – duration of meal's breaks)
2. Meal's break	The start of each break was coded when the mother stopped to offer the food in response to an external or unusual event (e.g., spilled food requiring to clean the table and/or the infant) The end of the break was coded when the mother went back to feeding her infant	State event	
3. Bite	When each accepted spoon got out of the mouth of the infant	Point event	Number of bites
4. First refusal to consume	First refusal to consume the offered spoon by the infant. This behavior being highly variable between individuals, we established a list of behaviors based on a published list [13]. We completed this list by previewing some videos. Examples of first refusals to consume are shown in Figure 2	Point event	Duration from the start of consumption and the appearance of the 1st refusal to consume (s)
Methodological parameter			
1. First removed spoon from the bowl	Time when the first spoon was removed from the bowl (i.e., this corresponds to the first decrease of weight recorded by the connected weighing scale). This point event was necessary to synchronize data from the videotape with data from the connected weighing scale	Point event	Duration from the start of the videotape and the start of the connected weighing scale recording (s)

Figure 2. Examples of refusals to consume: pushing away the spoon (A), turning the head away (B) and refusing to open the mouth (C).

Data analysis

The analyses were performed using the R software for Windows (version 3.4.0). Statistical significance was set at $P < 0.05$. To exploit the connected weighing scale data, starting from the weights recorded each second, the main task was the selection of one measurement per spoonful (Figure 4). Thus, series of consecutive equal weights (runs) were identified and two runs were collapsed if the difference was lower than 0.55g. Runs corresponding to periods where the spoon was left in the bowl were automatically removed. Then, the measurement at the center of each remaining run was selected. Moreover, the recording was not taken into account if less than two measurements were selected or if the weight range was less than 2g over the meal. Null weights obtained when the scale stopped functioning were detected and removed. Afterwards, the weight of the spoon (manually weighed by the experimenters) was subtracted from the first selected measurement since the spoon was left in the bowl at the beginning of the recording. Finally, when the selected measurements increased between two consecutive values, the first of the consecutive measurements was cancelled. This could occur when the spoonful was not consumed and the next spoonful was smaller. R functions were written to perform all those steps automatically (downloadable R functions on: https://prodinra.inra.fr/record/425131) [15]. Reliability of the connected weighing scale was assessed by evaluating the consistency between the videotape coding data and the connected weighing scale data using both graphical comparisons and Kendall correlations.

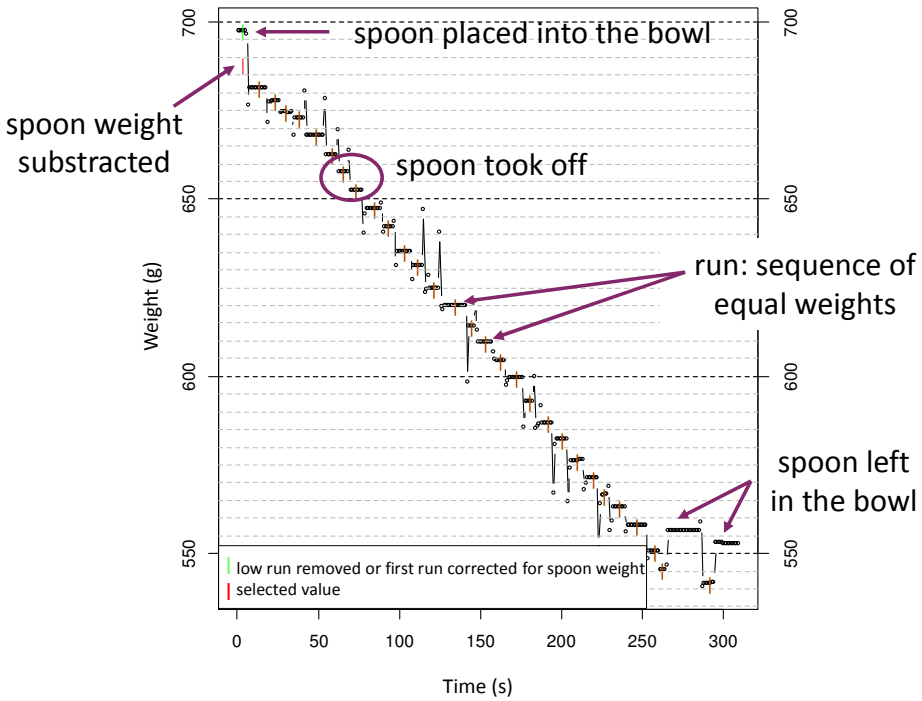


Figure 3. Example of a typical recording from the connected weighing scale illustrating different steps performed by the R functions. Each spoonful is represented by a red vertical trait.

Results

Among the 46 mother-infant dyads who participated in the laboratory meals, videotape and weighing scale data were obtained for n=37. For them, data were obtained from both the videotape coding and from the connected weighing scale for at least one food (vegetable and/or fruit puree) over the two meals. Thus, we analyzed data of 137 food consumption episodes.

Reliability of the data from the connected weighing scale

The results showed good agreement and strong positive correlations between the data obtained from the videotape coding and the connected weighing scale regarding respectively the effective and total duration of

food consumption (τ=0.89, df=135, p<0.001). We also observed a positive correlation between the number of bites from the videotape coding and the number of spoonfuls from the connected weighing scale (τ=0.89, df=135, p<0.001) (Figure 4). These results confirmed the reliability of the developed R functions and the accuracy of the synchronization between the connected weighing scale and the videotape records.

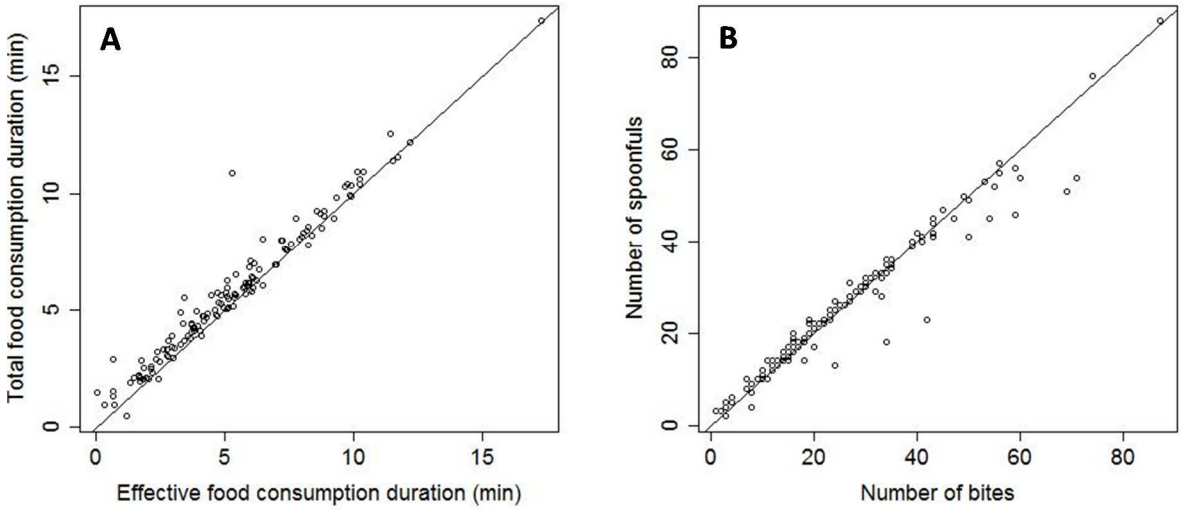
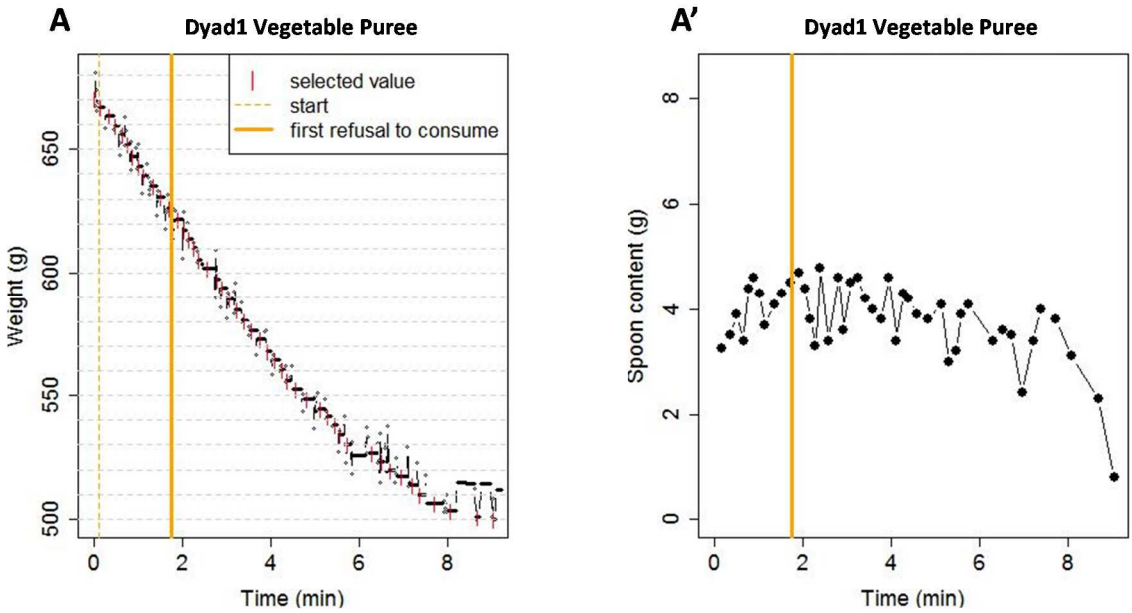


Figure 4. Graphic representations of the effective food consumption duration (from the videotape coding) and the total food consumption duration (from the connected weighing scale) (A) and the number of bites (from the videotape coding) and the number of spoonfuls (from the connected weighing scale) (B).

The overvaluation of the total consumption duration (from the connected weighing scale) compared to the effective consumption duration (from the videotape coding) (Figure 4A) is explained by the fact that the connected weighing scale, contrary to the videotape recording analysis, included the meal's breaks as part of the course meal. Similarly, as shown in Figure 4B, the number of spoonfuls tended to be lower than the number of bites; this reflects that one spoonful may be consumed in several bites before the spoon returned to the bowl.

Examples of different mother-infant dyadic functionings revealed by the mixed observational method

Below, graphic representations illustrate some mealtime episode parameters from 3 different mother-infant dyads. These are presented as typical cases of different functionings (Figure 5).



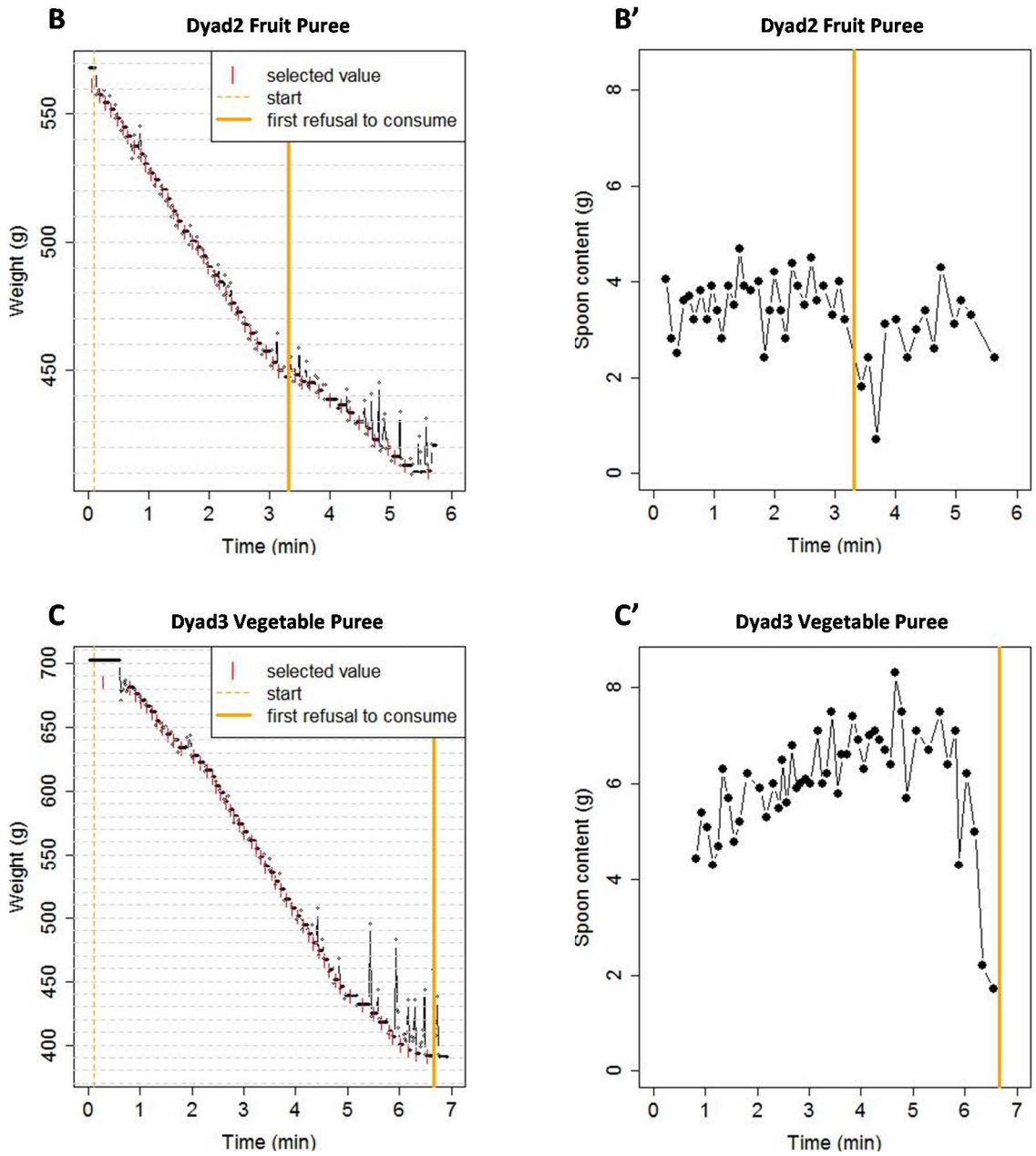


Figure 5. Graphics (A), (B) and (C) illustrate the eating rate (g/min) to consume a food (vegetable or fruit puree) obtained with the connected weighing scale. Each spoonful is represented by a red vertical trait. The time of appearance of the first refusal obtained with the videotape record is represented by a vertical yellow line. The axis scales were adapted according to the weight consumed and the duration of consumption which were variable between dyads. The initial weight for the vegetable puree could vary slightly depending on the used bowl (A), (C). For each dyad, the corresponded spoonful content over time is presented in (A'), (B') and (C') graphics.

The comparative observation of the (A), (B) and (C) graphics clearly revealed that the duration from the start of the consumption and the appearance of the 1st refusal to consume was highly variable between dyads. The first refusal appeared in the first third of the course of the consumption episode for the dyad 1 (A), whereas it appeared in the middle for the dyad 2 (B) and by the end for the dyad 3 (C). Moreover, this case analysis also showed a change in the dynamic occurring around the appearance of this first refusal. Contrary to the dyad 1 (A), the first refusal was followed by a decrease of the eating rate in the dyad 2 (B).

Inter-dyad variability regarding the mean spoon content could also be revealed: overall, the spoon content seemed to be greater in dyad 3 (C') than in the other dyads (A'), (B'). The dyad 3 (C') also showed an increase of the spoonful content over time. Such dynamic was not observed so clearly in the other dyads (A') and (B').

Finally, the intra-dyad parameters comparison highlighted another interesting fact: in dyad 2, the time of the first refusal to consume seemed to be associated with a punctual decrease of the spoonful content and a greater time-lapse between successive spoons (B/B'). This suggests that the parent and the infant are responsive to each other.

Applications & perspectives

The data from the connected weighing scale and the videotape recordings did not evaluate strictly the same meal's episode parameters (i.e., total *versus* effective food consumption duration and number of spoonfuls *versus* number of bites). However, the strong positive correlations obtained between data from these two methods provided support that both methods allowed to obtain similar meal episode patterns. Considering that the coding of videotaped meals require around 30 minutes per food consumption episode (i.e., almost 70 hours of coding were necessary in the present study), we assume that the use of the connected weighing scale could be a reliable substitute for coding automatically some meal episode parameters like the total consumption duration and the number of spoonfuls. This also enables the collection of other variables like the spoonful weight of each offered spoonful which provides a unique insight to describe the food consumption episode; this would not be possible through the videotape recording method only. However, the videotape recording method is still an essential tool for qualitative aspects like the appearance of the first refusal to consume. Yet, this parameter is especially important when exploring whether the parent has adapted and changed his/her feeding style. As a complementary tool, it also allows to understand artefacts (due to the pressure applied with the spoon to the bowl for example) obtained with the connected weighing scale. Thus, this study highlighted the importance of using a mixed observational method to describe mealtime episodes in mother-infant dyads during complementary feeding. Studying eating behavior by an observational approach has been proved to be relevant by allowing a unique insight in all contextual and social aspects of feeding [16]. To go further and explore more aspects of the sequence of events, a particular focus could be made on the different changes surrounding the first refusal to consume. Also, depending on the question to explore, coding more qualitative aspects of the eating episode could be considered for future studies (e.g., visual attention – target and duration of gazes, joint attention – or verbal communication) [17]. Very interestingly, the present mixed observational method revealed the existence of different mother-infant dyadic functionings in the context of a mealtime episode. Data from the literature have underlined that a higher eating rate was positively associated with a higher Body Mass Index (BMI), through self-reported data in 30-42 months children (mothers answered questionnaires regarding their children) [18] but also through the analysis of meals' videotapes in 4-5 years old children in an *ad libitum* buffet context [19]. In a context of increasing prevalence of obesity [20], understanding the development of eating patterns (among which mother-infant dyadic functioning) and their links with early weight gain trajectories is needed. In their model, DiSantis and colleagues [12] theorized that a discordant caregiver-infant dynamic – also referred as to a non-responsive feeding style – (e.g., inappropriate parental response to their infant's hunger and satiation cues and/or unclear signal emission by the infants) can result in increased feedings (in terms of amount and/or frequency). This might lead to an accelerated weight gain and in turn to overweight. Considering this, different profiles of mother-infant dyadic functioning and infants' anthropometrics could be seen together as an interesting perspective. Very recently, we have also adapted a paradigm to evaluate infant's caloric-compensation abilities [21]. Another perspective is then to explore whether different mother-infant dyadic functionings in the context of mealtime are linked with different infant's caloric compensation abilities.

Funding

This work was supported by grants from ANR (ANR-15-CE21-0014); the Regional Council of Burgundy Franche-Comté (FABER) and the French Society of Nutrition (SFN 2015).

Acknowledgements

We thank Marion-Eve Guillard, Marceline Anthoine-Milhomme and Justine Penin who made the videotape coding. We thank Jacques Maratray for developing the connected weighing scale software. We thank Fabienne

Bouillot (ChemoSens) for her help in recruiting participants, Valérie Feyen for her help in the data collection and the mother-infant dyads who have accepted to participate in this study.

References

1. Westerterp-Plantenga, M.S. (2000). Eating behavior in humans, characterized by cumulative food intake curves - a review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* **24**(2), 239-248.
2. Ohkuma, T., Hirakawa, Y., Nakamura, U., Kiyohara, Y., Kitazono, T., Ninomiya, T. (2015). Association between eating rate and obesity: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Obesity* **39**(11), 1589-1596.
3. Nicklaus, S., Remy, E. (2013). Early origins of overeating: Tracking between early food habits and later eating patterns. *Current Obesity Reports* **2**(2), 179-184.
4. Schwartz, C., Vandenberghe-Descamps, M., Sulmont-Rossé, C., Tournier, C., Feron, G. (2017). Behavioral and physiological determinants of food choice and consumption at sensitive periods of the life span, a focus on infants and elderly. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.
5. Lindgren, A.C., Barkeling, B., Hägg, A., Ritzén, E.M., Marcus, C., Rössner, S. (2000). Eating behavior in Prader-Willi syndrome, normal weight, and obese control groups. *The Journal of Pediatrics* **137**(1), 50-55.
6. Zandian, M., Ioakimidis, I., Bergström, J., Brodin, U., Bergh, C., Leon, M., Shield, J., Södersten, P. (2012). Children eat their school lunch too quickly: an exploratory study of the effect on food intake. *BMC Public Health* **12**(1), 351.
7. Llewellyn, C.H., van Jaarsveld, C.H.M., Boniface, D., Carnell, S., Wardle, J. (2008). Eating rate is a heritable phenotype related to weight in children. *American Journal of Clinical Nutrition* **88**(6), 1560-1566.
8. Langlet, B., Fagerberg, P., Glossner, A., Ioakimidis, I. (2017). Objective quantification of the food proximity effect on grapes, chocolate and cracker consumption in a Swedish high school. A temporal analysis. *PloS ONE* **12**(8), e0182172.
9. Fogel, A., Goh, A.T., Fries, L.R., Sadananthan, S.A., Velan, S.S., Michael, N., Tint, M.-T., Fortier, M.V., Chan, M.J., Toh, J.Y. (2017). Faster eating rates are associated with higher energy intakes during an ad libitum meal, higher BMI and greater adiposity among 4· 5-year-old children: results from the growing up in Singapore towards healthy outcomes (GUSTO) cohort. *British Journal of Nutrition* **117**(7), 1042-1051.
10. Agras, W.S., Kraemer, H.C., Berkowitz, R.I., Korner, A.F., Hammer, L.D. (1987). Does a vigorous feeding style influence early development of adiposity? *The Journal of Pediatrics* **110**(5), 799-804.
11. McNally, J., Hugh-Jones, S., Caton, S., Vereijken, C., Weenen, H., Hetherington, M. (2016). Communicating hunger and satiation in the first 2 years of life: a systematic review. *Maternal & Child Nutrition* **12**(2), 205-228.
12. DiSantis, K.I., Hodges, E.A., Johnson, S.L., Fisher, J.O. (2011). The role of responsive feeding in overweight during infancy and toddlerhood: a systematic review. *International Journal of Obesity* **35**(4), 480-492.
13. Hodges, E.A., Johnson, S.L., Hughes, S.O., Hopkinson, J.M., Butte, N.F., Fisher, J.O. (2013). Development of the responsiveness to child feeding cues scale. *Appetite* **65**, 210-219.
14. Hodges, E.A., Wasser, H.M., Colgan, B.K., Bentley, M.E. (2016). Development of Feeding Cues During Infancy and Toddlerhood. *MCN The American Journal of Maternal Child Nursing* **41**(4), 244-251.
15. Chabanet, C., Maratray, J., Brugaillères, P., Issanchou, S., Schwartz, C. (2018). R functions to extract data from a connected weighing scale used during a meal. http://prodinra.inra.fr/record/425131.
16. Pesch, M.H., Lumeng, J.C. (2017). Methodological considerations for observational coding of eating and feeding behaviors in children and their families. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* **14**(1), 170.
17. Hetherington, M.M. (2017). Understanding infant eating behaviour – Lessons learned from observation. *Physiology & Behavior* **176**, 117-124.
18. Okubo, H., Miyake, Y., Sasaki, S., Tanaka, K., Hirota, Y. (2017). Rate of eating in early life is positively associated with current and later body mass index among young Japanese children: the Osaka Maternal and Child Health Study. *Nutrition Research* **37**, 20-28.
19. Fogel, A., Goh, A.T., Fries, L.R., Sadananthan, S.A., Velan, S.S., Michael, N., Tint, M.T., Fortier, M.V., Chan, M.J., Toh, J.Y., Chong, Y.-S., Tan, K.H., Yap, F., Shek, L.P., Meaney, M.J., Broekman, B.F.P., Lee, Y.S., Godfrey, K.M., Chong, M.F.F., Forde, C.G. (2017). A description of an 'obesogenic' eating style that promotes higher energy intake and is associated with greater adiposity in 4.5 year-old children: Results from the GUSTO cohort. *Physiology & Behavior* **176**, 107-116.

20. Verdot, C., Torres, M., Salanave, B., Deschamps, V. (2017). Corpulence des enfants et des adultes en France métropolitaine en 2015. Résultats de l'étude Esteban et évolution depuis 2006 // Children and adults body mass index in France in 2015. Results of the Esteban study and trends since 2006. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire* **13**, 234-241.
21. Brugaillères, P., Issanchou, S., Chabanet, C., Nicklaus, S., Schwartz, C. (2017). Capacité d'ajustement énergétique à court terme chez le nourrisson : évolution autour de 1 an. *Proceedings of Journées Francophones de Nutrition* (Nantes, 13-15 December).

2.3.2. Une mesure basée sur questionnaire

Dans ce travail nous avons choisi de compléter nos observations de repas au laboratoire par l'utilisation du questionnaire CEBQ-T afin d'évaluer le comportement alimentaire du nourrisson perçu par la mère. Cinq dimensions ont été évaluées : 2 se référant à l'attractivité pour la nourriture ('food responsiveness' et 'enjoyment of food') et 3 se référant à l'évitement ('satiety responsiveness', 'slowness in eating' et 'food fussiness'). La version que nous avons utilisée est disponible en tant que matériel supplémentaire associé à l'**Article 5**. Les mères ont rempli ce questionnaire aux 11 et 15 mois des nourrissons.

3. Bilan des choix méthodologiques mis en œuvre dans ce travail

Afin d'évaluer l'évolution des capacités d'ajustement énergétique des nourrissons entre 11 et 15 mois, nous avons mis en place une **étude longitudinale**. À chaque âge, nous avons placé la dyade mère-nourrisson dans une **situation expérimentale** contrôlée, **en laboratoire** (**Figure 29**). Nous avons mesuré les capacités d'ajustement énergétique à court terme en utilisant le **paradigme de compensation calorique**. L'utilisation de **relevés de consommation** (complétés par un parent au domicile familial) a permis d'évaluer si l'ajustement énergétique pouvait se faire à l'échelle de plusieurs repas après la consommation de la pré-charge. Nous avons également développé un **questionnaire visant à décrire l'alimentation diversifiée** des nourrissons (notamment l'exposition des nourrissons à de la variabilité de densité énergétique) (**Annexe 1**). Le fonctionnement de la dyade mère-nourrisson a été évalué de façon objective, en décrivant la **microstructure des repas pris au laboratoire** à l'aide d'une **balance connectée** et **d'enregistrements vidéo**. Pour compléter cette mesure, nous avons évalué le comportement alimentaire du nourrisson perçu par la mère grâce au **questionnaire psychométrique CEBQ-T**.

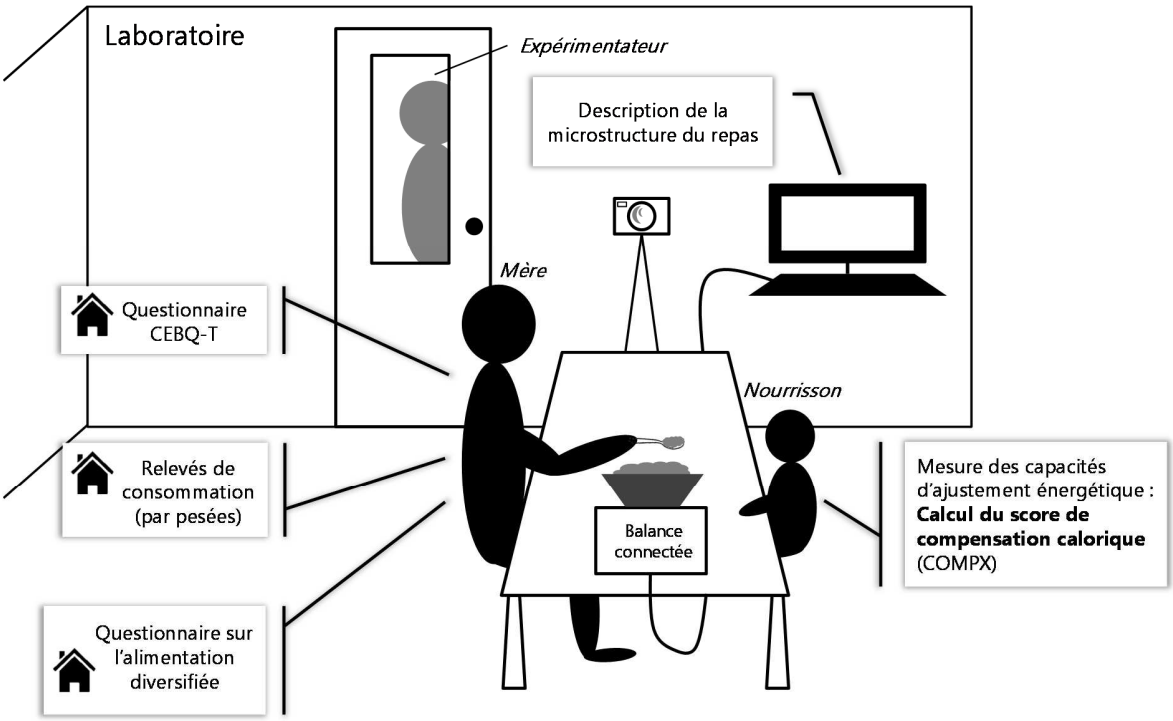


Figure 29 : Design général du présent travail. Les mesures sont réalisées de façon longitudinale aux 11 et 15 mois des nourrissons.

CHAPITRE 3

Changements développementaux des capacités d'ajustement énergétique : liens avec les caractéristiques individuelles et l'historique d'alimentation lactée

Article 2

Caloric compensation in infants: developmental changes around the age of 1 year and associations with anthropometric measurements up to 2 years

P. Brugaillères, S. Issanchou, S. Nicklaus, C. Chabanet and C. Schwartz

2019

American Journal of Clinical Nutrition

http://doi.org/10.1093/ajcn/nqy357

Objectifs et principaux résultats

L'objectif de l'**Article 2** était de décrire les changements développementaux des capacités d'ajustement énergétique des nourrissons vers l'âge de 1 an et d'identifier certains facteurs individuels (ex : durée d'allaitement, z-score d'IMC et sa variation) qui pourraient être liés aux différences interindividuelles des capacités d'ajustement énergétique.

Les capacités d'ajustement énergétique se détériorent de 11 à 15 mois. Cette détérioration est associée à une augmentation du z-score d'IMC entre 11 et 15 mois et à un z-IMC plus élevé à l'âge de 2 ans. Aucun lien significatif n'a été mis en évidence entre les capacités d'ajustement énergétique et la durée d'allaitement maternel.

Title: Caloric compensation in infants: developmental changes around the age of 1 year and associations with anthropometric measurements up to 2 years

Authors' names: Pauline Brugaillères[1], Sylvie Issanchou[1], Sophie Nicklaus[1], Claire Chabanet[1], Camille Schwartz[1]

Authors' affiliations: [1]Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France

Authors' last names: Brugaillères, Issanchou, Nicklaus, Chabanet, Schwartz

Conflicts of interest: The authors declare no conflicts of interest

Corresponding author: Camille Schwartz, UMR Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, 17 rue Sully, 21000, Dijon, France. Tel.: +33 380 69 37 43; Email: camille.schwartz@inra.fr

Sources of support: This work was supported by grants from ANR PUNCH (ANR-15-CE21-0014); the Conseil Régional Bourgogne, Franche-Comté (PARI grant) and the FEDER (European Funding for Regional Economic Development); the French Society of Nutrition (SFN 2015); and a PhD fellowship from the French Ministry for Education and Research.

Short running head: Caloric compensation in infants

Abbreviations: ED: Energy Density (kcal/100 g), LED: Low Energy Density, HED: High Energy Density, EI: Energy Intake (kcal), CF: Complementary Feeding, SES: Socioeconomic status

Clinical Trial Registry number and website: This trial was registered at clinicaltrials.gov as NCT03409042 (https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT03409042).

ABSTRACT

Background: Previous results based on dietary recall suggest that the ability to adjust eaten quantities to food energy density (ED) may deteriorate around the age of 1 y. However, this hypothesis has not been investigated experimentally.

Objectives: The first aim was to describe changes in the short-term caloric compensation ability of infants around the age of 1 y. We expected a decrease in this ability with age. The second aim was to identify individual factors (e.g., breastfeeding duration, BMI z-score and change in BMI z-score) related to interindividual variations in caloric compensation ability.

Design: We adapted the preload paradigm to calculate a COMPX score. The measure was performed in the laboratory at 11 and 15 mo. The parent offered a food preload that was either low or high in ED (LED = 33 kcal/100 g or HED = 97.9 kcal/100 g, respectively), followed by an *ad libitum* meal after 25 min. The infants were measured and weighed. Information about the infants' milk-feeding history was collected.

Results: We obtained COMPX scores at 11 and 15 mo for 31 infants (12 females). As hypothesized, the caloric compensation ability significantly decreased with age ($COMPX_{11}$ = 52 ± 133%; $COMPX_{15}$ = -14 ± 151%; P = 0.03). The more the COMPX score decreased, the more the BMI z-score between 11 and 15 mo increased (P = 0.03) and the higher the BMI z-score was at 2 y (P = 0.03). No associations were found between COMPX scores and breastfeeding duration (all $P > 0.60$).

Conclusions: Caloric compensation ability decreases between 11 and 15 mo. This decrease is associated with a larger increase in weight status from 11 to 15 mo and a higher weight status at 2 y. This study calls for further research to better understand the early determinants of caloric compensation ability.

KEY WORDS: Eating behavior, energy compensation, food intake, BMI z-score, appetite control, longitudinal study

INTRODUCTION

An impaired ability to self-regulate energy intake (EI) according to energy needs may tip the energy balance and increase the risk of excessive weight gain. Adjusting food intake to the energy density (ED) of food is one way to self-regulate EI (1). Previous experimental research has shown that over a period of 4 mo (2) or 6 mo (3), infants can sense postingestive cues related to variations in the ED of formula and react by adjusting the consumed amount of milk. When the ED of semisolids is increased by oil supplementation (from 20 to 35 kcal/100 g) or by varying the proportions of ingredients, such as rice maltodextrin (50 kcal/100 g to 150 kcal/100 g), 6- to 11-month-old breastfed infants reduce their breastmilk intake to compensate for this increase in ED quite accurately (4, 5). An interventional study reported that recovering malnourished 6- to 18-month-old infants partially adjust their daily intakes according to different EDs (40 kcal/100 g to 150 kcal/100 g) of semisolid foods (6). A cross-sectional study of 3,022 infants based on 24-h dietary recall reported a significant negative association between food ED and average portion size z-scores from 4 to 11 mo but not from 12 to 24 mo (7). Thus, the authors suggested that the infants' ability to adjust EI may deteriorate around the age of 1 y. These studies have investigated caloric adjustment over periods ranging from 2 d (4) to 6 mo (3). Only one study evaluated food intake during an *ad libitum* meal preceded by the consumption of a low or high ED preload in 18-month-old infants (8). The authors found that in contrast to failure-to-thrive infants, normal-weight infants perfectly adjusted their total EI values between the two preload days. Studies on short-term caloric compensation ability in 3- to 7-year-old children reported very good or quite

good caloric adjustment (9-16). Some of these studies also highlighted considerable interindividual differences in this ability (11-16). Early feeding practices may partly explain these differences; compared to breastfeeding, formula feeding has been associated with a reduced ability to self-regulate EI (17-21). This difference could be due, for example, to more maternal control during bottle-feeding than breastfeeding (22). When associations between anthropometric measurements and caloric compensation ability were examined in previous cross-sectional preload studies (3- to 7-year-old children), contrasting results were reported (negative association (15, 16) or no association (11, 12, 14)). Contrasting results were also reported concerning associations with sex (11, 12, 14). We aimed to describe the change in the short-term caloric compensation ability of infants (reflecting the infant's responsiveness to variations in ED) around the age of 1 y. We expected a decrease in this ability. Our second aim was to determine whether infant characteristics (sex, birth weight, BMI z-score (z-BMI) and changes in z-BMI until the age of 2 y) or feeding history variables (breastfeeding duration and age at the start of complementary feeding (CF)) were related to interindividual variations in caloric compensation ability. We hypothesized that breastfed infants would have a better caloric compensation ability than formula-fed infants. No hypotheses were formulated concerning the other infant characteristics.

SUBJECTS AND METHODS

This study was undertaken in Dijon (France). Recruitment was conducted from May 2015 to December 2016 using leaflets distributed to health professionals' consulting rooms, using our internal database (Chemosens Platform's PanelSens, Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL), n° 1148039) and with the help of a recruitment agency. Sixty-nine parent-infant dyads were enrolled in the present study. Among these dyads, 29 also participated in

another study (when the infants were 3 mo old and/or around the onset of CF), whose results are presented elsewhere (23). To evaluate the effect of breastfeeding duration on caloric compensation ability, we aimed to recruit infants with contrasting milk-feeding experiences. Infants were considered to be breastfed if they were exclusively breastfed for at least 5 weeks. In contrast, they were considered to be formula-fed if they were breastfed at most 15 d after birth. Both groups were recruited through the same channels but with different inclusion criteria (see (23) for more details). Data from the literature did not allow us to run a power analysis (8). Therefore, we aimed to obtain data for at least 30 infants at each studied age. The inclusion criteria were as follows: no chronic health problem or food allergies, gestational age ≥ 37 wk, birth weight ≥ 2.5 kg, had never been tube fed and had never been fed a hydrolysate formula. Infants from mothers with diabetes and/or celiac disease and/or infants from minor parents (< 18 y old) were excluded.

This study was conducted according to the guidelines established in the Declaration of Helsinki and was approved by the local ethics committee (Comité de Protection des Personnes Est I Bourgogne, 2015-A000014-45). Written informed consent was obtained from both parents. Participants received a 60 € voucher for completing the measures described in this paper.

Overview

The measures were conducted from December 2015 to July 2017. For each infant, the caloric compensation ability was evaluated twice: once at 11 mo and once at 15 mo. Each measure required two visits of each parent-infant dyad to the laboratory on two nonconsecutive days (mean delay between the 2 visits: 5.4 ± 3.2 d). Considering that the parent was the mother for 93% of the visits (6% father, 1% grandmother), we will further refer to the dyads as 'mother-

infant dyads'. On the first visit, the infants received a fixed amount of a food preload that was either low or high in ED (LED or HED, respectively). After a 25-min play period, the infants were served an *ad libitum* meal. Each infant received the same preload at the two different ages, but the order was counterbalanced across infants, who were randomly assigned to a specific order group (LED/HED or HED/LED). Moreover, each infant received the same *ad libitum* meal (exactly the same food items) at both ages. Four different experimenters conducted the study. The mother-infant dyad was received in a dedicated infant study room by the same experimenter for the two visits.

Study protocol and foods

The two visits occurred at the same time of day, mostly at lunch time (94% at lunch time and 6% at dinner time (between 6 and 6.30 p.m.)). The parents were asked not to feed their infants for 1.5 h before the visit. Approximately 15 min after arrival, the infant was seated in a high chair in front of his mother. The infants were fed by their mothers, who generally used their own spoons. All presented foods were selected from the French baby food market (**Table 1**).

The LED preload consisted of 67 g of carrot puree providing 22 kcal (ED = 33 kcal/100 g), whereas the HED preload consisted of 62 g of the same carrot puree + 5 g of vegetable oil, providing 65 kcal (ED = 97.9 kcal/100 g). The mothers were blinded to the offered preload. To facilitate the consumption of the complete preload portion, which was a prerequisite of the preload paradigm, we chose carrot, which is generally well accepted by and familiar to infants (24). Moreover, the mothers were free to encourage their infants and use toys as distractions when necessary to facilitate preload consumption. The preloads were served warm (42 ± 3°C) in a small clear bowl.

The *ad libitum* meal occurred at the infant's usual meal time and comprised 300 g of a vegetable-meat/fish puree followed by 195 g of fruit puree. The amounts served were greater than the quantities consumed around the age of 1 y (25). These amounts were also established in agreement with a pediatrician to ensure that the infants could eat *ad libitum* without feeling uncomfortable. To respect the infants' food preferences, the recipes were chosen beforehand by the mother from a preselection of 4 vegetable-meat/fish purees and 3 fruit purees (Table 1). The recipes were selected according to their similar EDs. This selection also excluded carrot-based recipes to avoid sensory-specific satiation. The maximal energy content of the meal was 296 kcal. This energy content corresponded to ≈52% or ≈38% of the total daily energy recommended for 6- to 12-month-old or 12- to 24-month-old infants, respectively (26). The vegetable-meat/fish puree and the fruit puree were served separately in large opaque bowls so that the mothers could not obtain an accurate idea of the offered quantities. According to usual practices, the vegetable-meat/fish puree was served warm (42 ± 3°C), whereas the fruit puree was served at room temperature. The mothers received instructions to stop feeding each food in the meal when the infant exhibited 2 consecutive refusals (e.g., the infant refused to open his/her mouth, pushed the spoon away or shook his/her head). The mothers were instructed to feed their infants without encouraging or restricting consumption and to remain attentive to the 2 consecutive refusals: "*Your infant must eat the food until (s)he does not want it anymore. Your infant decides how much (s)he wants to eat. I thus ask you not to incite him/her to eat more or less than what (s)he would like […]. When your infant exhibits 2 consecutive refusals at the approach of the spoon, we consider that (s)he does not want it anymore […]*". During *ad libitum* meals, toys were not allowed to ensure that the infants stayed focused on the meal.

During each food consumption session (i.e., preload, vegetable-meat/fish puree and fruit puree), the experimenter was placed behind a door equipped with a two-way mirror that allowed the observation of the mother-infant dyad without being seen to ensure that instructions were followed by the mother. Weight intake (g) was assessed by weighing each bowl, as well as the bib, before and after consumption (Soehnle, 1 g). Based on intake data, EI was calculated according to the ED information from the manufacturers.

TABLE 1: Nutritional composition and energy density of study foods

Recipes	Protein (g/100 g)	Carbohydrate (g/100 g)	Fat (g/100 g)	Energy density (kcal/100 g)
PRELOAD				
Carrot (Mon 1er petit pot, Blédina®, 4-6 mo)	0.8	5.9	0.2	33.0
Vegetable oils (sunflower/rape)	0.0	0.0	100.0	900.0
VEGETABLE – MEAT/FISH PUREES				
Pea & ham (Nestlé Naturnes®, 6 mo)	3.2	6.0	2.4	62.0
Green vegetables & chicken (Blédina®, 6 mo)	3.4	5.2	2.9	65.0
Vegetables & ham (Blédina®, 6 mo)	3.2	6.7	2.3	64.0
Vegetables potato & hake (Blédina®, 6 mo)	2.9	7.6	2.0	64.0
FRUIT PUREES				
Apple (Blédina®, 4-6 mo)	0.3	11.3	0.2	52.0
Apple-quince (Blédina®, 4-6 mo)	0.4	10.1	0.1	50.0
Apple-pear (Blédina®, 4-6 mo)	0.3	10.4	0.2	49.0

All values were from the manufacturers

Measurements

Caloric compensation score

From the EI data, at each studied age, a caloric compensation score (COMPX) was calculated by dividing the difference in EI from the *ad libitum* meals by the difference in EI from the preloads, with the result transformed to a percentage (11):

$$COMPX = 100 \times [(Meal_{LED} - Meal_{HED}) / (Preload_{HED} - Preload_{LED})]$$

where $Meal_{LED}$ = EI (kcal) at the meal after the LED preload, $Meal_{HED}$ = EI (kcal) at the meal after the HED preload, $Preload_{HED}$ = EI (kcal) from the HED preload, and $Preload_{LED}$ = EI (kcal) from the LED preload. A COMPX of 100% reflects perfect caloric compensation. A COMPX > 100% indicates overcompensation, whereas a COMPX < 100% indicates undercompensation. A COMPX of 0% corresponds to a particular case of undercompensation reflecting a volumetric adjustment (**Supplemental Figure 1**).

Infants' anthropometric measurements

At each age, during the first visit, the infants were weighed in clean diapers and measured in the supine position without shoes (Seca 232, Hamburg, Germany). At the 15-mo visit, some infants were measured in the supine position using another stadiometer (*n* = 1) (Seca 210, Hamburg, Germany), and some infants were measured in the standing position (*n* = 2) (Seca Leicester, Birmingham, UK) if they were taller than 80 cm. All measurements were performed in duplicate and conducted by an experimenter who had previously been trained with a pediatrician. When the infant was 2 y old, the mother completed an online questionnaire and communicated the infant's weight and height, as measured by his/her pediatrician or general practitioner, with the date of the measurement. The body mass index (BMI) was calculated and transformed into age- and sex-standardized z-scores (z-BMI) based on French reference data (27).

Infants' feeding history

Each mother was asked to report the date of the end of exclusive and total breastfeeding and the date of initiation of CF (i.e., defined as the introduction of any food other than milk at least once

per day for 3 consecutive days). Exclusive breastfeeding was defined as the period in which the infant received only breast milk without any additional food or drink, with the exception of water.

Sociodemographic factors and the mothers' anthropometric measurements

The following information was obtained from the questionnaire completed by each mother: the mother's educational level, marital status and parity. The questionnaire also collected the monthly household income on a 12-point scale ranging from "less than 500 €/mo" to "more than 7,500 €/mo". Each mother was asked to self-report her weight and height, which were used to calculate her BMI.

Statistical analysis

Analyses were performed using the R software for Windows (version 3.4.0). The results are reported as the mean ± SD. Statistical significance was set at $P < 0.05$. To calculate the COMPX score, we required a minimal consumption of 85% of the food preload (i.e., at least 57 g of 67 g). Thus, the difference in EI between the LED and HED preload was at least 33 kcal. Infants who did not meet this preload consumption criterion were excluded (n = 4 at 11 mo and n = 7 at 15 mo). In our study, the mean ± SD differences in EI between the two preload conditions were 41 ± 2 kcal at 11 mo and 42 ± 2 kcal at 15 mo. Moreover, the COMPX score was not calculated if the instructions were not followed (i.e., *ad libitum* consumption of the meal not respected: n = 6 at 11 mo and n = 7 at 15 mo; experimental error (weighing of food: n = 1 at 11 mo; food item offered to the infant: n = 1 at 11 mo and n = 1 at 15 mo; order of presentation of the preloads (LED/HED instead of HED/LED): n = 2 at 15 mo)). By using ANOVA and Kendall correlations, we first ensured that the experimental conditions (i.e., LED/HED preload order, experimenter, and time between the two visits), maternal characteristics and sociodemographic factors did not influence

the COMPX scores assessed at each studied age (results not reported here). At each studied age, paired Student's *t* tests were used to compare the energy and weight intake values between the two preload conditions (LED and HED). The mean COMPX scores were then compared to 0 and 100 with Student's *t* tests. The links between the COMPX scores and the infants' characteristics were tested with unpaired Student's *t* tests for sex and Kendall correlations for birth weight and z-BMI at the different ages. The links between COMPX scores and the infant's feeding history were tested with Kendall correlations for the age at the start of CF and unilateral Kendall correlations tests for the duration of exclusive and total breastfeeding.

To explore our hypothesis that caloric compensation ability decreased with age, we tested whether ΔCOMPX (ΔCOMPX = $COMPX_{15}$ – $COMPX_{11}$) was lower than 0 using a unilateral Student's *t* test. Finally, we tested the links between ΔCOMPX and the infants' anthropometric measurements using Kendall correlations for birth weight, the z-BMI at each studied age (z-BMI_{11}, z-BMI_{15}, and z-BMI_{24}), and the changes in z-BMI between 11 and 15 mo (z-BMI_{15} – z-BMI_{11}), 15 and 24 mo (z-BMI_{24} – z-BMI_{15}) and 11 and 24 mo (z-BMI_{24} – z-BMI_{11}).

RESULTS

Sample characteristics

Among the 69 eligible mother-infant dyads, we obtained COMPX scores for 46 infants at 11 mo (20 F; mean age ± SD = 10.6 ± 0.3 mo) and 35 infants at 15 mo (15 F; mean age ± SD = 14.6 ± 0.2 mo). The COMPX score was calculated at both ages for 31 infants (12 F) (**Figure 1**). We obtained at least one COMPX score (at age 11 or 15 mo) for 50 infants. The characteristics of these samples (n = 50 and n = 31) are presented in **Table 2**. These two samples did not differ from each other. This finding supports the assumption that the infants lost to follow-up did not

differ from the infants included in follow-up. The observed age at the start of CF (4.9 ± 1.0, *n* =31) was consistent with the age reported in a French representative cohort study (28). The mean z-BMI scores at 11 and 24 mo were significantly lower than 0 ($P < 0.05$, $n = 31$), which indicated that the infants from our sample were slightly thinner than the French reference cohort (27). However, the lowest z-BMI score of -0.5 observed at 24 mo is not clinically significant. The participating mothers were 33 ± 4 y old at the beginning of the study (i.e., 1st visit when the infant was 11 mo) and had an average prepregnancy BMI of 24.2 ± 1.0 kg/m². Fifty-four percent of the mothers were first-time mothers. A large majority of mothers lived with a partner (98%), had at least a high school degree (80%) and declared a rather high monthly household income, above the French median income (90%) (29).

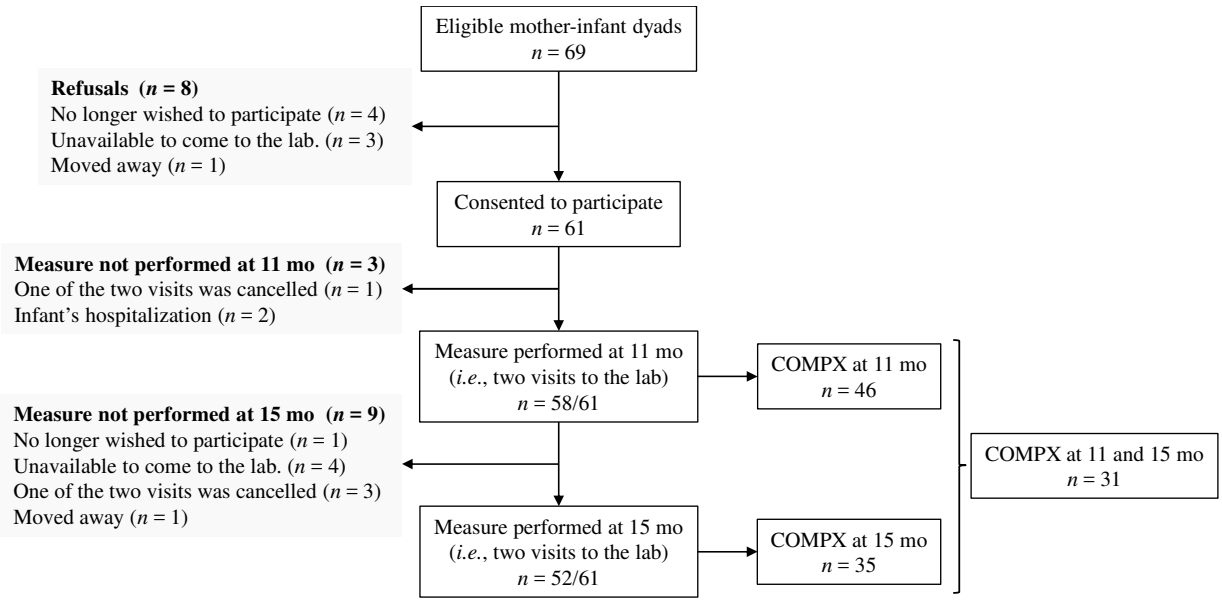


FIGURE 1 Flow chart showing the number of individuals at each stage of the experiment. Among the 61 dyads who consented to participate 3 did not perform the measure at 11 mo but performed the measure at 15 mo.

TABLE 2: Characteristics of the participating infants for which at least one COMPX score was calculated at ages 11 or 15 mo (*n* = 50) and for which the COMPX score was calculated at 11 and 15 mo (*n* = 31).

COMPX score calculation	At 11 and/or 15 mo (*n* = 50)	At 11 and 15 mo (*n* = 31)
Sex (*n*)		
Female	23	12
Male	27	19
Gestational age (wk)	39.7 ± 1.4[1]	39.6 ± 1.5
Birth weight (kg)	3.4 ± 0.4	3.4 ± 0.4
Birth z-BMI	0.4 ± 0.9	0.3 ± 0.9
z-BMI$_{11}$ (*n*)	-0.4 ± 1.0 (*45*)	-0.4 ± 1.1 (*31*)
z-BMI$_{15}$ (*n*)	-0.4 ± 1.0 (*33*)	-0.3 ± 1.0 (*29*)
z-BMI$_{24}$ (*n*)	-0.5 ± 0.9 (*40*)	-0.5 ± 0.8 (*28*)
z-BMI$_{15}$ – z-BMI$_{11}$ (*n*)	0.1 ± 0.6 (*29*)	0.1 ± 0.6 (*29*)
z-BMI$_{24}$ – z-BMI$_{11}$ (*n*)	-0.2 ± 0.9 (*28*)	-0.2 ± 0.9 (*28*)
Duration of exclusive breastfeeding (wk)	8.3 ± 8.7	8.5 ± 9.3
Duration of total breastfeeding (wk)	15.2 ± 19.1	15.8 ± 20.3
Age at the start of CF (mo)	4.9 ± 0.9	4.9 ± 1.0

[1]Mean ± SD (all such values)

Measurements at the age of 11 mo (*n* = 46)

On average, the total EI (preload + vegetable-meat/fish puree + fruit puree) was 159.8 ± 63.7 kcal in the LED preload condition and 182.8 ± 57.0 kcal in the HED preload condition (**Figure 2**). The infants ingested significantly less energy in the LED condition than in the HED condition ($t(45) = 3.15$, $P = 0.003$). In contrast, the total weight intake was significantly higher in the LED condition than in the HED condition (299.0 ± 110.2 g and 267.6 ± 96.8 g, respectively, $t(45) = -2.55$, $P = 0.01$).

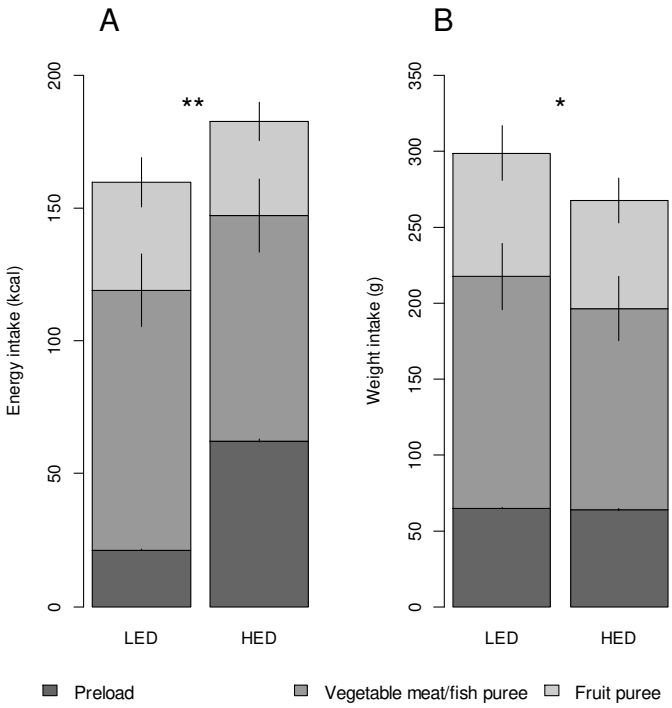


FIGURE 2 Mean energy (A) and weight intake (B) with 95% confidence intervals for each food depending on the ED preload condition at 11 mo. Paired Student's *t* tests, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ ($n = 46$).

The mean COMPX score was 44 ± 119% (min: -251%, max: 442%). This value significantly differed from 100 (t (45) = -3.20, $P = 0.002$), which indicated that, on average, the infants undercompensated for the energy from the preload during the *ad libitum* meal (76% of infants had a COMPX score lower than 100%). The COMPX score was unrelated to sex (t (44) = -1.78, $P = 0.08$), z-BMI at 11 mo ($\tau = 0.08$, $P = 0.42$, $n = 45$), or birth weight ($\tau = 0.15$, $P = 0.13$, $n = 46$). Additionally, no associations were found between the COMPX score and the duration of exclusive breastfeeding ($\tau = -0.09$, $P = 0.79$, $n = 46$) nor with the total duration of breastfeeding ($\tau = -0.06$, $P = 0.72$, $n = 46$) or the age at the start of CF ($\tau = 0.10$, $P = 0.33$, $n = 46$).

Measurements at the age of 15 mo (*n* = 35)

On average, the total EI (preload + vegetable-meat/fish puree + fruit puree) was 140.9 ± 55.6 kcal in the LED condition and 182.2 ± 53.0 kcal in the HED condition. The infants ingested significantly less energy in the LED condition than in the HED condition (t (34) = 4.07, $P < 0.001$) (**Figure 3**). However, the total weight intake values of 267.1 ± 95.9 g in the LED condition and 262.9 ± 89.1 g in the HED condition did not differ according to the preload condition (t (34) = -0.24, $P = 0.81$).

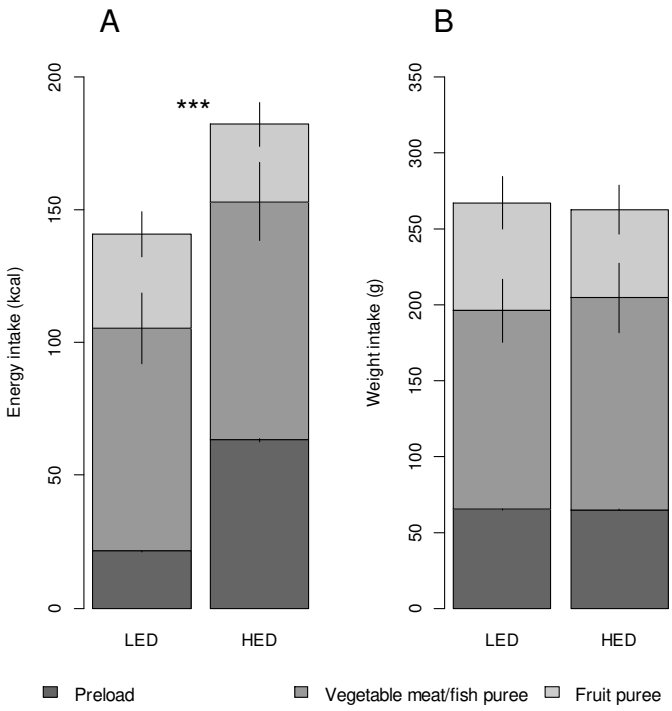


FIGURE 3 Mean energy (A) and weight intake (B) with 95% confidence intervals for each food depending on the ED preload condition at 15 mo. Paired Student's *t* tests, *** $P < 0.001$ ($n = 35$).

The mean COMPX score was -16 ± 151% (min: -282%, max: 239%). This value significantly differed from 100 (t (34) = -4.54, $P < 0.001$) but not from 0 (t (34) = -0.63, $P = 0.53$), which

indicated that, on average, the infants undercompensated for the energy from the preload during the *ad libitum* meal (80% of infants had a COMPX score lower than 100%) while showing a volumetric adjustment. The COMPX score was unrelated to sex (t (33) = -0.31, $P = 0.76$), z-BMI at 15 mo ($\tau = -0.03$, $P = 0.82$, $n = 33$) or birth weight ($\tau = -0.08$, $P = 0.51$, $n = 35$). No associations were found between the COMPX score and the duration of exclusive breastfeeding ($\tau = -0.05$, $P = 0.67$, $n = 35$) nor with the total duration of breastfeeding ($\tau = -0.04$, $P = 0.62$, $n = 35$) or the age at the start of CF ($\tau = 0.08$, $P = 0.51$, $n = 35$).

Change in the COMPX score between the ages of 11 and 15 mo (*n* = 31)

For the group of infants who participated at both studied ages, the mean COMPX scores were 52 ± 133% and -14 ± 151% at ages 11 and 15 mo, respectively (**Figure 4**).

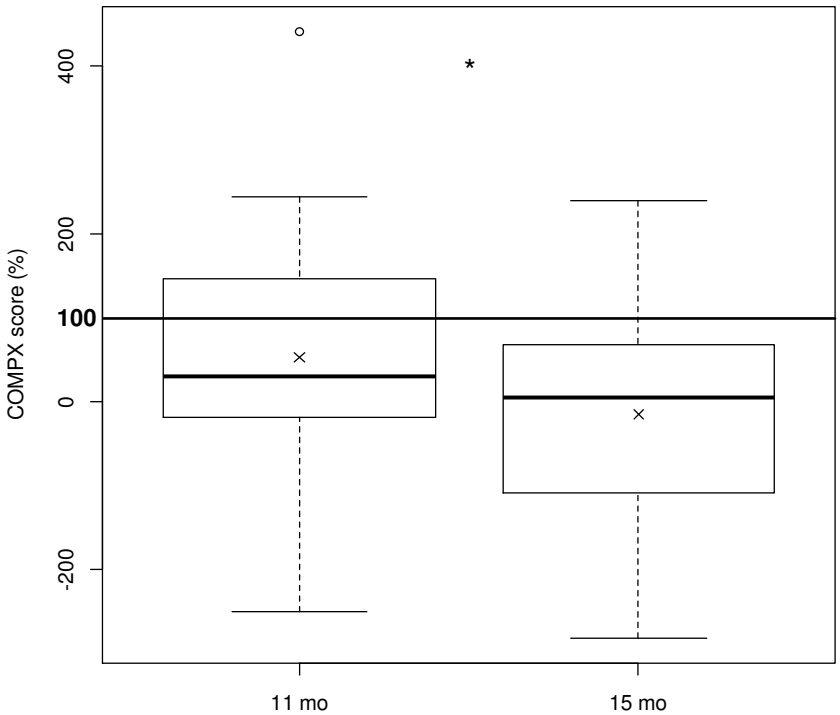


FIGURE 4 Distributions of the COMPX scores at ages 11 and 15 mo for the longitudinal sample (n = 31). The horizontal line indicates the 100% value corresponding to perfect caloric compensation. For each box plot, the bottom and top of the box indicate the 25th and 75th percentiles, respectively, and the line within the box indicates the median; the cross sign (×) indicates the mean. The whiskers extend from the box as far as the data extend to a maximum distance of 1.5 × the interquartile range. Any values more extreme than this value are marked by a small circle (°). *Unilateral paired t test, t (30) = 1.95, P = 0.03.

The mean ΔCOMPX value was -67 ± 190%. This value was significantly lower than 0 (t (30) = -1.95, P = 0.03), which indicated a global decrease in caloric compensation ability over time. The ΔCOMPX score was negatively associated with the change in z-BMI between 11 and 15 mo (τ = -0.29, P = 0.03, n = 29) (**Figure 5**) but unrelated to the change in z-BMI between 15 and 24 mo (τ = -0.02, P = 0.93, n = 26) or the change in z-BMI between 11 and 24 mo (τ = -0.17, P = 0.20, n

= 28) (**Table 3**). Thus, between the ages of 11 and 15 mo, the more the COMPX decreased, the more the z-BMI increased.

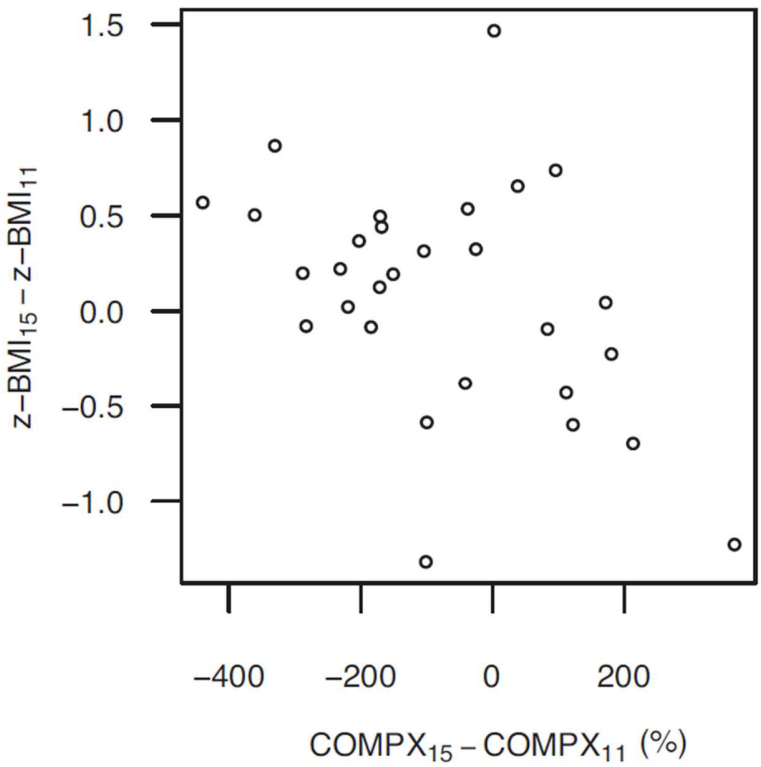


FIGURE 5 Association between the change in COMPX score and the change in z-BMI between the ages of 11 and 15 mo (Kendall correlation, τ = -0.29, P = 0.03, n = 29).

TABLE 3: Associations between the evolution of the COMPX score between ages 11 and 15 mo and the z-BMI scores and their evolutions

	$COMPX_{15} – COMPX_{11}$		
	n	τ	*P-value*
$z\text{-}BMI_{11}$	31	-0.08	0.52
$z\text{-}BMI_{15}$	29	-0.24	0.07
$z\text{-}BMI_{24}$	28	-0.29	**0.03**
$z\text{-}BMI_{15}$ - $z\text{-}BMI_{11}$	29	-0.29	**0.03**
$z\text{-}BMI_{24}$ - $z\text{-}BMI_{15}$	26	-0.02	0.93
$z\text{-}BMI_{24}$ - $z\text{-}BMI_{11}$	28	-0.17	0.20

Kendall correlations. *P*-values in bold are significant

Moreover, the ΔCOMPX score was negatively associated with the z-BMI at 24 mo (τ = -0.29, P = 0.03, n = 28), which indicated that the more the COMPX decreased between 11 and 15 mo, the higher the z-BMI was at 24 mo (**Figure 6** and Table 3).

No associations were found between the ΔCOMPX score and the z-BMI scores at 11 and 15 mo (z-BMI_{11}: τ = -0.08, P = 0.52, n = 31; z-BMI_{15}: τ = -0.24, P = 0.07, n = 29) (Table 3) or the birth weight (τ = -0.17, P = 0.19, n = 31).

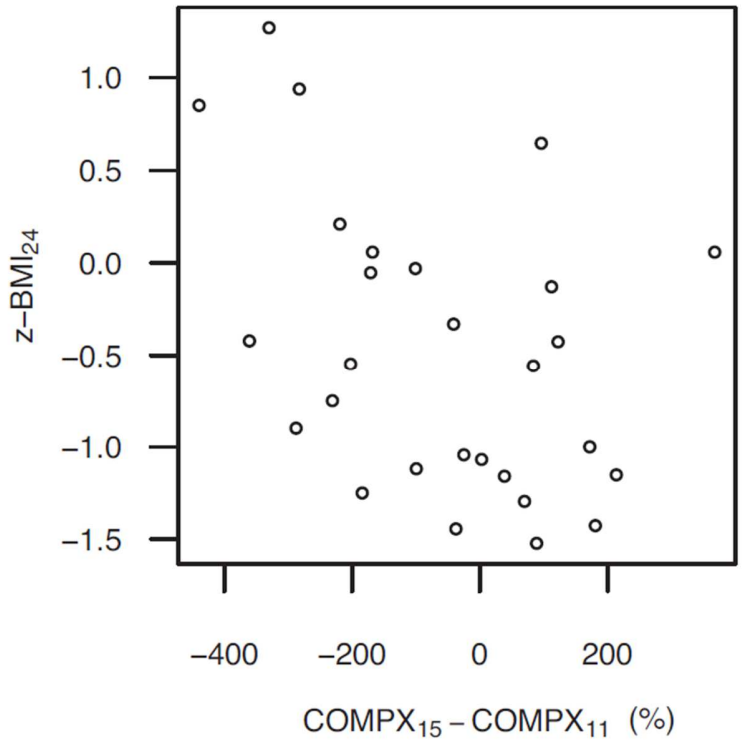


FIGURE 6 Association between the change in COMPX score between the ages of 11 and 15 mo and the z-BMI at 24 mo (Kendall correlation, τ = -0.29, P = 0.03, n = 28).

DISCUSSION

To our knowledge, this study is the first to use the preload paradigm to investigate changes in caloric compensation ability in a longitudinal design with infants around the age of 1 y. As hypothesized, the caloric compensation ability decreased between 11 and 15 mo. A second key finding was that this decrease was negatively associated with the increase in weight status between these two ages and with the weight status at 2 y. At 11 mo old, the infants compensated only partially (≈ 44%) the energy obtained from the preloads. This value is within the range of reported values (21 to 70%) in healthy 3- to 6-y-old children (11, 14-16, 30) but differs from other reported values in healthy 18-mo- to 7-y-old children (77 to 105%) (8, 12, 13, 31). Nevertheless, comparisons must be made cautiously: the preload type, the time interval between the preload and the meal, and the energy differences between the preloads differed among studies (15, 32). The decrease in caloric compensation ability corresponded to a shift toward a volumetric adjustment at 15 mo. This finding indicated that the volume of food eaten predominated over the ED cues. In older children, a volumetric adjustment was reported when investigating the effect of varying ED in one or several meals on food and EI in subsequent meals (33, 34). Whether the volumetric adjustment was more strongly linked to the infants or to the mothers is difficult to determine given that the infants were fed by their mothers. As a result of the CF process, a mother may form expectations regarding the food volume to offer to her child, which is even more true when the child reaches 15 mo. In this regard, numerous studies have shown that adults tend to consume a consistent weight of a food even when the ED is reduced (35). However, the instructions limited the contribution of this factor by letting the infants decide when to stop the meal. The decrease in caloric compensation ability could also be explained by progressive exposure to a more varied diet in terms of ED. An experimental study revealed that

4- to 8-month-old infants learn to associate a flavor with energy (flavor-nutrient learning (FNL)) (36). Yet, Martin argues that increasing ED variations for the same food might lead to disturbances in FNL due to an increase in uncertainty regarding the association between a flavor and energy (37). Adults who were exposed to high ED variability in pepperoni pizza (i.e., due to different brands) showed a poorer COMPX after consuming a slice of pepperoni pizza than those who were exposed to lower ED variability (38). During the CF process, infants might be progressively exposed to varying EDs with the introduction of foods from different food groups and within the same food group depending on the brands and/or recipes (39). A French survey revealed that the proportion of offered adult foods compared to specific baby foods (i.e., homemade or manufactured) increases around the age of 1 y (40). Additionally, the EDs of manufactured baby foods remain relatively constant (41) and lower than those of their homemade counterparts (42-44). The ED of homemade baby food recipes is susceptible to variations depending on cooking practices; for example, the addition of fat increases from 5 to 10 mo (45). Thus, infants might be increasingly exposed to discordant flavor-nutrient associations from 11 to 15 mo, which may impair, over time, the infants' abilities to predict the ED from flavor cues alone.

At 11 and 15 mo, the infants undercompensated for the energy from the preload. However, the large individual variation in the COMPX scores indicated that this ability was heterogeneous, similar to results previously reported in children (11, 13, 16). This variability could be partly due to genetic factors that determine differences in appetitive traits (46). The absence of links to breastfeeding duration in this study could be due to the sample size and due to a lack of power to reveal a modest association. In a study reporting a positive and significant association between self-reported exclusive breastfeeding duration and a laboratory-based assessment of taste

reactivity, the Kendall correlation was 0.16 (47). Other explanations might be proposed. First, the benefit of breastfeeding might have vanished by 1 y; at least 5 mo have passed from the end of exclusive breastfeeding to the first measurement. Second, we used the caloric compensation paradigm to assess the control of food intake, whereas in most previous studies, the propensity of the infants to empty a bottle or a cup as declared by the mother was used as the indicator of his/her self-regulation (18-20). Third, the high socioeconomic status (SES) of our sample may have led to homogeneous feeding practices. In fact, a previous work (48) showed that mothers with a high SES were characterized by a low level of maternal control, independent of breastfeeding.

A novel finding is that the more the caloric compensation ability decreased between 11 and 15 mo, the more the z-BMI score increased between these two ages and the higher the z-BMI score was at 2 y. Mothers might modulate their feeding practices according to their infant's weight status and/or their perceptions of their infants' self-regulation abilities. Studies have indicated that maternal restriction and pressure to eat are associated with child weight and child eating behavior (49). The inclination to use more controlling and restrictive feeding practices may be linked to the belief that the infant is at risk for overeating and rapid weight gain (50, 51). Mothers may also be concerned about undereating and weight faltering and thus have a tendency to pressure their infant to eat all the offered food for a meal. Tripicchio and colleagues (13) measured COMPX scores in 4- to 7-year-old twins. Mothers self-reported more restrictive feeding practices toward the heavier and more poorly compensating twin, whereas they self-reported more pressure to eat toward the lighter twin. Unfortunately, the links between the COMPX score and the children's anthropometric measurements were not reported. Further

research is needed to understand the causal links among the mother's feeding practices, the infant's self-regulation ability, and the infant's weight status over time.

In this innovative study, we performed a laboratory-based assessment of the caloric compensation ability of infants by using a longitudinal approach. Contrary to the previous preload study that was conducted in 18-month-old infants at home (8), our design allowed a high level of control of the experimental parameters such as the time interval between the preload and the meal and, adherence to *ad libitum* consumption. Here the consumption of the complete preload portion was also required. Additionally, we increased the preload ED by adding fat as advocated in complementary foods (52). Thus, using a carrot puree with or without adding fat is highly meaningful for infants. However, the extent to which the use of a carbohydrate-based preload would have yielded similar or different results is unknown. In adults, a study showed that carbohydrate- *vs* fat-based preloads did not differentially affect subsequent food intake in healthy and unrestrained men (53). However, another study revealed that the postpreload intake was modulated by weight status and the level of cognitive food restriction (54).

This study also had limitations. Due to difficulty in performing the caloric compensation measure in infants, our initial sample was highly reduced. Although our sample size is smaller than those of the majority of preload studies in children (11, 14, 15), it is in the same range as other experimental studies in 0- to 18-month-old infants (2, 5, 8). Additionally, the measure of EI adjustment was performed in the short term. In children, daily EI adjustment across several days might be more accurate (55, 56). Nevertheless, the short-term measure provides relevant information about the EI adjustment ability. In that respect, in their discussion, Johnson & Birch reported an unpublished study showing a positive correlation between a child's short-term COMPX value and daily EI adjustment over a 30-hour period (11).

In conclusion, this study shows that the caloric compensation ability after consuming a preload decreases around the age of 1 y. The greater this decrease is, the more the weight status increases around the age of 1 y and the higher the weight status is at 2 y. In view of the prevalence of overweight children, this study underlines the need to better understand the early determinants of caloric compensation ability, such as the role of a more or less responsive feeding style.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Marie Bournez (M.D.) for helping us prepare the protocol for the ethics committee. We thank Fabienne Bouillot (Chemosens platform) for her help in recruiting participants. We warmly thank Valérie Feyen and Marion-Eve Guillard for their contributions to conducting the experimental work.

The authors' contributions were as follows: PB, CS, SI, and SN designed the research; PB and CS conducted the research; PB analyzed the data under the supervision of CC; PB and CS wrote the paper; SI, SN and CC critically revised the manuscript; and PB had primary responsibility for the final content. All authors read and approved the final manuscript. None of the authors had any conflicts of interest to declare. The funders had no role in the planning, conduct, or interpretation of the study.

REFERENCES

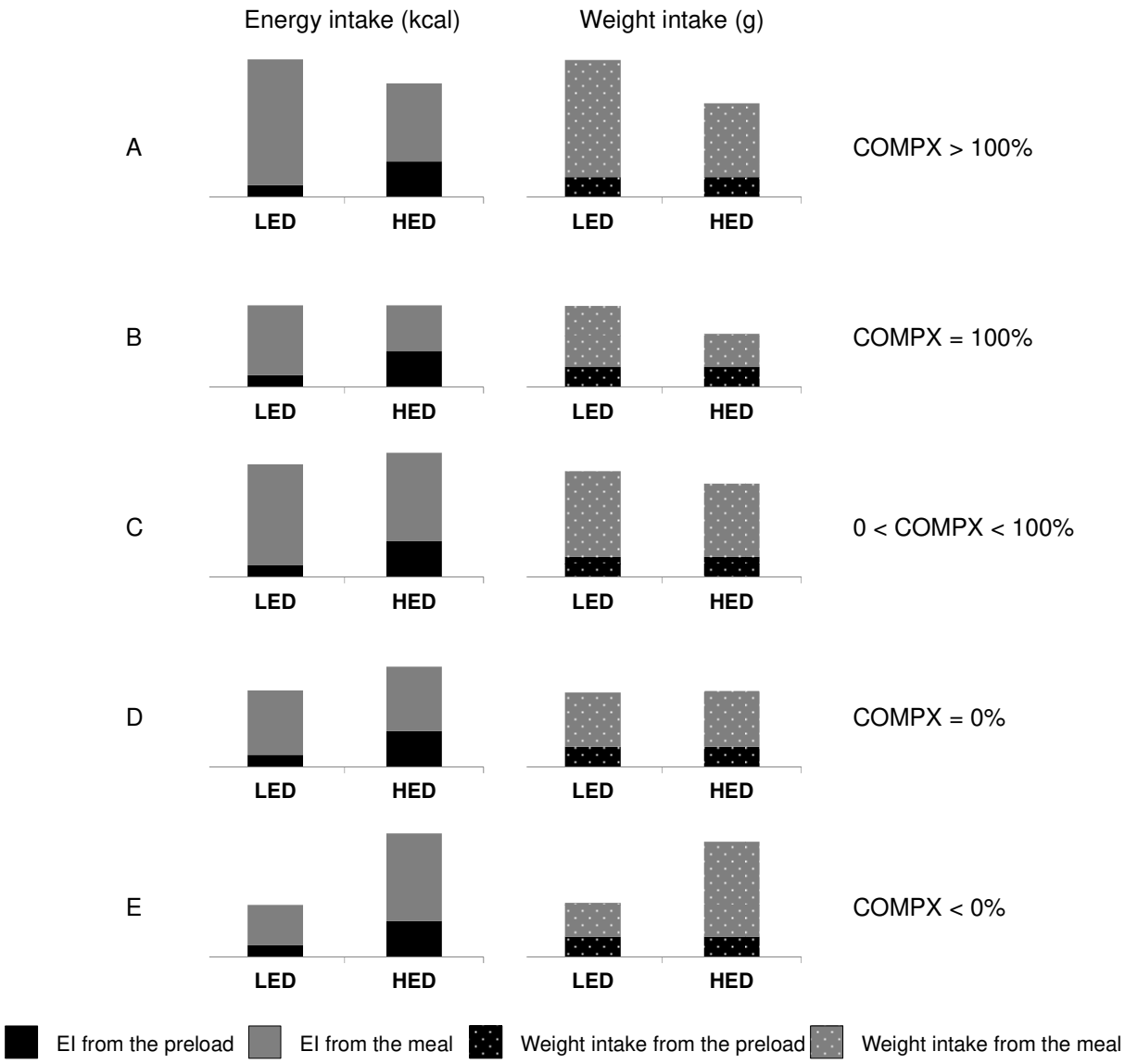
1. Kral T. Behavioral phenotypes for childhood obesity: 2017 Alan N. Epstein Research Award. Physiol Behav 2018; 192: 206-9.
2. Fomon SJ, Filmer LJJ, Thomas LN, Anderson TA, Nelson SE. Influence of formula concentration on caloric intake and growth of normal infants. Acta Paediatr Scand 1975; 64: 172-81.
3. Timby N, Domellof E, Hernell O, Lonnerdal B, Domellof M. Neurodevelopment, nutrition, and growth until 12 mo of age in infants fed a low-energy, low-protein formula supplemented with bovine milk fat globule membranes: a randomized controlled trial. Am J Clin Nutr 2014; 99: 860-8.
4. Bajaj M, Dubey A, Nagpal J, Singh P, Sachdev HP. Short-term effect of oil supplementation of complementary food on total ad libitum consumption in 6-to 10-month-old breastfed Indian infants. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2005; 41: 61-5.
5. Islam MM, Khatun M, Peerson JM, Ahmed T, Mollah MAH, Dewey KG, Brown KH. Effects of energy density and feeding frequency of complementary foods on total daily energy intakes and consumption of breast milk by healthy breastfed Bangladeshi children. Am J Clin Nutr 2008; 88: 84-94.
6. Brown KH, Sanchez-Grinan M, Perez F, Peerson JM, Ganoza L, Stern JS. Effects of dietary energy density and feeding frequency on total daily energy intakes of recovering malnourished children. Am J Clin Nutr 1995; 62: 13-8.
7. Fox MK, Devaney B, Reidy K, Razafindrakoto C, Ziegler P. Relationship between portion size and energy intake among infants and toddlers: evidence of self-regulation. J Am Diet Assoc 2006; 106: 77-83.
8. Kasese-Hara M, Wright C, Drewett R. Energy compensation in young children who fail to thrive. J Child Psychol Psychiatry 2002; 43: 449-56.
9. Birch LL, Deysher M. Conditioned and unconditioned caloric compensation: evidence for self regulation of food intake in young children. Learn Motiv 1985; 16: 341-55.
10. Birch LL, Deysher M. Caloric compensation and sensory specific satiety: evidence for self regulation of food intake by young children. Appetite 1986; 7: 323-31.
11. Johnson SL, Birch LL. Parents' and children's adiposity and eating style. Pediatrics 1994; 94: 653-61.
12. Faith MS, Keller KL, Johnson SL, Pietrobelli A, Matz PE, Must S, Jorge MA, Cooperberg J, Heymsfield SB, Allison DB. Familial aggregation of energy intake in children. Am J Clin Nutr 2004; 79: 844-50.
13. Tripicchio GL, Keller KL, Johnson C, Pietrobelli A, Heo M, Faith MS. Differential maternal feeding practices, eating self-regulation, and adiposity in young twins. Pediatrics 2014; 134: e1399-404.
14. Remy E, Issanchou S, Chabanet C, Boggio V, Nicklaus S. Impact of adiposity, age, sex and maternal feeding practices on eating in the absence of hunger and caloric compensation in preschool children. Int J Obes 2015; 39: 925-30.
15. Carnell S, Benson L, Gibson EL, Mais LA, Warkentin S. Caloric compensation in preschool children: Relationships with body mass and differences by food category. Appetite 2017; 116: 82-9.

16. Johnson SL. Improving preschoolers' self-regulation of energy intake. Pediatrics 2000; 106: 1429-35.
17. Wright P, Fawcett J, Crow R. The development of differences in the feeding behaviour of bottle and breast fed human infants from birth to two months. Behav Processes 1980; 5: 1-20.
18. Li R, Fein SB, Grummer-Strawn LM. Association of breastfeeding intensity and bottle-emptying behaviors at early infancy with infants' risk for excess weight at late infancy. Pediatrics 2008; 122: S77-84.
19. Li R, Fein SB, Grummer-Strawn LM. Do infants fed from bottles lack self-regulation of milk intake compared with directly breastfed infants? Pediatrics 2010; 2009-549.
20. Li R, Scanlon KS, May A, Rose C, Birch L. Bottle-feeding practices during early infancy and eating behaviors at 6 years of age. Pediatrics 2014; 134: S70-7.
21. Ventura AK, Garcia P, Schaffner AA. Associations between bottle-feeding intensity and maternal encouragement of bottle-emptying. Public Health Nutr 2017; 20: 3090-8.
22. Bartok CJ, Ventura AK. Mechanisms underlying the association between breastfeeding and obesity. Int J Pediatr Obes 2009; 4: 196-204.
23. Schwartz C, Madrelle J, Brignot H, Delarue J, Cuvelier G, Nicklaus S, Feron G, Tournier C. Acceptance of added fat to first complementary feeding purees: an exploration of fat type, feeding history and saliva composition. Appetite 2018; 131: 160-8.
24. Ahern S. M., Caton S. J., Bouhlal S., Hausner H., Olsen A., Nicklaus S., Møller P., Hetherington M. M. Eating a rainbow. Introducing vegetables in the first years of life in 3 European countries. Appetite 2013; 71: 48-56.
25. Bresson J, Le Bris M. Nouvelles données sur l'alimentation des bébés en France (New data regarding infant feeding in France). La revue de nutrition pratique 2013: 1-7.
26. Campus de Pédiatrie, Collège National des Pédiatres Universitaires, Université Médicale Virtuelle Francophone. Apports nutritionnels conseillés chez les enfants vivant en France (Recommended nutritional intake for infants living in France). Version Current 1 December 2014. Internet : http://campus.cerimes.fr/media/campus/deploiement/pediatrie/enseignement/alimentation_nutritionnel/site/html/1_2.html (accessed 25 May 2018).
27. Rolland-Cachera MF, Cole TJ, Sempe M, Tichet J, Rossignol C, Charraud A. Body mass index variations: centiles from birth to 87 years. Eur J Clin Nutr 1991; 45: 13-21.
28. Bournez M, Ksiazek E, Wagner S, Kersuzan C, Tichit C, Gojard S, Thierry X, Charles MA, Lioret S, de Lauzon-Guillain B. Factors associated with the introduction of complementary feeding in the French ELFE cohort study. Matern Child Nutr 2018; 14: e12536.
29. Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques. Revenu disponible par ménage en 2015 (Household disposable income in 2015). Version current 12 September 2017. Internet: https://www.insee.fr/fr/statistiques/2411341 (accessed 19 May 2018).
30. Zandstra EH, Mathey MF, Graaf C, van Staveren WA. Short-term regulation of food intake in children, young adults and the elderly. Eur J Clin Nutr 2000; 54: 239-46.
31. Hetherington MM, Wood C, Lyburn SC. Response to energy dilution in the short term: evidence of nutritional wisdom in young children? Nutritional Neuroscience 2000; 3: 321-9.

32. Almiron-Roig E, Palla L, Guest K, Ricchiuti C, Vint N, Jebb SA, Drewnowski A. Factors that determine energy compensation: a systematic review of preload studies. Nutr Rev 2013; 71: 458-73.
33. Araya H, Vera G, Alvina M. Effect of the energy density and volume of high carbohydrate meals on short term satiety in preschool children. Eur J Clin Nutr 1999; 53: 273.
34. Leahy KE, Birch LL, Rolls BJ. Reducing the energy density of multiple meals decreases the energy intake of preschool-age children. Am J Clin Nutr 2008; 88: 1459-68.
35. Rolls B. Dietary energy density: applying behavioural science to weight management. Nutr Bull 2017; 42: 246-53.
36. Remy E, Issanchou S, Chabanet C, Nicklaus S. Repeated exposure of infants at complementary feeding to a vegetable puree increases acceptance as effectively as flavor-flavor learning and more effectively than flavor-nutrient learning. J Nutr 2013; 143: 1194-200.
37. Martin AA. Why can't we control our food intake? The downside of dietary variety on learned satiety responses. Physiol Behav 2016; 162: 120-9.
38. Hardman CA, Ferriday D, Kyle L, Rogers PJ, Brunstrom JM. So many brands and varieties to choose from: does this compromise the control of food intake in humans? PloS One 2015; 10: e0125869.
39. Moding KJ, Ferrante MJ, Bellows LL, Bakke AJ, Hayes JE, Johnson SL. Variety and content of commercial infant and toddler vegetable products manufactured and sold in the United States. Am J Clin Nutr 2018; 107: 576-83.
40. Ghisolfi J, Bocquet A, Bresson JL, Briend A, Chouraqui JP, Darmaun D, Dupont C, Frelut ML, Girardet JP, Goulet O, et al. Les aliments industriels (hors laits et céréales) destinés aux nourrissons et enfants en bas âge : un progrès diététique ? (Processed baby foods for infants and young children: a dietary advance? A position paper by the Committee on Nutrition of the French Society of Paediatrics). Arch Pediatr 2013; 20: 523-32.
41. Zand N, Chowdhry BZ, Pollard LV, Pullen FS, Snowden MJ, Zotor FB. Commercial 'ready-to-feed' infant foods in the UK: macro-nutrient content and composition. Matern Child Nutr 2015; 11: 202-14.
42. Carstairs SA, Craig LC, Marais D, Bora OE, Kiezebrink K. A comparison of preprepared commercial infant feeding meals with home-cooked recipes. Arch Dis Child 2016; 101: 1037-42.
43. Hilbig A, Foterek K, Kersting M, Alexy U. Home-made and commercial complementary meals in German infants: results of the DONALD study. J Hum Nutr Diet 2015; 28: 613-22.
44. Garcia AL, Raza S, Parrett A, Wright CM. Nutritional content of infant commercial weaning foods in the UK. Arch Dis Child 2013; 98: 793-7.
45. Bournez M, Ksiazek E, Charles MA, Lioret S, Brindisi M-C, de Lauzon-Guillain B, Nicklaus S. Use of added sugar, salt and fat in the first year in France and associated factors in the ELFE cohort study in *5th International Conference on Nutrition & Growth.* 1-3 March 2018. Paris. http://2018.nutrition-growth.kenes.com/interactive-program#.W1cY9tUzakQ

46. Llewellyn CH, Fildes A. Behavioural susceptibility theory: professor Jane Wardle and the role of appetite in genetic risk of obesity. Curr Obes Rep 2017; 6: 38-45.
47. Schwartz C, Chabanet C, Laval C, Issanchou S, Nicklaus S. Breastfeeding duration: influence on taste acceptance over the first year of life. Br J Nutr 2013; 109: 1154-61.
48. Timby N, Hernell O, Lonnerdal B, Domellof M. Parental feeding control in relation to feeding mode and growth pattern during early infancy. Acta Paediatr Scand 2014; 103: 1072-7.
49. Ventura A, Birch L. Does parenting affect children's eating and weight status? Int J Behav Nutr Physical Act 2008; 5: 15.
50. Francis LA, Hofer SM, Birch LL. Predictors of maternal child-feeding style: maternal and child characteristics. Appetite 2001; 37: 231-43.
51. Brown A, Lee M. Maternal child-feeding style during the weaning period: Association with infant weight and maternal eating style. Eating Behav 2011; 12: 108-11.
52. Fewtrell M, Bronsky J, Campoy C, Domellöf M, Embleton N, Fidler Mis N, Hojsak I, Hulst JM, Indrio F, Lapillonne A, et al. Complementary feeding: a position paper by the European society for paediatric gastroenterology, hepatology, and nutrition (ESPGHAN) committee on nutrition. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2017; 64: 119-32.
53. Rolls BJ, Kim S, McNelis AL, Fischman MW, Foltin RW, Moran TH. Time course of effects of preloads high in fat or carbohydrate on food intake and hunger ratings in humans. Am J Physiol 1991; 260: R756-63.
54. Rolls BJ, Kim-Harris S, Fischman MW, Foltin RW, Moran TH, Stoner SA. Satiety after preloads with different amounts of fat and carbohydrate: implications for obesity. Am J Clin Nutr 1994; 60: 476-87.
55. Birch LL, Johnson SL, Andresen G, Peters JC, Schulte MC. The variability of young children's energy intake. N Engl J Med 1991; 324: 232-5.
56. Shea S, Stein AD, Basch CE, Contento IR, Zybert P. Variability and self-regulation of energy-intake in young-children in their everyday environment. Pediatrics 1992; 90: 542-6.

SUPPLEMENTAL FIGURE 1: Illustration of COMPX scores in terms of EI (kcal) and weight intake (g) in the case of over-compensation (A) perfect compensation (B) and three cases of under-compensation (C,D,E).



Article 3

To what extent does considering different consumption periods affect the evaluation of infant's caloric compensation using a preload paradigm?

P. Brugaillères, S. Issanchou, S. Marty and C. Schwartz

En préparation

Objectifs et principaux résultats

L'objectif de l'**Article 3** était de comparer et de tester les liens entre les capacités d'ajustement énergétique évaluées à court terme (à l'échelle d'un seul repas après la consommation de la pré-charge) et les capacités d'ajustement énergétique évaluées sur de plus longues périodes (12 et 24 h après la consommation de la pré-charge).

À 11 et 15 mois, les scores moyens d'ajustement énergétique à court terme ne diffèrent pas significativement des scores moyens d'ajustement énergétique calculés sur des périodes de 12 et 24 h. À 11 mois, l'ajustement énergétique à court terme est positivement et significativement corrélé aux ajustements énergétiques sur 12 et 24 h. Cette corrélation significative n'est pas retrouvée à 15 mois.

Title: To what extent does considering different consumption periods affect the evaluation of infants' caloric compensation using a preload paradigm?

Authors' names: Pauline Brugaillères, Sylvie Issanchou, Sylvie Marty, Camille Schwartz

Authors' affiliation: Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France

Authors' ORCID: Pauline Brugaillères: 0000-0002-4087-2028, Sylvie Issanchou: 0000-0002-7767-0737, Camille Schwartz: 0000-0002-6987-2478.

Corresponding author: Camille Schwartz, UMR Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, 17 rue Sully, 21000, Dijon, France. Tel.: +33 380 69 37 43; Email: camille.schwartz@inra.fr

Acknowledgements: We thank M. Bournez (MD) for helping us prepare the protocol for the ethics committee, S. Nicklaus for her guidance and support, F. Bouillot (ChemoSens platform) for her help with recruiting participants, and V. Feyen for helping conduct the experimental tasks. This work was supported by grants from ANR PUNCH (ANR-15-CE21-0014), the Conseil Régional Bourgogne, Franche-Comté (PARI grant) and the FEDER (European Funding for Regional Economic Development), and the French Society of Nutrition (SFN 2015) and by a PhD fellowship from the French Ministry for Education and Research. The funders had no role in planning, conducting, or interpreting the study.

Introduction

Caloric compensation refers to the ability to adjust energy intake (EI) in response to the energy density (ED) of food. The caloric compensation ability of subjects is often tested in the laboratory using a preload paradigm [1]. This approach consists of offering a food preload that is either low or high in ED (on two different days: LED day/HED day), followed by an *ad libitum* meal after a fixed period. To express the level of caloric compensation from the preload to the subsequent meal, a COMPX score is generally calculated. This score is obtained by dividing the difference in EI during the *ad libitum* meal by the EI from the preload, with the result transformed as a percentage [2]: COMPX = [(EI of the meal after the LED preload – EI of the meal after the HED preload) / (EI of the HED preload – EI of the LED preload)] × 100. A COMPX of 100% reflects accurate compensation. A COMPX > 100% indicates overcompensation, whereas a COMPX < 100% indicates undercompensation. The preload paradigm has been used in children [for exemple see 1]. We recently adapted the preload paradigm in 11- and 15-month-old infants by offering a more caloric or less caloric carrot puree 25 minutes before a meal [3]. In our longitudinal study, we observed that infants undercompensated the calories from the preloads at 11 and 15 months of age. Moreover, the caloric compensation ability decreases with age. On the basis of 24-h dietary recalls or prospective records (depending on the study), some studies have calculated a coefficient of variation (CV) as a measure of the intra-individual variability of EI in young children [4, 5] and 8- to 16-month-old infants [6]. These studies all showed that the mean CV of EI is highly variable from meal to meal, whereas the mean CV of energy intake for daily EI is much lower, evidencing a caloric adjustment over a 24-hour period. This group of studies showed that a caloric adjustment may occur over periods longer than a unique meal, that is, over several meals. Similarly but with another approach, a study based on 24-h dietary recalls reported a significant negative association between food ED and the average z-scores of the

consumed portion size in infants from 4 to 11 months of age [7]. The authors also concluded that infants of this age are able to adjust their EI by adapting the eaten quantities to the ED of food over the whole day. However, a recent study based on weighed assessments of EI over 5 days challenges this assumption by showing that increasing or decreasing the ED of some foods modified the daily EI in 3-5 years old children due to a volumetric adjustment [8]. To date, few insights into the associations between short-term caloric adjustment and caloric adjustment over longer periods of time are available, with the exception of an unpublished result reported by Johnson and Birch in 3- to 5-year-old children that showed a positive correlation between COMPX and daily EI adjustment over a 30-hour period [2]. To our knowledge, this kind of association has not been reported in infants to date.

In the present study, we investigated to what extent considering different periods of time after preload consumption may affect the evaluation of infants' caloric adjustment at 11 and 15 months of age based on a preload paradigm. In particular, the first aim was to compare the short-term caloric adjustment calculated at the meal level to the caloric adjustment assessed over longer periods. The second aim was to assess the links between the short-term caloric adjustment and the caloric adjustment assessed over longer periods of time. To achieve these aims, infants went through a preload paradigm meal in the laboratory, and their EIs were then recorded at home approximately 24 h after the preload and the *ad libitum* meal. Thus, we were able to calculate COMPX for different periods after the preload and to compare caloric adjustment in the short term and over longer periods.

Methods

Participants

The study took place in Dijon (France). Parent-infant dyads were recruited from May 2015 to December 2016 using leaflets distributed to health professionals' consulting rooms, using our

internal database (Chemosens Platform's PanelSens, Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL), n° 1148039) and with the help of a recruitment agency. Sixty-nine parent-infant dyads were enrolled in this study, but as detailed in our previous paper, we obtained data on the infants' short-term caloric adjustment at 11 and/or 15 months of age for 50 infants [3]. The data were collected from December 2015 to July 2017.

Infants were included if they had no chronic health problems or food allergies, gestational age ≥ 37 weeks, birth weight ≥ 2.5 kg, no history of being tube fed and no history of being fed a hydrolysate formula. Infants of mothers with diabetes or celiac disease and infants of minor parents (< 18 years old) were excluded. This study was conducted according to the guidelines established in the Declaration of Helsinki and was approved by the local ethics committee (Comité de Protection des Personnes Est I Bourgogne, 2015-A000014-45). Written informed consent was obtained from both parents. The participants received a 60 € voucher for completing the measures.

Measurement of caloric adjustment in the laboratory

When the infants were 11 and 15 months old, we performed a laboratory-based assessment of their short-term caloric adjustment ability by using the preload paradigm. The study design was detailed in our previous work [3] and will thus be briefly described here. At each studied age, the measure required 2 visits at the laboratory on 2 non-consecutive days, mostly at lunch time. The preload consisted of 67 g of carrot puree that was either low or high in ED, depending on the day (LED day = 22 kcal, HED day = 65 kcal; the order was counterbalanced across infants). The HED preload was made by adding vegetable oil. Each infant was randomly assigned to a specific order group (LED/HED or HED/LED), and this order was the same at the two different ages. After a 25-min play period, the infants consumed an *ad libitum* meal composed of 300 g of vegetable and meat/fish puree followed by 195 g of a fruit puree.

Each infant was offered the same *ad libitum* meal (the same food items) at each studied age. For both the preload and the meal, the infants were fed by the parent (generally the mother). The weight intake (g) of each meal component was assessed by weighing the bowl, as well as the infant's bib, before and after consumption (Soehnle, 1 g). The EI was then calculated according to ED information from the manufacturers. At 11 and 15 months of age, as a result of the preload paradigm, a COMPX score was available for each infant; for all details, refer to [3].

Food consumption diaries

To assess the caloric adjustment over longer periods after the consumption of the preloads and the *ad libitum* meals (approximately 12 and 24 h), we used 24 h dietary records to evaluate the caloric intake after coming to the laboratory. At 11 and 15 months of age, the mother (or the main caregiver) completed a food record booklet over a period of '24 h' following the 2 laboratory visits (LED and HED days). For example, if the first day at the laboratory took place on Monday at lunch time, the mother completed the food record booklet until Tuesday, lunch included (Figure 1).

The caregiver was asked to provide qualitative and quantitative information on all foods and drinks consumed by his/her infant and to be as precise as possible (e.g., reduced-fat dairy, addition of butter). To ensure the quality of the recordings, the food record booklet contained detailed instructions. The qualitative description included the time of each food episode and the details of the offered foods: brand and name of the recipe for manufactured foods, each food composing the recipe for homemade preparations, and the estimated quantities of added caloric ingredients if applicable (e.g., 1 knob of butter, a pinch of grated cheese). Evaluations of eaten quantities were made by weighing each plate/bottle/cup before and after consumption (Soehnle, 1 g). The milk intake of breastfed infants (N = 6 at 11 months and N = 3 at 15

months) was assessed by weighing the infant before and after breastfeeding with a baby scale (Soehnle professional 8310.01, 0.01 kg). The caregiver was also given a booklet of photographs of reference portion sizes adapted for infants until 36 months of age as a complementary tool for estimating food quantities when weighing was not possible. This booklet was developed by the CREDOC (Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de Vie — Research Centre for the Study and Observation of Living Conditions [9]). We completed this booklet by adding photographs of reference portion sizes for vegetables in pieces, non-caloric sweeteners and caloric ingredients (Chantilly cream and salad dressing) not included in the CREDOC version.

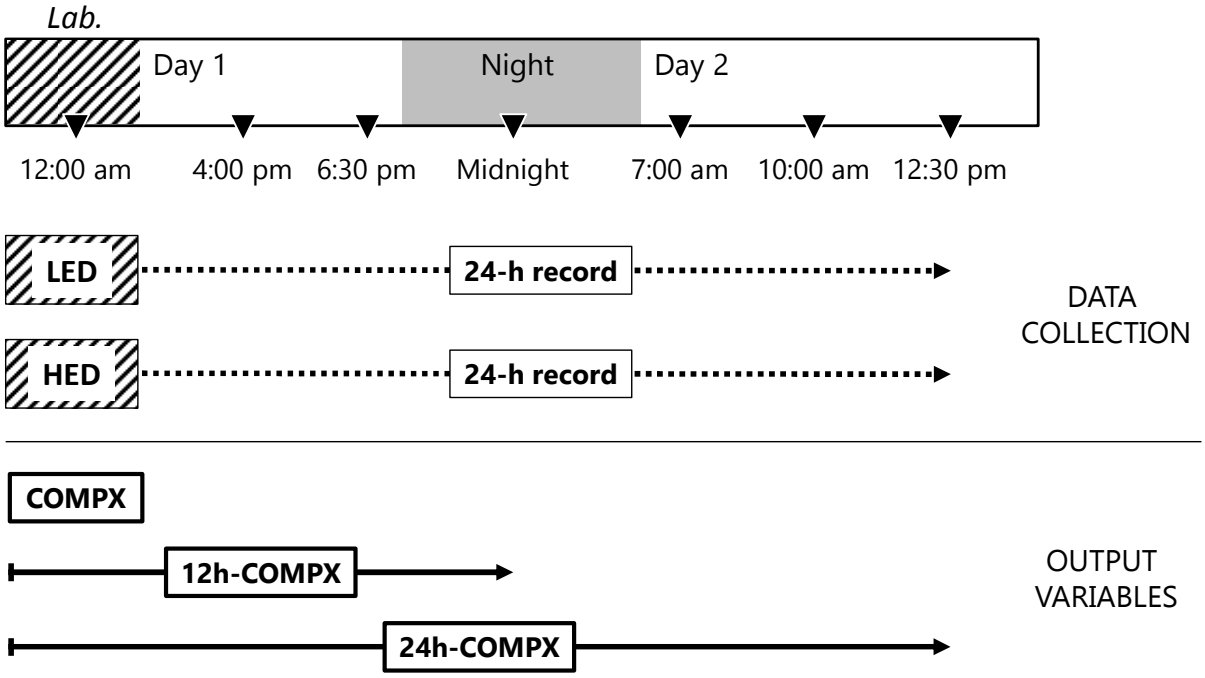


Figure 1: Schematic representation of the data collection and the output variables derived from it.

At each studied age, the 2 × 24-h dietary data collected were collated and reviewed by a registered dietician (SM). Based on the quantities consumed and the ED of the food, the dietician calculated the EI (kcal) of each consumed food. French national dietary databases

were used: the 2016 CIQUAL (Centre d'Information sur la Qualité des Aliments — Centre for Information on Food Quality) composition table or the 2013 CIQUAL composition table (when the 2016 version did not contain the target food) [10]. For manufactured foods, we used the ED provided by the manufacturers on the product labelling, or if that information was not available, we reported the ED of the closest average product listed in the CIQUAL table. When needed, these databases were supplemented with new foods based on manufacturer information and standard recipes. The breast milk ED was considered equal to 62.4 kcal/100 mL according to the value reported by Grote and colleagues [11] for 6-month-old breastfed infants. Although many details were requested regarding the exact composition of each offered food, we sometimes had missing information regarding mixed dishes. In such cases, we used an estimation of the proportion of each ingredient (meat/fish, vegetable, starchy foods, and added caloric ingredients) based on the French nutritional guidelines (PNNS, Programme National Nutrition Santé — National Nutrition Health Program) [12] or based on the French guidelines for food service including nurseries (GEMRCN, Groupement d'Etude des Marchés en Restauration Collective et de Nutrition — public catering and nutrition market study group) when applicable [13]. For each infant and each day (LED/HED), EI was calculated for the 12-h period after the preload consumption (i.e., if the laboratory test meal occurred at lunch time, this period encompassed all food consumption until midnight, Figure 1) and for the 24 h period (i.e., if the laboratory test meal occurred at lunch time, this period encompassed all food consumption until the next lunch, Figure 1). The same approach was applied if the laboratory meal occurred at dinner time (6% of the visits).

Statistical analysis

Analyses were performed using the R software for Windows (version 3.4.0). The results are reported as the mean ± SD. Statistical significance was set at $P < 0.05$.

Based on the EI recorded during the laboratory test meals, we first calculated the caloric compensation scores at 11 and 15 months of age ($COMPX_{11mo}$ and $COMPX_{15mo}$). Based on the EI consumed over 12 and 24 h, two variables related to caloric adjustment were calculated at each age: 12h-COMPX and 24h-COMPX. These variables were calculated as inspired by the original COMPX equation [2], with the difference that the 'meal following the preload' corresponded to the period of interest (i.e., 12 h or 24 h). For example, the 12h-COMPX = [(EI of meals during 12 h after the LED preload – EI of meals during 12 h after the HED preload) / (EI of the HED preload – EI of the LED preload)] × 100. For each infant, we obtained at most 3 COMPX scores at each age (i.e., $COMPX_{11mo}$, 12h-$COMPX_{11mo}$, 24h-$COMPX_{11mo}$ and $COMPX_{15mo}$, 12h-$COMPX_{15mo}$, 24h-$COMPX_{15mo}$).

Each mean COMPX score was compared to the 100 value by using Student's *t*-tests to evaluate whether the caloric adjustment was accurate. At each age, the 12h-COMPX and the 24h-COMPX were compared to the COMPX by using paired Welch's *t*-tests for non-homogeneous variances (the variances of the 12h-COMPX and 24h-COMPX were higher than the variance of the COMPX) to compare the short-term caloric adjustment to the caloric adjustment assessed over longer periods. Then, at each age, we assessed the links among the 3 COMPX scores (COMPX, 12h-COMPX and 24h-COMPX) by using Kendall's correlations.

Results

The 50 infants (23 female) for whom we calculated a COMPX at 11 and/or 15 months were characterized by a mean gestational age of 39.7 ± 1.4 weeks and a mean birth weight of 3.4 ± 0.4 kg (z-score BMI at birth = 0.4 ± 0.9). The mothers' characteristics were described in our previous paper [3].

Among the 46 infants for whom we obtained a $COMPX_{11mo}$, we had intake data to calculate the 12h-$COMPX_{11mo}$ for 31 infants (15 female) and the 24h-$COMPX_{11mo}$ for 22 infants (11

female). Among the 35 infants for whom we obtained a $COMPX_{15mo}$, we were able to calculate the 12h-$COMPX_{15mo}$ for 31 infants (14 female) and the 24h-$COMPX_{15mo}$ for 24 infants (12 female). At both studied ages, the loss of subjects for the calculation of the 12h- and 24h-COMPX was due to absent or incomplete information on the food diaries. On average, during the 12-h period after the laboratory visit (considered for the 12h-COMPX calculation), the infants consumed 5 and 6 food items at 11 and 15 months of age, respectively. During the 24-h period (considered for the 24h-COMPX calculation), the infants consumed on average 9 and 10 food items at 11 and 15 months of age, respectively.

At 11 months, the EI during the 12 h period post preload was 486 ± 103 kcal for the LED day and 480 ± 102 kcal for the HED day. The EI during the 24-h period post preload was 842 ± 145 kcal and 824 ± 165 kcal for the LED and HED days, respectively. At 15 months of age, the EI during the 12-h period post preload was 484 ± 95 kcal for the LED day and 508 ± 142 kcal for the HED day. The EI during the 24-h period was 886 ± 142 kcal and 920 ± 169 kcal for the LED and HED days, respectively.

Association between $COMPX_{11mo}$ and 12h-$COMPX_{11mo}$ (N = 31)

The mean $COMPX_{11mo}$ score was 38 ± 112%. This value was significantly lower than 100 (P = 0.004) (Table 1), which indicated that, on average, the infants undercompensated. The mean 12h-$COMPX_{11mo}$ score was 14 ± 193%. Similarly, this value significantly differed from 100 (P = 0.02). The mean $COMPX_{11mo}$ and the mean 12h-$COMPX_{11mo}$ were not significantly different (P = 0.45). Moreover, these two scores were positively associated (P = 0.001) (Figure 2A). Thus, at 11 months of age, the caloric adjustment was stable 12 h later.

Table 1: Comparisons and associations between caloric adjustment scores calculated for the short-term (COMPX) and longer-term periods (12h-COMPX, 24h-COMPX) at 11 and 15 months.

		t test centred on 100 value				Paired *t* test[a]		Kendall correlation	
		t	*P*	*t*	*P*	*t*	*P*	*τ*	*P*
	N	**COMPX**		**12h-COMPX**					
11 mo	31	-3.07	**0.004**	-2.50	**0.02**	0.77	0.45	0.41	**0.001**
15 mo	31	-4.31	**<0.001**	-3.28	**0.003**	0.96	0.35	0.11	0.38
		t test centred on 100 value				Paired *t* test[a]		Kendall correlation	
		t	*P*	*t*	*P*	*t*	*P*	*τ*	*P*
	N	**COMPX**		**24h-COMPX**					
11 mo	22	-2.16	**0.04**	-0.77	0.45	0.23	0.82	0.45	**0.003**
15 mo	24	-3.42	**0.002**	-2.04	0.053	0.90	0.38	0.07	0.68

[a]Welch's *t* test for non-homogeneous variances. The *P*-values presented in bold are significant

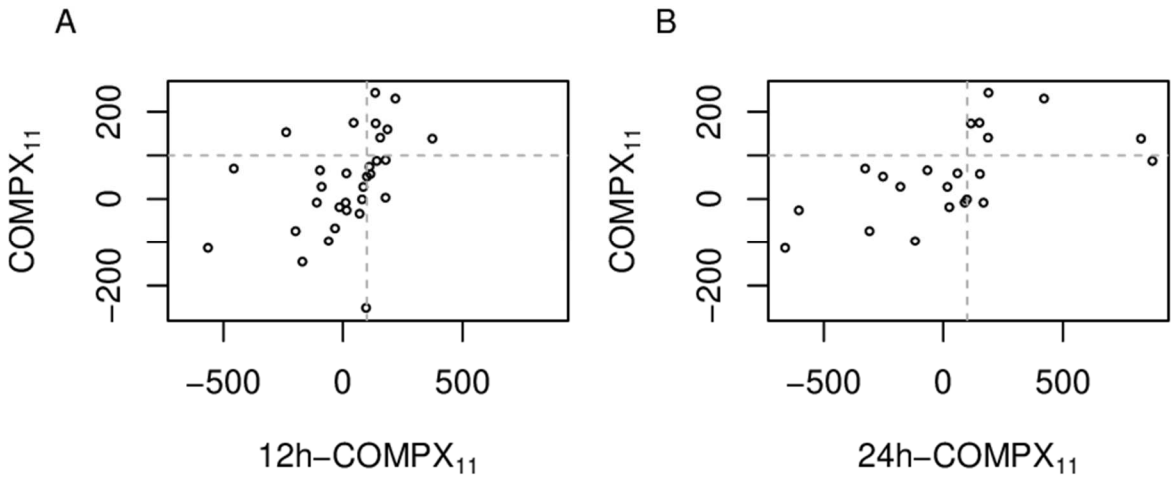


Figure 2: Associations between the short-term caloric adjustment and the caloric adjustment over longer periods at 11 months of age (COMPX values are expressed in %). A: Kendall correlation between the $COMPX_{11mo}$ and the 12h-$COMPX_{11mo}$ (τ = 0.41, *P* = 0.001, N = 31). B: Kendall correlation between $COMPX_{11mo}$ and 24h-$COMPX_{11mo}$ (τ = 0.45, *P* = 0.003, N = 22).

Association between COMPX$_{11mo}$ and 24h-COMPX$_{11mo}$ (N = 22)

For this sample, the mean COMPX$_{11mo}$ score was 55 ± 98%. This value was significantly lower than 100 (P = 0.04) (Table 1), showing that the infants undercompensated. The mean 24h-COMPX$_{11mo}$ was 39 ± 371%, and this value did not differ from 100 (P = 0.45). The mean values of COMPX$_{11mo}$ and 24h-COMPX$_{11mo}$ were not significantly different (P = 0.82). As presented in Figure 2B, COMPX$_{11mo}$ was positively correlated with 24h-COMPX$_{11mo}$ (P = 0.003). Thus, at 11 months, the caloric adjustment was stable 24 h later.

Association between 12h-COMPX$_{11mo}$ and 24h-COMPX$_{11mo}$ (N = 22)

The 12h-COMPX$_{11mo}$ and 24h-COMPX were positively significantly associated (P < 0.001) (Figure 3A). This finding showed that at 11 months, the caloric adjustment was stable between the 12 and 24 h periods.

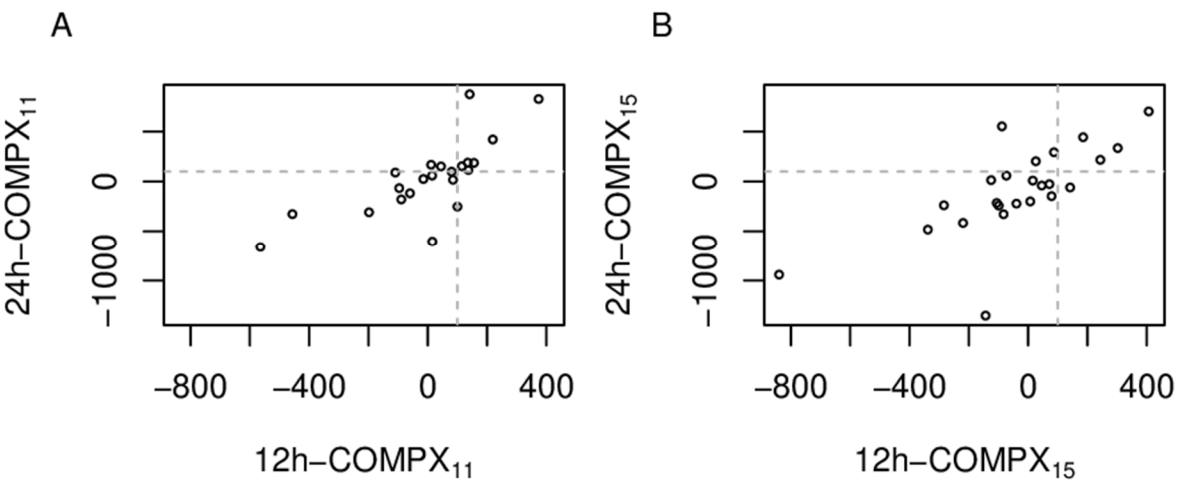


Figure 3: Associations between the 12h-COMPX and 24h-COMPX at 11 months (A) and 15 months (B). COMPX values are expressed in %. A: Kendall correlation between the 12h-COMPX$_{11mo}$ and the 24h-COMPX$_{11mo}$ (τ = 0.61, P < 0.001, N = 22). B: Kendall correlation between the 12h-COMPX$_{15mo}$ and the 24h-COMPX$_{15mo}$ (τ = 0.58, P < 0.001, N = 24).

Association between $COMPX_{15mo}$ and 12h-$COMPX_{15mo}$ (N = 31)

The mean $COMPX_{15mo}$ score was -11 ± 144%. This value was significantly lower than 100 ($P < 0.001$) (Table 1). The mean 12h-$COMPX_{15mo}$ score was -59 ± 266%. This value differed significantly from 100 ($P = 0.003$). The mean $COMPX_{15mo}$ and the mean 12h-$COMPX_{15mo}$ were not significantly different ($P = 0.35$). However, these scores were not significantly associated ($P = 0.38$).

Association between $COMPX_{15mo}$ and 24h-$COMPX_{15mo}$ (N = 24)

For this second sample at 15 months, the mean $COMPX_{15mo}$ was -2 ± 146%. The infants undercompensated ($COMPX_{15mo}$ differed from 100 [$P = 0.002$, Table 1]). The 24h-$COMPX_{15mo}$ of -87 ± 448% was not significantly different from 100 ($P = 0.053$). The mean $COMPX_{15mo}$ and the mean 24h-$COMPX_{15mo}$ were not significantly different ($P = 0.38$). Nevertheless, these scores were not significantly associated ($P = 0.68$).

Association between 12h-$COMPX_{15mo}$ and 24h-$COMPX_{15mo}$ (N = 24)

The 12h-$COMPX_{15mo}$ and the 24h-$COMPX_{15mo}$ were significantly positively associated ($P < 0.001$) (Figure 3B), thus showing that at 15 months, the caloric adjustment was stable between the 12- and the 24-h periods.

Discussion

In this study, we investigated the extent to which different periods of time (a meal, 12 h and 24 h) after preload consumption may affect the evaluation of infants' caloric adjustment at 11 and 15 months of age. We showed that at both studied ages, the mean short-term caloric adjustment does not differ from the mean caloric adjustment over longer 12- and 24-h periods. Moreover, at 11 months of age, the short-term caloric adjustment is positively correlated with

the caloric adjustment over longer periods of 12 and 24 h. This indicates that 11-month-old infants who adjusted more accurately during a short-term protocol also showed more accurate adjustment in EI over 12- and 24-h periods when they were back at home. To a certain extent, this result corroborates the result reported by Johnson & Birch [2], who reported a positive correlation between short-term COMPX and EI over a 30-h period in 3- to 5-year-old children. At 15 months of age, however, the short-term caloric adjustment was not associated with caloric adjustment over 12- and 24-h periods. Some arguments could be proposed to explain this absence of a significant link. First, we hypothesized that the 24-h dietary records may be less accurate at 15 months of age. A French survey revealed that the proportion of offered adult foods compared with specific infant foods increases around the age of 12 months [14]. This complexification (more food items in the same meal, more composite recipes) of the diet could make it more difficult for the parents to report their infants' dietary food intake at 15 months of age, thus leading to a less accurate assessment of the caloric adjustment over 12- and 24-h at this age. However, we tried to limit inaccuracies in reported food quantities by instructing the parents to weigh each plate and by giving the parents very precise instructions. In this regard, it seems that this limitation was unlikely, as demonstrated by the proximity between our mean EI values (over the 24-h periods) and the mean daily EI reported in infants of similar age ranges in France (850 and 913 kcal/d, respectively, in 10- to 11- and 12- to 17-month-old bottle-fed infants) [9]. Second, since the caloric adjustment scores over 12 and 24 h were significantly positively associated at both ages but associated with the short-term caloric adjustment only at 11 months, one can hypothesize that the laboratory test meals might be less representative of what happens at home at 15 months than at 11 months. In fact, the infants' motor skills and desire to eat by themselves increase with age; thus, it is possible that at 15 months, intake was more driven by the infants at home than in the laboratory, although the parents were particularly attentive to following instructions in

the laboratory, i.e., to feed their infants without encouraging or restricting consumption and to stop feeding after 2 consecutive refusals.

The main limitation of this study is the loss of EI data collected at home. Consequently, we were not able to calculate the caloric adjustment over the 12-h period and particularly over the 24-h period for all subjects. This effect reduced the power for the statistical analysis when comparing the COMPX scores.

To our knowledge, the present study is the first to assess the links between short-term and long-term caloric adjustment in infants. Overall, regardless of the time period considered (short-term, 12 h or 24 h), the infants undercompensated their EI after the preload consumption: caloric adjustment was partial and similar across time. Our results are aligned with the recent comprehensive report on preschool children's EI over 5 days: modifications of ED of some foods lead to modifications in daily EI [8]. The strong positive associations between the short-term caloric adjustment and the caloric adjustment over longer periods at 11 months of age revealed that the caloric adjustment is stable over time; this finding suggests that the short-term measure provides relevant information about the EI adjustment ability. This result is of particular interest considering that recording food intake is quite demanding for parents and that the coding of food diaries is extensively time-consuming for the experimenters, as it requires analysis by a qualified dietician.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest

References

1. Birch LL, Deysher M (1985) Conditioned and unconditioned caloric compensation: evidence for self regulation of food intake in young children. Learn Motiv 16:341-355. https://doi.org/10.1016/0023-9690(85)90020-7.
2. Johnson SL, Birch LL (1994) Parents' and children's adiposity and eating style. Pediatrics 94(5):653-61.
3. Brugaillères P, Issanchou S, Nicklaus S, Chabanet C, Schwartz C (2019) Caloric compensation in infants: developmental changes around the age of 1 year and associations with anthropometrics up to 2 years. Am J Clin Nutr [Epub ahead of print]doi: 10.1093/ajcn/nqy357.
4. Shea S, Stein AD, Basch CE, Contento IR, Zybert P (1992) Variability and self-regulation of energy-intake in young-children in their everyday environment. Pediatrics 90(4):542-546.
5. Birch LL, Johnson SL, Andresen G, Peters JC, Schulte MC (1991) The variability of young children's energy intake. N Engl J Med 324(4):232-235. https://doi.org/10.1056/NEJM199101243240405.
6. Pearcey SM, De Castro JM (1997) Food intake and meal patterns of one year old infants. Appetite 29(2):201-212. https://doi.org/10.1006/appe.1997.0099.
7. Fox MK, Devaney B, Reidy K, Razafindrakoto C, Ziegler P (2006) Relationship between portion size and energy intake among infants and toddlers: evidence of self-regulation. Journal of the American Dietetic Association 106(1, Supplement 1):77-83. https://doi.org/10.1016/j.jada.2005.09.039.
8. Smethers AD, Roe LS, Sanchez CE, Zuraikat FM, Keller KL, Rolls BJ (2019) Both increases and decreases in energy density lead to sustained changes in preschool children's energy intake over 5 days. Physiology & behavior 204:210-218.
9. Chouraqui J-P, Tavoularis G, Simeoni U, Ferry C, Turck D (2019) Food, water, energy, and macronutrient intake of non-breastfed infants and young children (0–3 years). Eur J Nutr:1-14. https://doi.org/10.1007/s00394-018-1883-y.
10. Table CIQUAL, 2016. https://ciqual.anses.fr/. Accessed 8 August 2018.
11. Grote V, Verduci E, Scaglioni S, Vecchi F, Contarini G, Giovannini M, Koletzko B, Agostoni C (2016) Breast milk composition and infant nutrient intakes during the first 12 months of life. Eur J Clin Nutr 70(2):250. https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.162.
12. PNNS, *"Children and teens nutritional guide for all parents"*, Retrieved 16th January 2018 from http://www.inpes.sante.fr/CFESBases/catalogue/pdf/688.pdf, Editor. 2015.
13. GEMRCN, *Recommandation nutrition*, Ministère de l'économie de l'industrie et du numérique, Editor. 2015.
14. Ghisolfi J, Bocquet A, Bresson JL, Briend A, Chouraqui JP, Darmaun D, Dupont C, Frelut ML, Girardet JP, Goulet O, Hankard R, Rieu D, Siméoni U, Turck D, Vidailhet M (2013) Les aliments industriels (hors laits et céréales) destinés aux nourrissons et enfants en bas âge : un progrès diététique ? (Processed baby foods for infants and young children: a dietary advance? A position paper by the Committee on Nutrition of the French Society of Paediatrics). Archives de Pédiatrie 20(5):523-532. https://doi.org/10.1016/j.arcped.2013.02.072.

CHAPITRE 4

Capacités d'ajustement énergétique et alimentation diversifiée

Article 4

Interplay between energy density of offered vegetable, caloric compensation ability and anthropometrics in infants: first insights

P. Brugaillères, C. Chabanet, S. Marty, S. Issanchou and C. Schwartz

En préparation pour Maternal & Child Nutrition

Objectifs et principaux résultats

Dans cet **Article 4**, nous avons décrit l'exposition des nourrissons entre 8 et 11 mois à deux types de variabilité grâce au développement d'un nouveau questionnaire (disponible en **Annexe 1**) : la variabilité de densité énergétique inter-aliment pour les recettes à base de légumes et la variabilité de densité énergétique intra-aliment pour les recettes à base de carotte.

Nous avons ensuite décrit les expositions des nourrissons en termes de densité énergétique entre 8 et 11 mois et evalué les liens avec les caractéristiques individuelles. Puis, nous avons exploré les liens entre les deux niveaux de variabilités de densité énergétique calculés et les capacités d'ajustement énergétique à 11 mois et les données anthropométriques.

Plus les nourrissons sont exposés à de la variabilité de densité énergétique pour les recettes à base de légumes entre 8 et 11 mois, moins leur z-IMC est élevé à 8 mois et à 11 mois. La variabilité de densité énergétique pour les recettes à base de légumes n'est pas significativement associée aux capacités d'ajustement énrgétique à 11 mois. De même, la variabilité de densité énergétique pour les recettes à base de carotte n'est pas significativement associée aux capacités d'ajustement énergétique à 11 mois.

Interplay between energy density of offered vegetable, caloric compensation ability and anthropometrics in infants: first insights

Authors' names: Pauline Brugaillères[1], Claire Chabanet[1], Sylvie Marty[1], Sylvie Issanchou[1], Camille Schwartz[1]

Authors' affiliations: [1]Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France

Corresponding author: Camille Schwartz, *UMR Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, 17 rue Sully, 21000, Dijon, France*. Tel.: +33 380 69 37 43; Email: camille.schwartz@inra.fr

Short running head: Energy density of vegetable and caloric compensation in infants

Acknowledgments: We thank Dr Sophie Nicklaus for advising us when developing the questionnaire and coordinating the PUNCH programme. We thank Fabienne Bouillot (Chemosens platform) for her help in recruiting participants. We warmly thank Valérie Feyen and Marion-Eve Guillard for their contributions to conducting the experimental work.

Sources of funding: This work was supported by grants from ANR PUNCH (ANR-15-CE21-0014); the Conseil Régional Bourgogne, Franche-Comté (PARI grant) and the FEDER (European Funding for Regional Economic Development); the French Society of Nutrition (SFN 2015); and a PhD fellowship from the French Ministry for Education and Research.

Conflict of interest Statement: The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the planning, conduct, or interpretation of the study.

Contributor statement: The authors' contributions were as follows: PB, CS, and SI designed the research; PB, SM and CS conducted the research; CC analyzed the data; PB and CS wrote the paper; SI, CC and SM critically revised the manuscript; and PB had primary responsibility for the final content. All authors read and approved the final manuscript.

Abbreviations: ED: Energy Density (kcal/100 g), LED: Low Energy Density, HED: High Energy Density**,** EI: Energy Intake (kcal)**,** CF: Complementary Feeding

Clinical Trial Registry number and website: This trial was registered at clinicaltrials.gov as NCT03409042 (https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT03409042).

Key Messages

- The mean ED of vegetable-based recipes consumed was 46 ± 16 kcal/100 g.
- 60% of the vegetable-based recipes contained added caloric ingredients, mainly oil, butter and cream. However, adding caloric ingredients was less likely in manufactured baby-foods.
- The more infants were exposed to energy density variability for the vegetable category between 8 and 11 months old, the lower their z-BMI at 8 and 11 months old.
- The extent to which infants were exposed to more or less consistent flavor-energy density associations for carrot-based recipes was not associated with their caloric compensation evaluated with a more or less caloric carrot puree.

INTRODUCTION

The complementary feeding (CF) transition corresponds to the period during which an infant discover foods other than milk. In this sense, an infant will discover step by step the properties of foods in terms of flavor, texture but also energy density (ED). Regarding the latter facet, the infant diet moves from a diet made of one food – milk – with little variation of ED to a diet made of varied foods with various ED. The food discoveries constituting the CF process support numerous learning processes, among which the flavor-nutrient learning (FNL) related to the caloric properties of food. It has been shown experimentally that adding fat to the very first presentations of a vegetable puree did not increase or decrease its consumption in newly complementary fed infants (Schwartz, Madrelle, Brignot, Delarue, Cuvelier, Nicklaus et al., 2018). However, 4- to 8-month-old infants (who are then a little more advanced in the CF process) learn to associate a flavor with energy as testified by another experimental exploration of different learning strategies during CF (Remy, Issanchou, Chabanet, & Nicklaus, 2013). And, as a result of expected satiation, the infants exposed to an energy dense vegetable puree lower their intake after several presentations (Remy, Issanchou, Chabanet, & Nicklaus, 2013). Certainly, all these experiences with foods have an effect on the infant's intake control abilities. However, the links between flavor-nutrient learning and infant's intake control abilities during CF is unknown overall.

To explore the links between food experiences and intake control ability, it is first necessary to capture the picture of food experiences infants are going through in terms of flavors and ED. During the CF process, infants (4-36 months old) have an expanding diet in terms of variety and are offered different types of foods: manufactured baby-foods, home-made foods (made or not with manufactured adult-foods) or even manufactured adult-foods when they get older (Bresson & Le Bris, 2013; Fantino & Gourmet, 2008). In France, a dietary survey (Nutri-Bébé 2013) based on 3 recalls of 24 h conducted in non-breast-fed infants revealed that

the proportion of offered adult foods (home-made or manufactured) compared to manufactured baby-foods increases around the age of 1 y (Chouraqui, Tavoularis, Simeoni, Ferry, & Turck, 2019). In western countries, only few dietary descriptions are available regarding food available for infants in terms of nutritional content and ED. Data based on the chemical analysis of some manufactured baby-food (chosen as good representatives) from the British market revealed that the EDs of main-meal manufactured baby-foods is relatively homogeneous: the mean ED of meat-based recipes (58 ± 1 kcal/100 g) does not differ from the mean ED of vegetable-based recipes (61 ± 13 kcal/100 g) (Zand, Chowdhry, Pollard, Pullen, Snowden, & Zotor, 2015). Moreover, it appeared that main-meal manufactured baby-food recipes had lower ED than those of their homemade counterparts based on recipes from the web; as reported by market surveys conducted in the UK (Carstairs, Craig, Marais, Bora, & Kiezebrink, 2016; Garcia, Raza, Parrett, & Wright, 2013) and in Germany through a study based on a 3-days dietary record (Hilbig, Foterek, Kersting, & Alexy, 2015). One should keep in mind that parents might cook and therefore add sometimes caloric ingredients like oil, butter, cream, etc. (Ahern, Caton, Bouhlal, Hausner, Olsen, Nicklaus et al., 2013; Maier, Chabanet, Schaal, Leathwood, & Issanchou, 2007) as it is advocated (Fewtrell, Bronsky, Campoy, Domellöf, Embleton, Fidler Mis et al., 2017). Consequently, the ED of foods offered to infants is susceptible to variations depending on parental cooking practices. An innovative exploration regarding added ingredients during CF was conducted within the ELFE French nationally representative birth cohort (Bournez, Ksiazek, Charles, Lioret, Brindisi, de Lauzon-Guillain et al., 2019). The data revealed that added fat is reported in 18.7% of the parents at 6 months up to 39.8% at 8 months and 55.5% at 10 months and, the use of added sugar is reported in 9.3% of the parents at 6 months up to 25.1% at 10 months. Like for flavors or textures, infants might be exposed to more or less variability in terms of ED across their diet. But to date, no description is available on this aspect.

Variability can also be considered at the food item level. In this line, Martin's theory (2016) – from a literature review mainly based on animal studies – argues that increasing ED variability for the same food (e.g., due to a variety of brands, or to reduced-calories versions for example) might lead to an increase in uncertainty regarding the association between a flavor and energy, and, in turn, might lead to disturbances in FNL and appetite control. This hypothesis was explored in adults. Adults who were exposed to a higher ED variability for pepperoni pizza (i.e., due to different brands) showed a poorer caloric compensation after consuming a slice of pepperoni pizza at the subsequent meal than those who were exposed to a lower ED variability for the pepperoni pizza (Hardman, Ferriday, Kyle, Rogers, & Brunstrom, 2015). So far, no equivalent study has been conducted in infancy. Using a preload paradigm adapted for infants we showed that, on average, by 11 months old, infants are able to partially compensate the calories from the consumption of a food preload more or less caloric (with the addition of vegetable oil to a carrot puree) at the subsequent meal (Brugaillères, Issanchou, Nicklaus, Chabanet, & Schwartz, 2019). This implies that 11-month-old infants are able to sense energy cues in a food and infer its ED and later to modify their ingestive behavior accordingly (although the caloric compensation is not perfect but partial). We observed large inter-individual variability in this ability; some infants showing better caloric adjustment abilities than others. We argue that exploring to what extent infants are exposed to ED variability for a target food — here the carrot (as a proxy measure of disturbances in FNL) — is of interest to disentangle the factors underpinning the inter-individual variation in caloric adjustment ability (a proxy measure of responsiveness to variations in ED).

Altogether, two levels of ED variability could be important underpinning factors of infant's appetite control abilities. In the specific frame of CF, the ED variability within a food category might be more or less important as a function of the width of the infant's diet. Also,

the ED variability for a given food might vary depending on the parents' cooking habits: for a specific food, infants might be exposed to more or less discordant flavor-nutrient associations. To the best of our knowledge, no study has explored yet the associations between these two levels of ED variability and infants' appetite control abilities.

The present work had 4 main objectives: 1/ to create a new questionnaire to evaluate the ED of vegetable-based recipes consumed by infants from 8 to 11 months; 2/ to describe how the ED of vegetable-based recipes relates with individuals characteristics like gender, milk feeding history (breastfeeding duration), the age at the onset of CF and BMI z-scores and its evolution (z-BMI); 3/ to relate the ED variability infants are exposed to for the vegetable category to their caloric compensation ability at 11 months old and their z-BMI. Finally, given that carrot was the food preload used to evaluate the infants' caloric compensation ability at 11 months old, we sought 4/ to relate the carrot ED variability (as a proxy measure of more or less discordant flavor-nutrient associations for the carrot-based recipes [i.e., all the recipes with carrot as part of the recipe]) to the caloric compensation ability at 11 months old.

METHODS

Participants

A total of 58 parent-infant dyads participated in this study. They were recruited from May 2015 to December 2016 using leaflets distributed to health professionals' consulting rooms, using our internal database (Chemosens Platform's PanelSens, Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL), n° 1148039) and with the help of a recruitment agency. The study took place in Dijon (France). On the basis of a recruitment questionnaire, infants were included if they had no chronic health problems or food allergies, gestational age ≥ 37 weeks, birth weight ≥ 2.5 kg, no history of being tube fed and no history of being fed a hydrolysate formula. Infants of mothers with diabetes or celiac disease and infants of minor

parents (< 18 years old) were excluded. This study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the local ethics committee (Comité de Protection des Personnes Est I Bourgogne, 2015-A000014-45). Written informed consent was obtained from both parents. The participants received a 30 € voucher for completing the measures described in this paper. We obtained data on infant's short-term caloric adjustment at 11 months for 46 infants (20 F) (Brugaillères, Issanchou, Nicklaus, Chabanet, & Schwartz, 2019). All the infants and mothers characteristics including the anthropometrics measurements for the infant at 8 and 11 months old were collected by questionnaire. In addition, at 11 months old, the infants were weighed in clean diapers and measured in the supine position without shoes (Seca 232, Hamburg, Germany) when they came to the laboratory. All measurements were performed in duplicate and conducted by an experimenter who had previously been trained with a pediatrician. The age- and gender-standardized z-scores (z-BMI) were calculated based on the body mass index (BMI) and French reference data (Rolland-Cachera, Cole, Sempe, Tichet, Rossignol, & Charraud, 1991).

Measurement of caloric compensation ability: laboratory test-meals at 11 months old

When the infant was 11 months of age, the parent-infant dyad was invited to come to the laboratory on two non-consecutive days — mostly at lunch time — to perform a measure of the infant's caloric compensation ability. To do so, we adapted the preload paradigm that was developed by Birch & Deysher (Birch & Deysher, 1986). This measure reflects infant short-term responsiveness to variations in ED and was detailed in our previous paper (Brugaillères, Issanchou, Nicklaus, Chabanet, & Schwartz, 2019). The infants were first given a food preload which consisted of 67 g of a carrot puree that was either low or high in ED depending on the day. The HED preload was made by adding 5 g of vegetable oil to 62 g of carrot puree (LED day: the portion brought 22 kcal and the ED was 33.0 kcal/100 g; HED day: the portion

brought 65 kcal and the ED was 97.9 kcal/100 g). Infants were randomly assigned to a preload order group: half received the LED preload first, and the other half the HED preload first. Twenty-five minutes later the infants were offered an *ad libitum* meal composed of 300 g of a vegetable-meat/fish puree followed by 195 g of fruit puree. All the foods presented (preload, vegetable-meat/fish puree and fruit puree) came from the French baby-food market. We recorded the weight intake (g) of each consumed food by weighing the bowl, as well as the infant's bib before and after consumption (Soehnle, 1 g). We then calculated the energy intake (EI) according to ED information from the manufacturers. To assess the degree of caloric adjustment, we calculated a COMPX score for each infant, using the following formula: COMPX = ((EI at the meal after the LED preload – EI at the meal after the HED preload) / (EI from the HED preload – EI from the LED preload)) × 100 (Johnson & Birch, 1994). A COMPX of 100% represents perfect compensation (the infant eats more in the LED day so that the calorie difference (preload + *ad libitum* meal) between the two days is null). A COMPX < 100% indicates undercompensation, whereas a COMPX > 100% indicates overcompensation. For all details, refer to (Brugaillères, Issanchou, Nicklaus, Chabanet, & Schwartz, 2019). Here after, we will refer to $COMPX_{11mo}$.

Assessment of vegetable energy density and its variability between 8 and 11 months old: development of a questionnaire

Structure of the questionnaire

When their infant was 11 months old, parents completed a 3 months retrospective questionnaire composed of 158 food items among which 22 food items, including potato, constituted the '*Vegetable*' category (the other 136 food items were part of 14 other food categories which were not explored in the present paper). The vegetables included in the questionnaire were selected based on previous consumption data from the French birth cohort

OPALINE (Observatory of Food Preferences in Infants and Children). Indeed, the selected vegetables were consumed once per week or more by at least 10% of 12-15 months old infants in the OPALINE birth cohort (personal unpublished data). The parents also had the possibility to indicate other consumed vegetable-based recipes when the main vegetable was not pre-listed (e.g., parsnip-based recipe). For each of the 22 vegetables, the parents had to detail precisely the 3 most commonly consumed recipes by reporting the type of the recipe (manufactured baby-food recipes or not), its food composition (e.g., carrot + potato) and, should it be the case, the added caloric ingredients (e.g., oil, butter, cheese, béchamel sauce) and/or the use of a particular cooking method (e.g. deep fried) (Figure 1). To help parents retrieving this information, we pre-listed 14 caloric ingredients often used when cooking vegetables distinguishing plain *vs* reduced fat versions when appropriate (e.g. butter, reduced-fat butter, cream, reduced-fat cream). This list of added ingredients could be completed by the parents if needed. As illustrated in Figure 1, the 3 most commonly consumed recipes were reported on 3 different rows. For example, for the carrot, it could be 1) plain carrot - type: manufactured baby-food, 2) mixed recipe carrot + potato + butter - type: other recipe) and, 3) mixed recipe carrot + cream + grated cheese - type: other recipe. The criterion to consider two different recipes was as follows: the parents were instructed to distinguish the recipes on the basis of the infant's taste experience. For example, if the infant consumed carrot and green beans mixed together (in lumps or pureed), then the parents reported a single recipe on a single row of the questionnaire (i.e., mixed recipe containing carrot + green beans). On the contrary, if the infant was offered carrot aside green beans, the parents reported 2 different recipes on 2 different rows of the questionnaire (i.e., plain carrot and plain green beans) as there were 2 separate taste experiences for the infant.

The parents also reported the frequency at which each recipe was consumed over the last 3 months. To facilitate the frequency report the parents were free to express the frequency per

month, per week or per day like it was done in the SU.VI.MAX study (Kesse-Guyot, Castetbon, Touvier, Hercberg, & Galan, 2010). Two frequency options were also proposed '*never*' and '*only once or just to try*' (Figure 1). To ensure the quality of the data collection, the questionnaire was presented and explained to the parents during their visit to the laboratory. The instructions were also precisely written in the first pages of the questionnaire and illustrated by concrete examples. Some pre-tests with parents (not participating in the present study) were conducted before the study to check the clarity of the instructions.

During the last 3 months	Frequency of consumption **D**					Type of the recipe **E**				Detail of the preparation (cooking method, addition of ingredients) **F** *Multiple choice is possible*						
Vegetables **A**	Never	Only once or just to get a taste	Other frequencies			Home-made, only one food item	Home-made with other food item(s): which one?	Manufactured baby-food, only one food item	Manufactured baby-food with other food item(s): which one?	without any added ingredients	oil	butter or margarine	reduced-fat butter or margarine	cream	reduced-fat cream	grated cheese
B ***Carrot*** **C** 1: baby-food			1 / month	.... / week	..... / day			X		X						
2: home-made puree			... / month	1 / week	..... / day		potato					X				
3: home-made puree			1 / month	... / week	..... / day	X								X		X

Figure 1: Extract (left part) of the questionnaire and examples of 3 carrot-based recipes. **A**: food category, **B**: food item, **C**: denominations (at the discretion of the parents) of the 3 most frequent recipes, **D**: frequency of consumption during the last 3 months (between 8 and 11 months), **E**: type of the recipe (manufactured baby-foods or other food recipes) and food composition, **F**: details (some are not shown) of the preparation including the cooking method and the addition of caloric ingredient(s). Each row corresponds to a single recipe.

Calculation of the energy density of each recipe

Recipes containing only potato were not taken into consideration since they were considered 100% starch recipes. Then, for each recipe, a registered dietician (SM) calculated the energy density (kcal/100 g) from the information reported by the parents. This was done through several steps detailed here after. First, all EDs of each main food item and each ingredient composing the recipes were collated in a database. For all the manufactured baby-foods, we used the ED provided by the manufacturers on the product labeling, or, failing that, we reported the median of ED of the closer manufactured baby-foods reported in our sample. For all other food items and all the added caloric ingredients, French national dietary databases were used: the 2016 CIQUAL (Centre d'Informations sur la Qualité des Aliments — Centre for Information on Food Quality) composition table or the 2013 CIQUAL composition table (when the 2016 version did not contained the target food) (CIQUAL, 2013, 2016). When needed, these databases were supplemented with manufacturer information. Second, for all types of mixed recipes (containing several vegetables [with or without potato] and/or caloric ingredients), we defined systematic rules regarding the proportions of each food item and each caloric ingredient. In the case of manufactured baby-foods without added caloric ingredients, defining rules regarding the proportions of the main food items was unnecessary: the ED of the recipe was available from the manufacturer. For all the other mixed recipes, the rules were defined on the basis of the dietician knowledge (as a specialist in infant diet) but also on the French nutritional guidelines (PNNS, Programme National Nutrition Santé — National Nutrition Health Program) (2015) or on the French guidelines for food service including nurseries (GEMRCN, Groupement d'Etude des Marchés en Restauration Collective et de Nutrition — public catering and nutrition market study group) when applicable (GEMRCN, 2015). The rules for the caloric ingredients are detailed in Table 1 and applied both for manufactured baby-foods and other food recipes. As a result, we obtained for

example rules as follows: recipe 1 = vegetable_1 (49.4%) + vegetable_2 (49.4%) + butter (1.2%); recipe 2 = vegetable_1 (98.8%) + butter (1.2%); recipe 3 = vegetable_1 (49.4%) + starchy food_2 (49.4%) + butter (1.2%).

Table 1: Rules applied regarding the proportion (%) of the caloric ingredients added in vegetable-based dishes.

Caloric ingredients	**% in vegetable-based dishes**
Pre-listed in the questionnaire	
Butter or margarine	1.2%
Reduced-fat butter or margarine	1.2%
Oil	1.5%
Cream	2.9%
Reduced-fat cream	2.9%
Lardon	3.4%
Grated cheese	4.8%
Crisp	4.8%
Bechamel sauce	7.1%
Informed by the parent	
Mustard	0.5%
Cream cheese	4.8%
Portion of vache qui_rit© cheese	7.7%
Portion of kiri© cheese	9.1%
Milk	20.0%
Water /cooking water	20.0%

Third, combining the data from the databases with all EDs for all food items and caloric ingredients with the proportion rules, we obtained the ED of all recipes. Some examples of different recipes' ED are presented in Table 2.

Table 2: Examples of calculated energy density values (kcal/100 g) for some recipes

Food item(s) + caloric ingredient(s)	**Recipe's type**	**Energy density (kcal/100 g)**
Cucumber	Other food	11
Carrot	Manufactured baby-food	27
Green beans	Other food	29
Green beans	Manufactured baby-food	32
Carrot + oil	Other food	32
Green beans + potato	Manufactured baby-food	42
Carrot + oil	Manufactured baby-food	46
Carrot + potato	Other food	49
Green beans + potato + oil	Manufactured baby-food	57
Carrot + potato + butter	Other food	58
Beet + potato + butter + vache qui rit®	Other food	85
Lentils	Other food	106

Statistical analysis

First, we took into account the individual frequency of consumption of each recipe to obtain all the EDs each infant was exposed to. This way, we focused on the infants' taste experience rather than on the different foods offered, as components of his/her diet. Overall, we extracted 574 different vegetable-based recipes; thus leading to a total of 5,251 occurrences overall. For 43 recipes out of the 574, there were missing data regarding the added caloric ingredients (7.5%). These data were not including in the analyses with regards to the use of caloric ingredients (thus leading to a total of 4,886 occurrences overall for these analyses). We extracted 128 different carrot-based recipes; thus leading to a total of 1,617 occurrences overall.

All reported recipes were categorized according to the recipes' type: manufactured baby foods or other foods recipes. To describe the ED of vegetable-based recipes each infant was exposed to, we calculated 1/ the individual proportion of manufactured baby-foods recipes, 2/ the individual proportion of recipes with addition of caloric ingredients (overall and by recipes' type), 3/ the individual proportion of recipes with addition of fat which encompasses butter, oil and/or cream (overall and by recipes' type) and, 4/ the individual mean ED of recipes

(overall, by recipes' type, according to the addition of caloric ingredients and for the carrot-based recipes [i.e., all the recipes with carrot as part of the recipe]). Unpaired Student's t tests were used to assess the effect of gender on the 4 variables previously described. Paired Student's t tests were used to compare the 4 variables between manufactured baby foods and other foods recipes. The associations between these 4 variables and the infants' feeding history (i.e., durations of exclusive and total breastfeeding, age at the onset of CF) were calculated by using Kendall's correlations. For the mean ED of vegetable-based recipes we also tested whether it was associated with the infants' anthropometrics and its evolution (z-BMI_{8mo}, z-BMI_{11mo} and z-BMI_{11mo} - z-BMI_{8mo}) by using Kendall's correlations.

To assess the infants' exposure to different EDs for the vegetable category, individual scores for ED variability were computed using the inter-quartile range (IQR) of the ED of the vegetable-based recipes the infant was exposed to (IQR.ED.vegetable). The links between the IQR.ED.vegetable and the mean ED of vegetable-based recipes, the $COMPX_{11mo}$, and the infants' anthropometrics and its evolution (z-BMI_{8mo}, z-BMI_{11mo} and z-BMI_{11mo} - z-BMI_{8mo}) were tested using Kendall's correlations.

The same procedure was applied to assess the infants' exposure to different ED for the carrot-based recipes (as a proxy measure of more or less discordant flavor-nutrient associations for the carrot-based recipes). The links between the IQR.ED.carrot and the mean ED of carrot-based recipes, and the $COMPX_{11mo}$ were tested using Kendall's correlations.

Statistical analysis was performed with R3.5.2, and statistical significance was set at $p < 0.05$. Values are expressed as mean ± SD. In order to achieve variance stabilization, Student's tests on variables representing proportions were performed after arcsinus square root transformation (also named angular transformation).

RESULTS

Sample characteristics

Among the 46 infants for whom we obtained the $COMPX_{11mo}$, dietary data from the questionnaire were available for 40 of them. For this sample, the $COMPX_{11mo}$ was 43 ± 117%. Infant and maternal characteristics are presented in Table 3. The observed age at the start of CF (4.9 ± 0.9 months) was consistent with the age reported in a French representative cohort study (Bournez, Ksiazek, Wagner, Kersuzan, Tichit, Gojard et al., 2018).

Table 3: Infant and maternal characteristics, *n* = 40 (number or mean ± SD).

Infant characteristics:	
Gender, F/M	18/22
Gestational age (weeks)	39.9 ± 1.4
Birth weight (kg)	3.4 ± 0.4
Birth z-BMI	0.4 ± 0.9
$z\text{-}BMI_{8mo}$ (*n*)	-0.4 ± 0.8 (*31*)
$z\text{-}BMI_{11mo}$ (*n*)	-0.5 ± 1.0 (*39*)
$z\text{-}BMI_{11mo} - z\text{-}BMI_{8mo}$ (*n*)	-0.2 ± 0.5 (*30*)
Duration of exclusive breastfeeding (weeks)	8.2 ± 8.7
Duration of total breastfeeding (weeks)	15.5 ± 19.2
Age at the start of CF[a] (months)	4.9 ± 0.9
Maternal/familial characteristics:	
Age at the questionnaire filling (years)	33.0 ± 4.6
Pre-pregnancy BMI (kg/m^2) (*n*)	24.4 ± 5.1 (*39*)
Primiparous	20
At least high-school degree	32
Married or lived with a partner	39
Monthly household income ≥ 2500 €	36

[a] CF: complementary feeding

Description of the vegetable recipes and links with infant's characteristics

Manufactured baby-food recipes vs other food recipes

Among the 40 infants, 26 of them consumed both manufactured baby-food recipes and other food recipes; 1 infant consumed manufactured baby-food recipes only and 13 infants consumed other food recipes only. Overall, the proportion of manufactured baby-food recipes represented 21% of the consumed recipes. The mean proportion of manufactured baby-food recipes just failed to differ according to gender: males tended to consume significantly more manufactured baby-food recipes (30%) than females (16%) ($t(38) = -2.02$, $p = 0.050$). As illustrated in Figure 2, the proportion of manufactured baby-food recipes was not significantly associated with the duration of exclusive breastfeeding ($\tau = -0.21$, $p = 0.09$, $n = 40$). Moreover, the graph shows that non-breastfed infants could receive a small or a large proportion of manufactured baby-food. The proportion of manufactured baby-foods consumed was not associated with the total duration of breastfeeding ($\tau = -0.19$, $p = 0.11$, $n = 40$) nor with the age at the start of CF ($\tau = -0.17$, $p = 0.13$, $n = 40$).

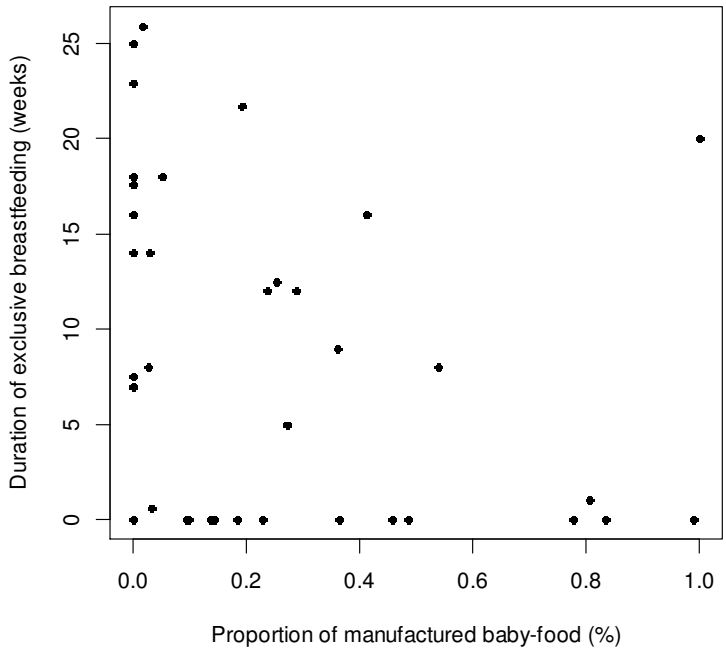


Figure 2: Association between the individual proportion of manufactured baby-foods and the duration of exclusive breastfeeding (weeks). Kendall correlation: $\tau = -0.21$, $p = 0.09$, $n = 40$.

Added caloric ingredients

Among the 40 infants, 22 of them consumed some recipes with added caloric ingredients and other recipes without added caloric ingredients; 9 infants consumed only recipes with added caloric ingredients and 9 infants consumed only recipes without added caloric ingredients. Overall, the majority of consumed recipes contained added caloric ingredients (60%). The individual proportion of recipes with added caloric ingredients did not differ significantly according to gender ($t(38) = 0.65$, $p = 0.52$) and was not associated with the durations of exclusive ($\tau = -0.12$, $p = 0.32$, $n = 40$) or total ($\tau = 0.22$, $p = 0.07$, $n = 40$) breastfeeding, nor with the age at the start of CF ($\tau = -0.04$, $p = 0.70$, $n = 40$).

When caloric ingredients were added, it was mainly butter, oil and/or cream ingredients (92% of the added ingredients, in both manufactured baby-foods and other food recipes). If we

consider the type of the recipe, only 6% of manufactured baby-food recipes contained added caloric ingredient compared to 73% of other food recipes (Figure 3). Among the 26 infants who consumed both types of foods (i.e. manufactured baby-foods and other food recipes), the proportion of added caloric ingredients was known in both manufactured baby-food and other food recipes for 22 of them. For this sample, the proportion of recipes containing added caloric ingredients differed significantly according to the recipe's type: only 13% of manufactured baby-food recipes contained added caloric ingredients compared to 62% of the other food recipes ($t(21) = -4.84$, $p < 0.001$). If we considered separately the recipe's types, when caloric ingredients were added it was butter, oil and/or cream in 100% of the cases for the manufactured baby-food recipes but for 94% of the cases for the other food recipes (Figure 3).

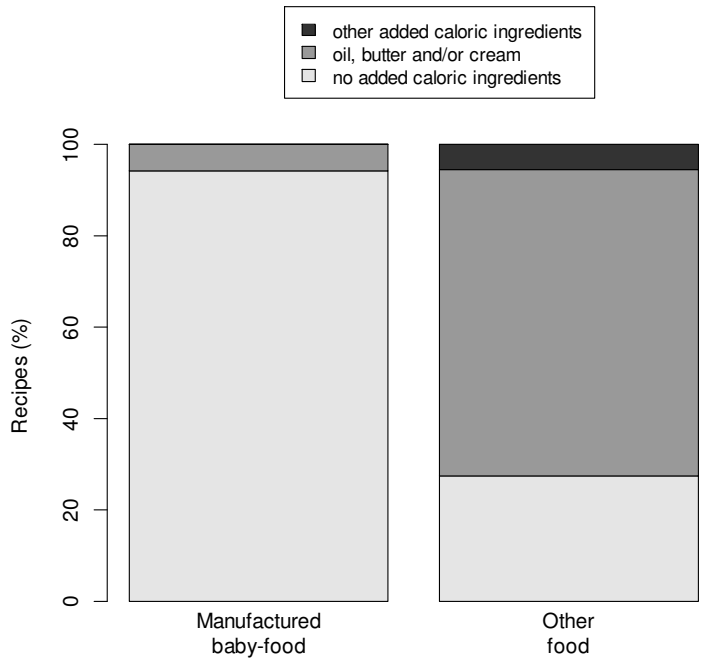


Figure 3: Proportions of recipes containing no added caloric ingredients, butter, oil and/or cream added or other caloric ingredients for the manufactured baby-foods (892 occurrences) and the other food recipes (3,994 occurrences).

Energy density of vegetable and links with infant's characteristics

Overall, the mean ED of vegetable-based recipes was 46.2 ± 16.2 kcal/100 g (min = 11.4, max = 106.0 kcal/100 g). The mean ED of vegetable-based recipes did not differ according to gender (43.7 ± 8.9 and 48.1 ± 8.1 kcal/100 g respectively for females and males, t (38) = -1.62, p = 0.11). No significant associations were found between the mean ED of the recipes and the durations of exclusive (τ = 0.15, p = 0.19, *n* = 40) and total (τ = 0.17, p = 0.15, *n* = 40) breastfeeding, nor with the age at the start of CF (τ = -0.18, p = 0.11, *n* = 40). Moreover, the mean ED of the vegetable based recipes was not associated with infants' anthropometrics (z-BMI_{8mo}: τ = 0.21, p = 0.10, *n* = 31; $zBMI_{11mo}$: τ = 0.09, p = 0.44, *n* = 39; z-BMI_{11mo} – z-BMI_{8mo}: τ = -0.05, p = 0.70, *n* = 30).

For the 26 infants who consumed both manufactured baby-food and other food recipes, the mean ED of manufactured baby-food recipes (44.9 ± 7.3 kcal/100 g) did not differ significantly from the mean ED of other food recipes (47.6 ± 12.7 kcal/100 g) (t (25) = -0.94, p = 0.35). For the 22 infants who consumed recipes with and without added caloric ingredients, when caloric ingredients were added, the mean ED of the recipes increased significantly by 14 kcal/100 g (t (21) = 5.0, p < 0.001).

Energy density variability of vegetable and infant's caloric compensation ability and anthropometrics

On average, between 8 and 11 months of age, infants were exposed to an ED variability for the vegetable category of 19.8 ± 9.4 kcal/100 g (min = 2.4, max = 37.5 kcal/100 g) (Figure 4). The mean ED was not associated with the mean IQR.ED.vegetable (τ = -0.16, p = 0.15, *n* = 40). In other words, infants were exposed to more or less varied ED for the vegetable category independently of the level of ED.

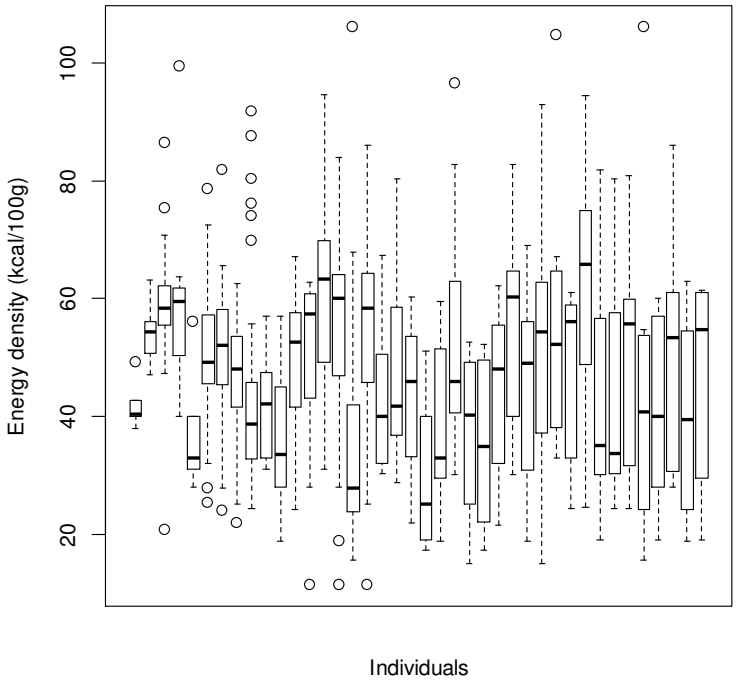


Figure 4: Distributions of energy densities (kcal/100 g) of vegetable-based recipes for each infant. Infants are ordered according to the IQR.ED.vegetable (heights of the boxes).

The IQR.ED.vegetable was not associated with the $COMPX_{11mo}$ (τ = 0.02, p = 0.86, *n* = 40). However, the IQR.ED.vegetable was negatively associated with the $z\text{-}BMI_{8mo}$ (τ = -0.42, p < 0.001, *n* = 31) (Figure 5 A) and with the $z\text{-}BMI_{11mo}$ (τ = -0.35, p = 0.002, *n* = 39) (Figure 5 B). No significant association was observed with the $z\text{-}BMI_{11mo} - z\text{-}BMI_{8mo}$ (τ = -0.20, p = 0.12, *n* = 30).

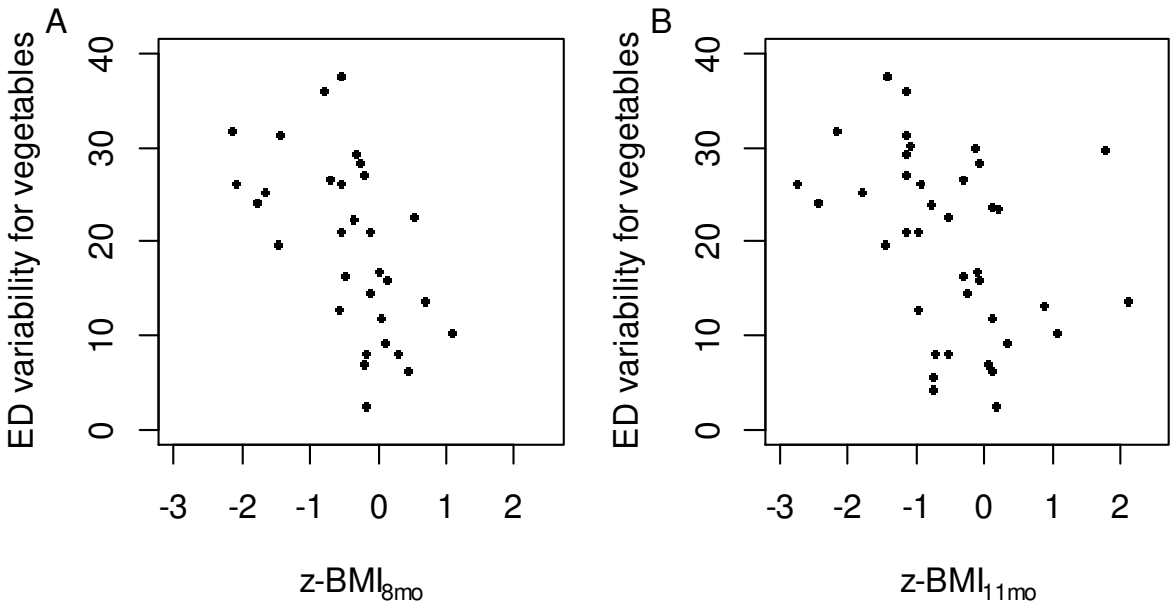


Figure 5: Negative associations between the individual energy density variability for the vegetable category (IQR.DE.vegetable in kcal/100 g) and the z-BMI_{8mo} (A) and the z-BMI_{11mo} (B). Kendall correlations (A: $\tau = -0.42$, $p < 0.001$, $n = 31$, B: $\tau = -0.35$, $p = 0.002$, $n = 39$).

Carrot energy density variability and infant's caloric compensation ability

Among the 40 infants, 38 of them consumed at least once a carrot-based recipe between their 8 and 11 months. The carrot-based recipes represented 31% of the total consumed recipes. On average, the mean ED of the carrot-based recipes was 40.3 ± 13.0 kcal/100 g (min = 17.3, max = 72.3 kcal/100 g) and the mean IQR.ED.carrot was 12.0 ± 12.5 kcal/100 g (min = 0, max = 38.1 kcal/100 g). The mean carrot ED was not associated with the IQR.ED.carrot ($\tau = 0.07$, $p = 0.57$, $n = 38$). The mean IQR.ED.carrot was not associated with the $COMPX_{11mo}$ ($\tau = -0.13$, $p = 0.27$, $n = 38$).

DISCUSSION

To our knowledge, this study is the first to describe the ED of vegetable in complementary-fed infants from 8 to 11 months of age. Sixty percent of the consumed vegetable-based

recipes contained added caloric ingredients, mainly oil, butter and cream. However, adding caloric ingredients was less likely in manufactured baby-foods. The mean ED of consumed vegetable-based recipes was 46 ± 16 kcal/100 g. In addition, our assessment testified that the experience of infants in terms of ED (for the vegetable category) was variable between infants; some being exposed more than others to high variability in ED across vegetable. To assess the links between the ED variability infants were exposed to and their caloric compensation ability, we distinguished two levels of ED variability: the ED variability within the vegetable category and the ED variability for the carrot-based recipes. None of these two levels of ED variability were linked to the infants' caloric compensation ability. However, the ED variability for the vegetable category was negatively linked with the BMI z-scores at 8 and 11 months old.

The descriptive analysis revealed that manufactured baby-food recipes account for a moderate proportion (21%) of the infant's vegetable-based diet in the present sample. To some extent, this result is in line with the ones from the Nutri-Bébé SFAE French study (in a sample of non-breastfed infants exclusively) which reported that manufactured baby-foods (including meat, fish, yoghurts etc.) represents 27% of the total energy intake at 8-11 months (Ghisolfi, Bocquet, Bresson, Briend, Chouraqui, Darmaun et al., 2013). The fact that, in our study, the duration of breastfeeding was not significantly associated with the proportion of consumed manufactured baby-foods is contradictory with a previous result from the EDEN cohort (Betoko, Charles, Hankard, Forhan, Bonet, Saurel-Cubizolles et al., 2013). But our small sample may underpin this phenomenon. Interestingly, in our study, non-breastfed infants could receive a small or a large proportion of manufactured baby-foods recipes. Finally, the fact that boys tended to be offered more manufactured baby-foods than girls suggests that parental feeding practices may differ according to infants' gender. Although not consensual, gender differentiation were reported in young children concerning other aspects of parental

practices like the use of controlling feeding practices (Johnson & Birch, 1994) or verbal strategies parents used to influence children's eating during mealtime (e.g., verbal tone, verbal content) (Orrell-Valente, Hill, Brechwald, Dodge, Pettit, & Bates, 2007). Clearly, further research is needed to better understand which feeding aspect (like the type of offered foods) may differ according to the infants' gender.

We observed that the mean ED of manufactured baby-food recipes did not differ from the mean ED of the other food recipes. This is contradictory to previous reports: when considering several food categories (e.g., vegetable, meat, fish, dairy), some studies have reported that the median ED of manufactured baby-foods remains lower than the median ED of their counterparts' home-made food (Carstairs, Craig, Marais, Bora, & Kiezebrink, 2016; Hilbig, Foterek, Kersting, & Alexy, 2015). However, comparisons must be cautious considering the different methodologies used: in our study, we focused really on practices as we took into consideration the frequency of consumption over three months. Also, none of these previous studies were conducted in France.

In addition, we observed that the addition of fat remains rare in manufactured baby-foods compared to other food recipes. This suggests that parents who used manufactured baby-foods consider them to be 'ready to eat' products and therefore use them as is. In the French ELFE cohort study, the authors also highlighted the low addition of fat in manufactured baby-foods (Bournez, Ksiazek, Charles, Lioret, Brindisi, de Lauzon-Guillain et al., 2019). However, although 64% of 3-10 months old infants received added fat ingredients in their diet as observed in this large French cohort, fat intakes are still below the recommended levels (Chouraqui, Tavoularis, Simeoni, Ferry, & Turck, 2019; Yuan, Nicklaus, Lioret, Lange, Forhan, Heude et al., 2017).

With regards to FNL learning and appetite control abilities, according to Martin's theory (2016), increasing ED variability for a specific food item might lead to an increase in

uncertainty regarding the association between a flavor and energy. In turn, this may lead to disturbances in appetite control. Contrarily to this hypothesis, we did not observe such phenomenon in our study. The ED variability for carrot-based recipes consumed by infants between 8 and 11 months was not associated with the caloric compensation ability at 11 months. Our result is not aligned with Hardman and colleagues' results obtained in adults (the ED variability for pepperoni pizza was negatively associated with the caloric compensation ability after consuming a slice of pepperoni pizza) (Hardman, Ferriday, Kyle, Rogers, & Brunstrom, 2015). Several arguments can be advanced to explain our different results. First, with our preload paradigm, we assessed the caloric compensation by increasing the ED of the carrot preload by 65 kcal/100 g between the LED and the HED days. This value is much higher compared to the observed carrot ED variability infants are exposed to (12.0 ± 12.5 kcal/100 g). Even the infants exposed to the higher carrot ED variability were not familiar with the caloric difference between our two preloads. Second, in our study in infants the mean carrot ED variability was much lower (12.0 ± 12.5 kcal/100 g) than the mean ED variability reported for the pepperoni pizza (271 ± 167 kcal/eaten portion size) in adults (Hardman, Ferriday, Kyle, Rogers, & Brunstrom, 2015). Adults, who have a wider food repertoire than infants are certainly exposed to more non-congruent flavor-nutrient associations (in terms of frequency since they consume much more different foods and/or in terms of ED ranges). We suggest that the ED variability infants were exposed to between 8 and 11 months may not have been variable enough to affect their caloric compensation ability at 11 months.

The ED variability for the vegetable category was not associated with the mean ED: this means that infants could be exposed to a high average ED without being exposed to a high ED variability for the vegetable category (or the order way around). Interestingly, one of the thriving results is the fact that being exposed to a wide range of ED across the vegetable category between 8 and 11 months of age was negatively associated with the z-BMI at 8

months and at 11 months. Our significant correlations do not enable to draw any causal relationships. With our longitudinal design, and because the correlation was already significant at 8 months, we can suggest that the infants' weight status may drive the parental feeding practices underpinning this link. In fact, infants of our sample were slightly thinner than the French reference (mean z-BMI < 0 at 8 and 11 months[1]). Adding sometimes caloric ingredients, which increases the variability of the ED for the vegetable category, could be viewed as a feeding strategy adopted by parents of thinner infants to increase sometimes their energy intake. Mothers of thinner infants could be more concerned about their infants' nutritional status and then adopt sometimes feeding strategies to increase their infants' energy intake. It is possible that we did not observe a significant association between the mean ED and the infants' anthropometrics because we considered the vegetable category only. It would be worth to investigate the ED of the whole diet.

Interestingly, Rolland-Cachera and colleagues reported that a low-fat diet in infancy can have deleterious consequencies on weight status and leptin resistance at later ages (2013). In our study, the infants' anthropometrics were not significantly associated with the mean ED, but with the ED variability. This aspect calls for further research on the links between ED variability in infancy and later appetite control abilities and weight status.

In terms of methodology, the questionnaire we developed enabled to describe for the first time the infants' exposure to ED over a period of 3 months for the vegetable category. This tool allowed the extraction of the ED of each consumed recipe by taking into account the recipes' specificity susceptible to modify the caloric content (type of the recipe, addition of caloric ingredients, cooking method) and the frequency of consumption. On the contrary, in past studies, descriptions of average ED were often based on the foods available on the market, and so, on foods that were not necessarily consumed by the infants (Carstairs, Craig, Marais,

[1] Student's t tests centered on 0. z-BMI_{8mo} significantly lower than 0 : ($t(30) = -3.05$, $p = 0.005$); z-BMI_{11mo} significantly lower than 0 : ($t(38) = -3.18$, $p = 0.003$).

Bora, & Kiezebrink, 2016; Zand, Chowdhry, Pollard, Pullen, Snowden, & Zotor, 2015). Moreover, these previous descriptions did not report the individual ED variability. Yet, in our study, the absence of significant correlation between the mean ED and the ED variability highlights the relevance of assessing and distinguishing these two parameters to describe more finely the infants' diet and food experiences in terms of ED and associations between flavors and energy.

In conclusion, this study showed that the infants' exposure to more or less consistent associations between a food and its ED was not associated with his/her caloric compensation ability measured with the same food. However, the more the infants were exposed to a wide range of ED for the vegetable category, the lower the weight status was. This study outlines the need for further research to identify the potential disruptive factors relative to flavor-nutrient learning in infancy and their potential implication in appetite control and weight status.

REFERENCES

Ahern SM, Caton SJ, Bouhlal S, Hausner H, Olsen A, Nicklaus S, Møller P & Hetherington MM. (2013). Eating a rainbow. Introducing vegetables in the first years of life in 3 European countries. *Appetite, 71*, 48-56.

Betoko A, Charles M-A, Hankard R, Forhan A, Bonet M, Saurel-Cubizolles M-J, Heude B & De Lauzon-Guillain B. (2013). Infant feeding patterns over the first year of life: influence of family characteristics. *European journal of clinical nutrition, 67*(6), 631.

Birch LL & Deysher M. (1986). Caloric compensation and sensory specific satiety: evidence for self regulation of food intake by young children. *Appetite, 7*(4), 323-331.

Bournez M, Ksiazek E, Charles M-A, Lioret S, Brindisi M-C, de Lauzon-Guillain B & Nicklaus S. (2019). Frequency of Use of Added Sugar, Salt, and Fat in Infant Foods up to 10 Months in the Nationwide ELFE Cohort Study: Associated Infant Feeding and Caregiving Practices. *Nutrients, 11*(4), 733.

Bournez M, Ksiazek E, Wagner S, Kersuzan C, Tichit C, Gojard S, Thierry X, Charles MA, Lioret S & de Lauzon-Guillain B. (2018). Factors associated with the introduction of complementary feeding in the French ELFE cohort study. *Maternal & child nutrition, 14*(2), e12536.

Bresson J & Le Bris M. (2013). Nouvelles données sur l'alimentation des bébés en France (New data regarding infant feeding in France). *La revue de nutrition pratique*, 1-7.

Brugaillères P, Issanchou S, Nicklaus S, Chabanet C & Schwartz C. (2019). Caloric compensation in infants: developmental changes around the age of 1 year and associations with anthropometrics up to 2 years. *The American Journal of Clinical Nutrition, [Epub ahead of print]*. doi: doi: 10.1093/ajcn/nqy357

Carstairs SA, Craig LC, Marais D, Bora OE & Kiezebrink K. (2016). A comparison of preprepared commercial infant feeding meals with home-cooked recipes. *Archives of Disease in Childhood, 101*(11), 1037-1042. doi: 10.1136/archdischild-2015-310098

Chouraqui J-P, Tavoularis G, Simeoni U, Ferry C & Turck D. (2019). Food, water, energy, and macronutrient intake of non-breastfed infants and young children (0–3 years). *European journal of nutrition*, 1-14.

Table CIQUAL, 2013.

Table CIQUAL, 2016. https://ciqual.anses.fr/. Accessed 8 August 2018.

Fantino M & Gourmet E. (2008). Apports nutritionnels en France en 2005 chez les enfants non allaités âgés de moins de 36 mois. *Archives de pédiatrie, 15*(4), 446-455.

Fewtrell M, Bronsky J, Campoy C, Domellöf M, Embleton N, Fidler Mis N, Hojsak I, Hulst JM, Indrio F, Lapillonne A & Molgaard C. (2017). Complementary feeding: a position paper by the European society for paediatric gastroenterology, hepatology, and nutrition (ESPGHAN) committee on nutrition. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition, 64*(1), 119-132. doi: 10.1097/mpg.0000000000001454

Garcia AL, Raza S, Parrett A & Wright CM. (2013). Nutritional content of infant commercial weaning foods in the UK. *Archives of Disease in Childhood, 98*(10), 793-797. doi: 10.1136/archdischild-2012-303386

GEMRCN. (2015). Recommandation nutrition. Ministère de l'économie de l'industrie et du numérique.

Ghisolfi J, Bocquet A, Bresson JL, Briend A, Chouraqui JP, Darmaun D, Dupont C, Frelut ML, Girardet JP, Goulet O, Hankard R, Rieu D, Siméoni U, Turck D & Vidailhet M. (2013). Les aliments industriels (hors laits et céréales) destinés aux nourrissons et enfants en bas âge : un progrès diététique ? (Processed baby foods for infants and young children: a dietary advance? A position paper by the Committee on Nutrition of

the French Society of Paediatrics). *Archives de pédiatrie, 20*(5), 523-532. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.arcped.2013.02.072

Hardman CA, Ferriday D, Kyle L, Rogers PJ & Brunstrom JM. (2015). So many brands and varieties to choose from: does this compromise the control of food intake in humans? *PloS One, 10*(4), e0125869. doi: 10.1371/journal.pone.0125869

Hilbig A, Foterek K, Kersting M & Alexy U. (2015). Home-made and commercial complementary meals in German infants: results of the DONALD study. *Journal of human nutrition and dietetics, 28*(6), 613-622.

Johnson SL & Birch LL. (1994). Parents' and children's adiposity and eating style. *Pediatrics, 94*(5), 653-661.

Kesse-Guyot E, Castetbon K, Touvier M, Hercberg S & Galan P. (2010). Relative validity and reproducibility of a food frequency questionnaire designed for French adults. *Annals of Nutrition and Metabolism, 57*(3-4), 153-162. doi: 10.1159/000321680

Maier A, Chabanet C, Schaal B, Leathwood P & Issanchou S. (2007). Food-related sensory experience from birth through weaning: contrasted patterns in two nearby European regions. *Appetite, 49*(2), 429-440.

Martin AA. (2016). Why can't we control our food intake? The downside of dietary variety on learned satiety responses. *Physiology & Behavior, 162*, 120-129. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.04.010

Orrell-Valente JK, Hill LG, Brechwald WA, Dodge KA, Pettit GS & Bates JE. (2007). “Just three more bites”: An observational analysis of parents’ socialization of children's eating at mealtime. *Appetite, 48*(1), 37-45.

PNNS. (2015). "Children and teens nutritional guide for all parents". Retrieved 16th January 2018 from http://www.inpes.sante.fr/CFESBases/catalogue/pdf/688.pdf.

Remy E, Issanchou S, Chabanet C & Nicklaus S. (2013). Repeated exposure of infants at complementary feeding to a vegetable puree increases acceptance as effectively as flavor-flavor learning and more effectively than flavor-nutrient learning. *Journal of Nutrition, 143*(7), 1194-1200. doi: 10.3945/jn.113.175646

Rolland-Cachera MF, Cole TJ, Sempe M, Tichet J, Rossignol C & Charraud A. (1991). Body mass index variations: centiles from birth to 87 years. *European Journal of Clinical Nutrition, 45*(1), 13-21.

Rolland-Cachera MF, Maillot M, Deheeger M, Souberbielle JC, Peneau S & Hercberg S. (2013). Association of nutrition in early life with body fat and serum leptin at adult age. *International Journal of Obesity, 37*(8), 1116-1122. doi: 10.1038/ijo.2012.185

Schwartz C, Madrelle J, Brignot H, Delarue J, Cuvelier G, Nicklaus S, Feron G & Tournier C. (2018). Acceptance of added fat to first complementary feeding purees: an exploration of fat type, feeding history and saliva composition. *Appetite, 131*, 160-168.

Yuan W, Nicklaus S, Lioret S, Lange C, Forhan A, Heude B, Charles M & De Lauzon-Guillain B. (2017). Early factors related to carbohydrate and fat intake at 8 and 12 months: results from the EDEN mother–child cohort. *European journal of clinical nutrition, 71*(2), 219.

Zand N, Chowdhry BZ, Pollard LV, Pullen FS, Snowden MJ & Zotor FB. (2015). Commercial 'ready-to-feed' infant foods in the UK: macro-nutrient content and composition. *Maternal & child nutrition, 11*(2), 202-214. doi: 10.1111/j.1740-8709.2012.00445.x

CHAPITRE 5

Capacités d'ajustement énergétique et fonctionnement de la dyade mère-nourrisson

Article 5

Caloric compensation ability around the age of 1 year: interplay with the mother-infant mealtime interaction and infant appetitive traits

P. Brugaillères, C. Chabanet, S. Issanchou and C. Schwartz

En révision pour Appetite

Objectifs et principaux résultats

L'objectif de l'**Article 5** était de tester les liens entre les capacités d'ajustement énergétique des nourrissons et 1) le fonctionnement de la dyade mère-nourrisson au cours du repas (évalué par la balance connectée) et 2) les traits appétitifs des nourrissons évalués par la mère (par questionnaire).

À 11 mois, les nourrissons ont de meilleures capacités d'ajustement énergétique lorsque le rythme des cuillerées est adapté au contenu des cuillerées (i.e., plus le contenu de la cuillerée offerte est important, plus le délai avant la prochaine cuillerée est long). Les nourrissons dont les capacités d'ajustement énergétique se détériorent le plus de 11 à 15 mois sont perçus par leur mère comme étant plus 'attirés' par la nourriture entre 11 et 15 mois (score plus élevé pour la dimension 'food responsiveness' du questionnaire CEBQ-T).

Caloric compensation ability around the age of 1 year: interplay with the mother-infant mealtime interaction and infant appetitive traits

Pauline Brugaillères[1], Claire Chabanet[1], Sylvie Issanchou[1], Camille Schwartz[1]

[1]Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France

Corresponding author: Camille Schwartz, *UMR Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, 17 rue Sully, 21000, Dijon, France.* Tel.: +33 380 69 37 43; Email: camille.schwartz@inra.fr

Trial registration: This trial was registered at clinicals.gov as NCT03409042 (https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT03409042).

Abbreviations

BMI: Body mass index; ED: Energy density (kcal/100 g); EI: Energy intake (kcal); CF: Complementary feeding; LED: Low energy density; HED: High energy density; CEBQ-T: Child Eating Behaviour Questionnaire adapted for Toddlers; FR: Food responsiveness; EF: Enjoyment of food; SR: Satiety responsiveness; SE: Slowness in eating; FF: Food fussiness; spoonful-wt: Spoonful weight (g), dt: Time interval between two spoonfuls, (s), 'pace adaptation': Kendall correlation (τ) between dt(t) and spoonful-wt(t-1); 'decrease-wt': Difference in the spoonful-wt between the last and first thirds of the consumption session; 'increase-dt': Difference in dt between the last and first thirds of the consumption session.

Introduction

As theorized by Kral and colleagues (Kral et al., 2018), appetitive traits emerge early in infancy and persist over time. According to this theory, behavioural phenotypes related to obesity are underpinned by a strong food seeking trait (referring to a high responsiveness to external food cues, which results in overeating when surrounded by palatable foods) combined with poor self-regulation of energy intake (referring to a low sensitivity to internal cues of hunger and/or satiation, which results in a poor ability to adjust eating). Caloric compensation is defined as the adjustment of energy intake in response to the ingestion of a food preload (Blundell et al., 2010). In that context, caloric compensation ability reflects a subject's sensitivity to internal satiation cues. We recently showed that caloric compensation ability decreases between the ages of 11 and 15 months. Additionally, this decrease was associated with a larger increase in weight status from 11 to 15 months of age and a higher weight status at 2 years of age (Brugaillères et al., 2019) .

A recent longitudinal study of 4.5- and 6-year-old children revealed significant associations between appetitive traits (assessed by the mothers through the Child Eating Behaviour Questionnaire (CEBQ) (Wardle, Guthrie, Sanderson, & Rapoport, 2001)) and observed oral processing behaviour (e.g., eating rate, chew rate, bite size, and oral exposure time) during an *ad libitum* meal in the laboratory (Fogel et al., 2018). At 4.5 years of age, children who were perceived by their mothers as being slow eaters had lower observed eating and chew rates. At 6 years of age, children who were perceived by their mother as more attracted by food (i.e., higher score for the 'food enjoyment' dimension and lower scores for the 'satiety responsiveness', 'slowness in eating', and 'food fussiness' dimensions) showed higher eating rates and greater energy intakes. Moreover, studies have demonstrated that a higher eating rate promotes higher energy intake and is associated with increased bodyweight in children (Berkowitz et al., 2010; Fogel et al., 2017; He, Ding, Fong, & Karlberg, 2000). In a

prospective study conducted on 30- to 42-month-old infants, each mother evaluated her infant's eating rate on a 5-point scale ranging from 'very slow' to 'very fast' (Okubo, Miyake, Sasaki, Tanaka, & Hirota, 2017). The perceived eating rate at 30 months was positively associated with infant body mass index (BMI) at 30 and 42 months.

The main feature of mealtime episodes during complementary feeding (CF) is that feeding occurs through an interaction between the infant and a caregiver, generally the mother (Dupuy, 2017). Thus, the course of the meal is strongly linked to the mother-infant mealtime interaction (McNally et al., 2016; Pesch & Lumeng, 2017). The concept of responsive feeding reflects the reciprocity between the caregiver and the infant during the feeding process. This process requires that the infant emits hunger and satiation cues clear enough that the caregiver can interpret the infant's signals and respond to them in an appropriate and prompt manner (Black & Aboud, 2011; Pérez-Escamilla, Segura-Pérez, & Lott, 2017). Depending on the degree of responsiveness in feeding – and the extent to which the mother is child-centred during the meal – the child will eat in response to hunger or will be overfed/underfed. For example, in an experimental study (Ventura & Mennella, 2016), in a mother-led condition, the mothers were given instructions to feed their infants as they typically would, whereas in an infant-led condition, the experimenter ensured that feeding began when the infants signalled hunger (e.g., based on cues such as mouthing, rooting, and fussing) and ended when the infants signalled satiation by rejecting the bottle on three consecutive occasions. The infants in the mother-led condition appeared to consume significantly more formula than the infants in the infant-led condition.

According to DiSantis and colleagues (DiSantis, Hodges, Johnson, & Fisher, 2011), a discordant feeding interaction can result in increases in the amount and/or frequency of feeding and thus alter the infant's appetite control ability, leading to accelerated infant weight gain. Such evidence was also highlighted by Hurley and colleagues in their review (Hurley,

Cross, & Hughes, 2011). An in-home observational study revealed that infants whose mothers were less sensitive to their infant's satiation cues gained significantly more weight from 6 to 12 months of age than infants of more sensitive mothers (Worobey, Islas Lopez, & Hoffman, 2009). Satiation cues may appear slowly over the course of a meal (e.g., looking away and tray pounding) and are communicated more strongly with age (Shloim, Shafiq, Blundell-Birtill, & Hetherington, 2018). In adults, the emergence of satiation during consumption may result in a decelerating food intake curve (Westerterp-Plantenga, 2000). However, when the process of satiation is altered, this deceleration is not observed (Lindgren et al., 2000; Westerterp-Plantenga, 2000). Certainly, in the case of meals of complementary-fed infants, the caregiver plays a role in the extent to which this deceleration is likely to happen, based on the extent to which the parent adapts the pace of feeding and/or the weight of the spoonful offered to the infant's pace of eating. To our knowledge, these specific factors have not yet been investigated and warrant further study, as far as possible through longitudinal observational studies evaluating the mother-child interaction during mealtimes (Bergmeier, Skouteris, & Hetherington, 2015).

Therefore, in the present study, we first aimed to relate the inter-individual variation in infant caloric compensation ability at 11 and 15 months of age to mother-infant interaction during the meals when the caloric compensation ability was assessed. To this end, we investigated whether dyadic adaptation occurred; for example, we examined whether the spoonful pace (corresponding to the feeding pace) was linked to the spoonful weight. Second, at 11 and 15 months of age, we investigated the links between infant caloric compensation ability and the infants' appetitive traits at these ages, as evaluated by the mother. We hypothesized that infants who were perceived as more satiety responsive would have a more accurate caloric compensation ability. Third, as we reported that the caloric compensation ability decreased

between the ages of 11 and 15 months, we assessed the links between this decrease and the infants' appetitive traits.

Methods

Participants

Recruitment was conducted in Dijon, France, from May 2015 to December 2016 using leaflets distributed to health professionals' consultation rooms, our internal database (the ChemoSens Platform's PanelSens database, Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) n° 1148039) and the help of a recruitment agency. Sixty-nine mother-infant dyads were enrolled in the present study. Among these dyads, 29 previously participated in another study that aimed to evaluate the acceptance of fat added to the first purees around the onset of CF (Schwartz et al., 2018). The infant inclusion criteria were as follows: no chronic health problems or food allergies, gestational age ≥ 37 weeks, birth weight ≥ 2.5 kg, no history of being tube fed and no history of being fed a hydrolysate formula. Infants of mothers with diabetes or celiac disease and infants of minor parents (< 18 years old) were excluded.

This study was conducted according to the guidelines established in the Declaration of Helsinki and was approved by the local ethics committee (Comité de Protection des Personnes Est I Bourgogne, 2015-A000014-45). Written informed consent was obtained from both parents. The participants received a 60 € voucher for completing the measures described in this paper.

Measures

The measures were conducted from December 2015 to July 2017. When the infants were 11 and 15 months old, we performed a laboratory-based assessment of the infants' caloric compensation ability. This measure required two visits to the laboratory on two non-consecutive days (mean delay between the two visits: 5.4 ± 3.2 d) at the infants' usual lunch time (94 %) or dinner time (between 6 and 6:30 pm) (6 %). The mothers were present for 93

% of the visits (the father was present for 6 % of visits, and the grandmother was present for 1 % of visits when the mother was unavailable to come to the laboratory). Thus, we will subsequently refer to 'the mother-infant dyad'. The measure of caloric compensation consisted of offering the infant a food preload either low or high in energy density (ED), followed by an *ad libitum* meal (details below). The test meals took place in a study room dedicated to infant feeding: the infant was seated in a high chair in front of his or her mother and was fed by his or her mother, who generally used her own spoon. All *ad libitum* meals were recorded by using a connected weighing scale that continuously recorded the weight of the bowl (details below). At each studied age, the mother also completed the Child Eating Behaviour Questionnaire adapted for Toddlers (CEBQ-T) (Herle, Fildes, van Jaarsveld, Rijsdijk, & Llewellyn, 2016), which is a modified version of the validated CEBQ (Wardle et al., 2001).

Infant caloric compensation ability

The infants' caloric compensation ability was measured by adapting the preload paradigm that was developed by Birch & Deysher (Birch & Deysher, 1985) and previously used in children (Remy, Issanchou, Chabanet, Boggio, & Nicklaus, 2015) and adults (Almiron-roig et al., 2012). This measure reflects infant short-term responsiveness to variations in ED. The procedure is detailed in our previous report (Brugaillères et al., 2019). The principles were as follows. On the first visit at 11 and 15 months of age, the infants received a fixed amount of a food preload (67 g of carrot puree) that was either low or high in ED (LED = 22 kcal, HED = 65 kcal). The HED preload was made by adding vegetable oil. The order was counterbalanced across infants. Each infant was randomly assigned to a specific order group (LED/HED or HED/LED), and this order was the same at the two different ages. After a 25-min play period, the infants were served an *ad libitum* meal composed of 300 g of a vegetable and meat/fish puree followed by 195 g of a fruit puree. Each infant was offered the same *ad libitum* meal

(the same food items) at each studied age. To ensure *ad libitum* consumption of the meal, the mothers received precise instructions to stop feeding each food when the infant exhibited 2 consecutive refusals (e.g., the infant refused to open his/her mouth, pushed the spoon away or shook his/her head). The mothers were instructed to feed their infants without encouraging or restricting consumption. The foods were also served in large opaque bowls so that the mothers could not obtain an accurate idea of the offered quantities. To assess the weight intake (g), the experimenter weighed each bowl, as well as the infant's bib, before and after consumption (Soehnle, 1 g). Then, for each food (i.e., preload, vegetable and meat/fish puree and fruit puree), the energy intake (EI) was calculated according to ED information from the manufacturer.

From the EI data, a caloric compensation score (COMPX [%]) was calculated at 11 and 15 months of age by using the following equation: COMPX = 100 × [(meal calories after LED preload – meal calories after HED preload) / (HED preload calories – LED preload calories)] (Johnson & Birch, 1994). A COMPX of 100 % reflects perfect caloric compensation. A COMPX higher than 100 % indicates overcompensation, whereas a COMPX lower than 100 % indicates under-compensation.

Mother-infant mealtime interaction

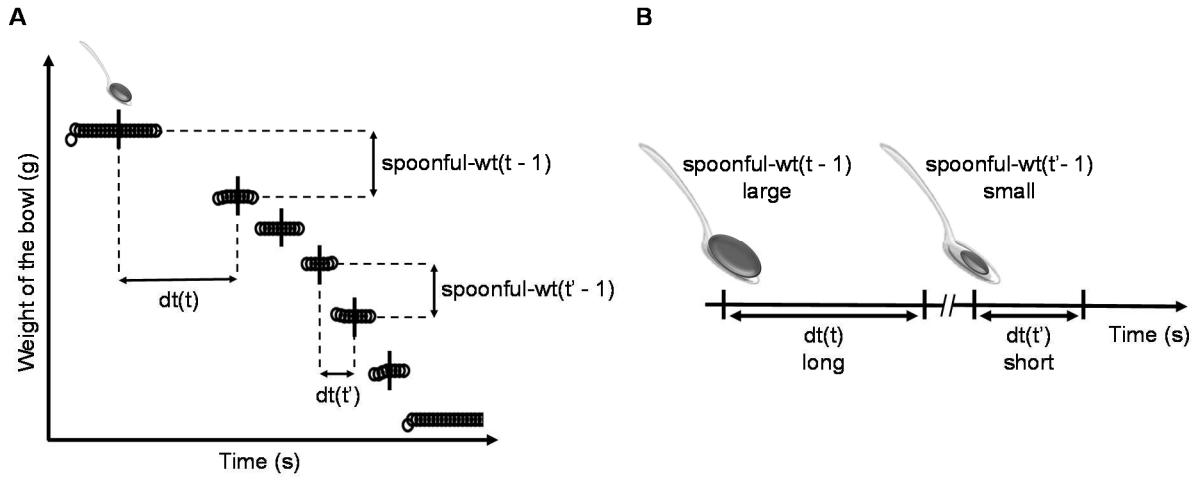
During each food consumption session of the *ad libitum* meal, the bowl containing the food was placed on a digital weighing scale with a sensitivity of 0.1 g (Adam® PGL-12001 or NBL-4602e depending on the study room) that was connected to a computer that recorded the weight of the bowl every second. Hence, the mothers were asked to manipulate the spoon without handling the bowl. The experimenter started and stopped the recording manually for each food.

The first output variable describing the meal was the consumption duration (min). R functions were developed to automatically extract the total number of spoonfuls offered to the infant,

the weight of each spoonful (spoonful-wt) and the time interval between two spoonfuls (dt). The details about the connected weighing scale and the reliability of the developed R functions, which was validated through a combined approach with video coding, are available elsewhere (Brugaillères et al., 2018) . To assess the dynamics of mother-infant mealtime interaction, we calculated three other variables called herein 'pace adaptation', 'decrease-wt' and 'increase-dt'. The variable 'pace adaptation' reflects the extent to which the spoonful pace is linked to the spoonful weight. This variable was operationalized by the Kendall correlation (τ value) between the time interval between two spoonfuls (dt(t)) and the weight of the previous spoonful (spoonful-wt(t-1)) (Figure 1). By definition, the higher (>0) the 'pace adaptation', the more strongly correlated the spoonful weight and the time interval until the next spoonful are. In order words, the larger the spoonful is, the longer the time interval until the next spoonful.

Figure 1: Representation of positive 'pace adaptation'.

Diagram A is a representation of a record from the connected weighing scale showing the weight of the bowl over time and how the following variables were extracted: spoonful-wt = spoonful weight (g), and dt = the time interval between two spoonfuls (s). Series of consecutive equal weight measurements (runs) correspond to periods during which the spoon was out of the bowl. The vertical lines in the middle of each run correspond to the extracted times at which each spoonfuls were supposed to be offered to the infant. Diagram B is another representation associated with diagram A. It shows a positive pace adaptation, namely, a longer dt following a larger spoonful-wt (Brugaillères et al., 2018).



The two variables 'decrease-wt' and 'increase-dt' were calculated to assess whether a deceleration occurred during the course of a food consumption session. The variable 'decrease-wt' reflects the extent to which the spoonful weight decreases over the course of the offered spoonfuls. The food consumption session was divided into three thirds based on the number of offered spoonfuls. The 'decrease-wt' variable corresponds to the difference between the average spoonful weight over the last third of the session and the average spoonful weight over the first third of the consumption session. This value was calculated only if the food consumption session was constituted by at least 10 spoonfuls. By definition, a negative 'decrease-wt' value indicates that the spoonful weight decreased between the first

and the last third of the food consumption session. The variable 'increase-dt' was calculated in the same way. A positive 'increase-dt' value indicates that the time interval between two spoonfuls increased between the first and the last third of the food consumption session. Over the course of the consumption of a food, a deceleration of the eating rate can result in a decrease in the spoonful-wt and/or an increase in the dt.

Infant appetitive traits

At 11 and 15 months of age, the mothers completed the CEBQ-T. This questionnaire is a modified version of the validated CEBQ, which measures appetitive traits. We used the French version of the CEBQ-T, which was previously used in the Habeat European project (Caton et al., 2014) and is detailed in Supplemental Table 1. According to our objectives and based on Kral's theory, five dimensions were analysed, two dimensions referring to food approach (i.e., 'food responsiveness' [FR] and 'enjoyment of food' [EF]), and three dimensions referring to food avoidance (i.e., 'satiety responsiveness' [SR], 'slowness in eating' [SE] and 'food fussiness' [FF]). The majority of the items composing these five dimensions are identical between the CEBQ and the CEBQ-T. However, the item '*If given the chance, my child would always have food in his/her mouth*' is omitted from the FR dimension of the CEBQ-T, and the item '*My child refuses to eat certain types of food (e.g., vegetables, meat)*' is added to the FF dimension of the CEBQ-T. In the original version, the items are scored on a 5-point Likert scale ranging from 'never' to 'always'. In our study, we added the option 'I do not know', given that some items could not be assessed by some mothers because they had never encountered the described situation. At each studied age, the questionnaire was retrospective, with answers covering the past 3 months and the past 4 months when completed at 11 and 15 months of age, respectively. Thereby, the two evaluations covered the infant's life from 8 to 15 months.

The score for each dimension of the CEBQ-T is the mean of the different items and by definition it ranges from 1 to 5. At 11 months of age, due to a high number of missing values (57 % no response or 'I do not know'), the item '*My child could not eat a meal if s/he has had a snack just before'* was not included in the calculation of the SR dimension. This item was therefore also excluded at 15 months of age to ensure consistency when calculating this dimension at the two ages. The SR dimension was thus calculated based on four items instead of five. Mean scores for each dimension were only calculated if a minimum number of items was rated (3/4 for FR, EF, SR, and SE and 6/7 for FF). The score for each dimension was calculated for each infant at 11 and 15 months of age (FR_{11}, EF_{11}, SR_{11}, SE_{11}, and FF_{11} and FR_{15}, EF_{15}, SR_{15}, SE_{15}, and FF_{15}). Reliability analysis demonstrated good Cronbach's α values for the five dimensions, which ranged from 0.67 to 0.87 at 11 months of age and from 0.72 to 0.90 at 15 months of age for our longitudinal sample (i.e., the subjects for whom we calculated the dimensions at both studied ages).

Statistical analysis

R software for Windows version 3.4.0 was used to analyse the data. Significance was set at $p < 0.05$. The results are reported as the mean ± SD. The COMPX score was calculated for each infant at 11 and 15 months of age ($COMPX_{11}$ and $COMPX_{15}$, respectively). We then calculated the change in the COMPX score between these ages ($\Delta COMPX = COMPX_{15} - COMPX_{11}$).

To describe mother-infant mealtime interaction, we focused on the consumption of the vegetable and meat/fish puree (from now on, called 'puree') since it was the major part of the *ad libitum* meal (72% of the meal EI).

Meal-to-meal consistency at each age

At each age, we first tested the consistency across the LED/HED conditions for each variable (i.e., weight intake, consumption duration, number of offered spoonfuls, spoonful weight

(spoonful-wt), time interval between two spoonfuls (dt), 'pace adaptation', 'decrease-wt', and 'increase-dt') by using Kendall correlations (unilateral tests).

Stability across ages

At each age, all eight variables were averaged over the LED and HED conditions. Regarding 'pace adaptation', 'decrease-wt' and 'increase-dt', the resulting value was either an average or a unique measurement if only one of the LED/HED values was available. To determine whether a global deceleration of consumption occurred over the course of the meal at 11 and 15 months of age, we compared the mean 'decrease-wt' and 'increase-dt' values to the 0 value by using Student's *t* tests. We then tested the stability and consistency of the five variables describing mother-infant mealtime interaction (i.e., spoonful-wt, dt, 'pace adaptation', 'decrease-wt', and 'increase-dt') between 11 and 15 months of age by using paired Student's *t* tests and Kendall correlations (unilateral tests), respectively.

Associations with the COMPX score and its change

At 11 and 15 months of age, unpaired Student's *t* tests were used to compare the mean COMPX scores after a median split for 'pace adaptation' (median splits = 0.04 and 0.07 at 11 and 15 months, respectively), 'decrease-wt' (median splits = -4.42 and -3.56 at 11 and 15 months, respectively) and 'increase-dt' (median splits = 1.60 and 2.19 at 11 and 15 months, respectively). Regarding infant appetitive traits, we assessed the links between the COMPX score and the FR, EF, SR, SE and FF dimensions of the CEBQ-T by using Kendall correlations at 11 and 15 months of age. Concerning the change in the scores of the dimensions of the CEBQ-T with age, we first tested the stability and consistency of these scores between 11 and 15 months of age by using paired Student's *t* tests and Kendall correlations, respectively. Then, we tested the links between the ΔCOMPX and the dimensions of the CEBQ-T completed at 15 months of age by using Kendall correlations. For all Kendall correlations of the caloric compensation scores ($COMPX_{11}$ or $COMPX_{15}$) or its

change (ΔCOMPX) with the five dimensions of the CEBQ-T, we used a Bonferroni adjustment (alpha level of 0.01 = 0.05/5 per test).

Results

Among the 69 eligible mother-infant dyads, we calculated the COMPX score for 46 infants at 11 months of age (20 females; mean age = 10.6 ± 0.3 months) and for 35 infants at 15 months of age (15 females; mean age = 14.6 ± 0.2 months). The longitudinal sample was composed of 31 infants (12 females) for whom we calculated the COMPX score at both ages. The number of individuals included for each measure in the cross-sectional analyses and the longitudinal analysis is presented in Figure 2. Infant and mother characteristics in the longitudinal sample are presented in Table 1. The reported age at the start of CF (4.9 ± 1.0 months) was in line with the age reported in a French representative cohort study (Bournez et al., 2018). A majority of mothers (*n* = 23/31) declared a rather high monthly household income of at least 2 500 €, which is above the French median income (Institut national de la statistique et des études économiques, 2017). The descriptions of the cross-sectional samples for which we obtained the COMPX score at 11 or 15 months of age (*n* = 46 and *n* = 35, respectively) are available in Supplemental Table 2. The three considered samples (the samples at 11 and 15 months of age and the longitudinal sample) show high similarity in terms of infant and maternal characteristics.

Figure 2: Flowchart showing the number of individuals for each measure.

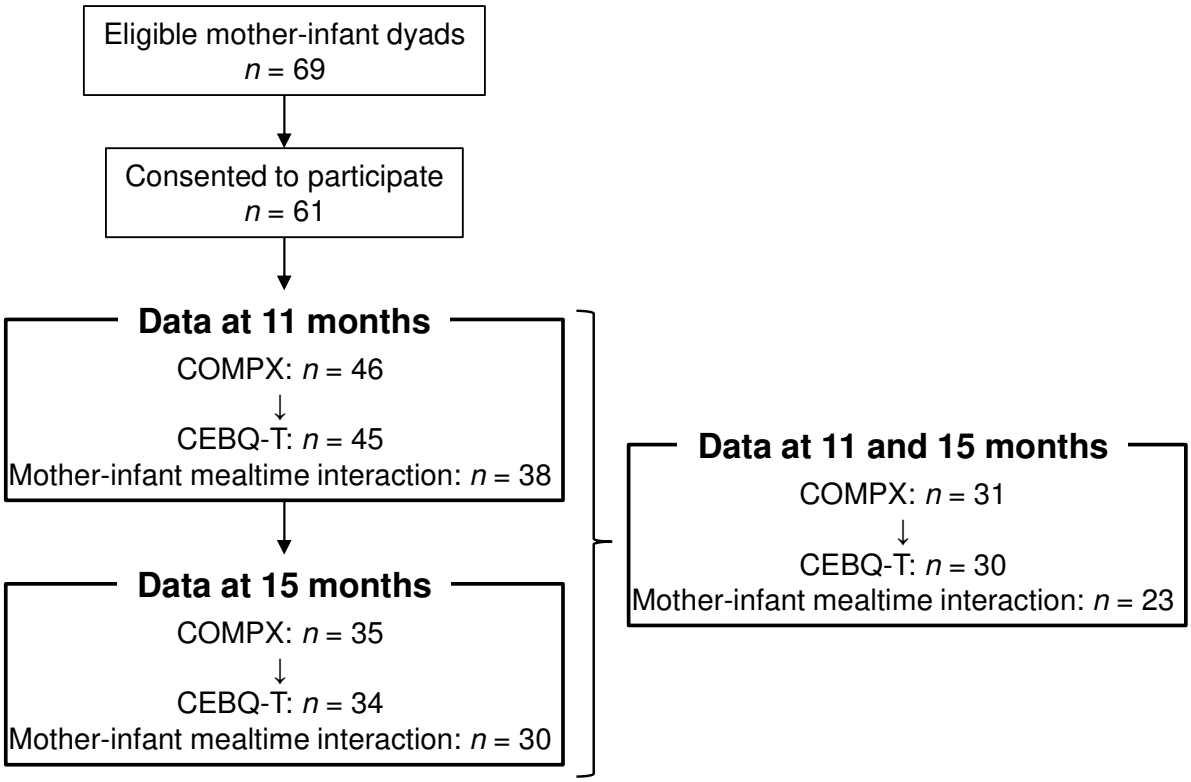


Table 1: Infant and maternal characteristics: longitudinal sample, *n* = 31 (number or mean ± SD).

Infant characteristics:	
Sex, F/M	12/19
Gestational age (weeks)	39.6 ± 1.5
Birth weight (kg)	3.4 ± 0.4
Birth z-BMI score	0.3 ± 0.9
Duration of exclusive breastfeeding (weeks)	8.5 ± 9.3
Duration of total breastfeeding (weeks)	15.8 ± 20.3
Age at the start of CF[a] (months)	4.9 ± 1.0
Maternal/familial characteristics:	
Age at the start of the study (years)	31.8 ± 4.1
Pre-pregnancy BMI (kg/m^2) (*n*)	24.8 ± 5.7 (*30*)
Post-pregnancy BMI (kg/m^2) (*n*)	25.2 ± 4.6 (*30*)
Primiparous	16
At least high-school degree	24
Married or lived with a partner	30
Monthly household income [2500 – 4500 € [	23

[a] CF: complementary feeding

Mother-infant mealtime interaction

Cross-sectional analysis

As reported in our previous study (Brugaillères et al., 2019), the mean COMPX score was 44 ± 119 % at 11 months of age and -16 ± 151 % at 15 months of age. During the laboratory test meals, the infants consumed an average of 143 ± 67 g of the puree at 11 months of age and 135 ± 56 g of the puree at 15 months of age. The weight intake of the puree was consistent over the two meals at each age (τ = 0.49, p < 0.001 and τ = 0.28, p = 0.009 at 11 and 15 months, respectively). Table 2 reports the mean values and statistical tests for meal-to-meal consistency at 11 and 15 months of age for each variable. At 11 months of age, the consumption duration, the number of spoonfuls, the spoonful weight (spoonful-wt), the time interval between two spoonfuls (dt) and the 'decrease-wt' value were consistent over the two meals ($0.27 \leq \tau \leq 0.66$, all $p < 0.05$), whereas the 'pace adaptation' and 'increase-dt' values were not (all $p > 0.05$). At 15 months of age, only the consumption duration, the spoonful weight and the time interval between two spoonfuls were consistent ($0.40 \leq \tau \leq 0.62$, all $p < 0.05$). The decrease in the spoonful weight ('decrease-wt') over the course of the consumption session was significant at 11 months of age (t (28) = -7.72, p < 0.001) and at 15 months of age (t (22) = -7.14, p < 0.001). Similarly, the increase in the time interval between two spoonfuls ('increase-dt') was significant at 11 months of age (t (28) = 4.45, p < 0.001) and at 15 months of age (t (22) = 5.17, p < 0.001). Thus, at each age, a deceleration in eating occurred as illustrated by these variables.

Table 2: Mother-infant mealtime interaction at 11 and 15 months of age

	11 months						**15 months**					
				Meal-to-meal consistency						**Meal-to-meal consistency**		
	Mean	**SD**	***n***	**τ^a**	***p*-value**	***n***	**Mean**	**SD**	***n***	**τ^a**	***p*-value**	***n***
consumption duration (min)	6.68	2.35	*38*	0.27	**0.03**	*31*	6.20	3.75	*30*	0.40	**0.005**	*21*
nb of spoonful	31.75	13.32	*38*	0.43	**< 0.001**	*32*	29.12	12.12	*30*	0.24	0.07	*21*
spoonful-wt (g)	4.62	1.16	*38*	0.66	**< 0.001**	*32*	5.26	1.08	*30*	0.44	**0.002**	*21*
dt (s)	15.69	5.30	*38*	0.36	**0.004**	*32*	13.78	3.67	*30*	0.62	**< 0.001**	*21*
'pace adaptation'	0.02	0.15	*38*	0.05	0.36	*31*	0.05	0.14	*30*	0.20	0.11	*21*
'decrease-wt' (g)	-4.81	3.36	*29*	0.41	**0.03**	*13*	-3.98	2.67	*23*	0.24	0.16	*12*
'increase-dt' (s)	2.15	2.60	*29*	0.26	0.13	*13*	2.09	1.93	*23*	-0.12	0.73	*12*

spoonful-wt: spoonful weight; dt: time interval between two spoonfuls; 'pace adaptation': Kendall correlation (τ) between dt(t) and spoonful-wt(t-1); 'decrease-wt': difference in spoonful-wt between the last and the first thirds of the consumption session; 'increase-dt': difference in dt between the last and the first thirds of the consumption session. [a]Kendall correlation between the LED and HED conditions. *p*-values presented in bold are significant.

Longitudinal analysis

As shown in Table 3, between 11 and 15 months of age, the spoonful weight (spoonful-wt) increased (t (22) = 4.45, $p < 0.001$), and the time interval between two spoonfuls (dt) decreased (t (22) = -2.25, $p = 0.035$). Moreover, the 'decrease-wt' values increased, which means that the decrease in the spoonful weight over the course of consumption is reduced (t (11) = 2.71, $p = 0.020$). In other words, between 11 and 15 months of age, the spoonful pace increased (through an increase in the average spoonful weight and a decrease in the average time interval between two spoonfuls). This change was accompanied by a weaker deceleration in eating at 15 months of age than at 11 months of age (t (11) = 2.71, $p = 0.020$). Only the spoonful weight (spoonful-wt) ($\tau = 0.41$, $p = 0.003$, $n = 23$) and the 'decrease-wt' value ($\tau = 0.55$, $p = 0.007$, $n = 12$) were positively correlated between 11 and 15 months of age (Table 3).

Table 3: Developmental changes in mother-infant mealtime interaction.

	n	**11 months**		**15 months**		**Student *t*. test[a]**		**Kendall correlation[b]**	
		Mean	**SD**	**Mean**	**SD**	***t***	***p*-value**	***τ***	***p*-value**
spoonful-wt (g)	23	4.38	0.99	5.32	1.13	4.45	**<0.001**	0.41	**0.003**
dt (s)	23	16.73	5.86	14.03	3.55	-2.25	**0.035**	0.25	0.051
'pace adaptation'	23	-0.002	0.16	0.05	0.14	1.06	0.30	-0.08	0.72
'decrease-wt' (g)	12	-6.50	4.03	-4.33	3.22	2.71	**0.020**	0.55	**0.007**
'increase-dt' (s)	12	3.01	2.47	1.86	2.34	-1.08	0.30	-0.15	0.77

spoonful-wt: spoonful weight; dt: time interval between two spoonfuls; 'pace adaptation': Kendall correlation (τ) between dt(t) and spoonful-wt(t-1); 'decrease-wt': difference in spoonful-wt between the last and the first thirds of the consumption session; 'increase-dt': difference in dt between the last and the first thirds of the consumption session. [a] bilateral paired Student's t test, [b] unilateral Kendall correlation. p-values presented in bold are significant.

Caloric compensation ability and mother-infant mealtime interaction

At 11 months of age, the mean COMPX score was 28 ± 100 % and 101 ± 116 % when the 'pace adaptation' value was below and above the median value, respectively (Table 4 and Figure 3). These values were significantly different (t (18) = -2.1, p = 0.04). Thus, at 11 months of age, the more the spoonful pace was positively linked to the spoonful weight, the better the infant caloric compensation ability. Yet, 101 ± 116 % reflects a perfect caloric adjustment. This was not observed at 15 months of age. In addition, the COMPX scores were not different when the values of 'decrease-wt' or 'increase-dt' – the two variables reflecting the deceleration in eating over the consumption session – were below or above the median at either age (Table 4).

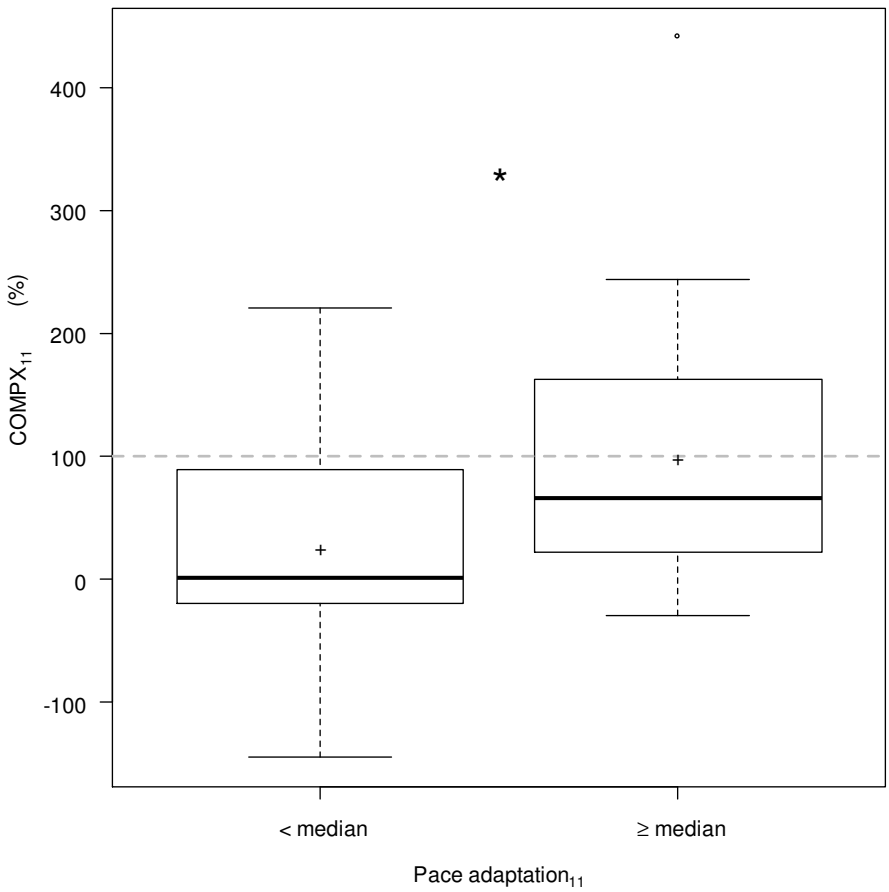
Table 4: COMPX scores according to 'pace adaptation', 'decrease-wt', 'increase-dt' at 11 and 15 months of age.

	COMPX (%)						**Student *t*.test**	
	'pace adaptation' < median			**'pace adaptation' ≥ median**			***t***	***p*-value**
	n	Mean	SD	*n*	Mean	SD		
11 months	*19*	28	100	*19*	101	116	-2.1	**0.04**
15 months	*15*	-11	168	*15*	-32	161	0.3	0.73
	'decrease-wt' < median			**'decrease-wt' ≥ median**				
	n	Mean	SD	*n*	Mean	SD		
11 months	*14*	59	111	*15*	26	85	0.91	0.37
15 months	*11*	-54	138	*12*	11	208	-0.89	0.39
	'increase-dt' < median			**'increase-dt' ≥ median**				
	n	Mean	SD	*n*	Mean	SD		
11 months	*14*	21	90	*15*	62	104	-1.15	0.26
15 months	*11*	41	168	*12*	-77	172	1.66	0.11

Unpaired Student's t test. The p-value presented in bold is significant.

Figure 3: COMPX scores according to 'pace adaptation' at 11 months of age.

'pace adaptation': Kendall correlation (τ) between dt(t) and spoonful-wt(t-1); in each boxplot, the mean COMPX score is indicated by a cross (+). The horizontal dotted line indicates the 100 % value corresponding to perfect caloric compensation. For each boxplot, the bottom and top of the box indicate the 25th and 75th percentiles, respectively, and the line within the box indicates the median. The whiskers extend from the box as far as the data extend, to a maximum distance of 1.5 × the interquartile range. Any values more extreme than this limit are marked by a small circle (°). *Unpaired *t* test, $p = 0.04$.



Infant appetitive traits

The mean values obtained at 11 and 15 months of age for all dimensions of the CEBQ-T are reported in Table 5. The changes in the dimensions of the CEBQ-T between 11 and 15 months of age are presented in Table 6. All values reported for the cross-sectional analyses

were close to those reported for the longitudinal sample (Table 5 and Table 6). All five dimensions were positively correlated between 11 and 15 months of age (Table 6) (all $p < 0.05$). Moreover, the mean scores of the FR dimension and the FF dimension significantly increased between 11 and 15 months (all $p \leq 0.01$). Thus, infants were perceived as more responsive to food and more food fussy at 15 months of age than at 11 months of age.

Table 5: Dimensions of the CEBQ-T at 11 and 15 months of age.

	11 months			**15 months**		
	Mean	**SD**	***n***	**Mean**	**SD**	***n***
FR	2.13	0.82	*42*	2.35	0.85	*32*
EF	4.20	0.58	*45*	4.15	0.61	*34*
SR	2.70	0.65	*44*	2.66	0.68	*34*
SE	2.12	0.61	*45*	2.25	0.78	*34*
FF	1.58	0.55	*45*	1.83	0.78	*34*

FR: Food responsiveness; EF: Enjoyment of food; SR: Satiety responsiveness; SE: Slowness in eating; FF: Food fussiness.

Table 6: Developmental changes in the dimensions of the CEBQ-T.

	n	**11 months**		**15 months**		**Student *t*. test**		**Kendall correlation**	
		Mean	**SD**	**Mean**	**SD**	***t*** [a]	***p*-value**	***τ*** [b]	***p*-value**
FR	*28*	2.14	0.82	2.35	0.90	2.18	**0.04**	0.67	**<0.001**
EF	*30*	4.27	0.59	4.18	0.61	-1.00	0.33	0.55	**<0.001**
SR	*30*	2.65	0.68	2.63	0.65	-0.12	0.90	0.37	**0.004**
SE	*30*	2.11	0.59	2.22	0.75	1.12	0.27	0.52	**<0.001**
FF	*30*	1.53	0.50	1.83	0.76	2.69	**0.01**	0.42	**0.001**

FR: Food responsiveness; EF: Enjoyment of food; SR: Satiety responsiveness; SE: Slowness in eating; FF: Food fussiness. [a] bilateral paired Student's *t* test, [b] unilateral Kendall correlation. *p*-values presented in bold are significant.

Caloric compensation ability and infant appetitive traits

No correlations appeared significant between the COMPX scores at 11 and 15 months of age and the dimensions of the CEBQ-T at each corresponding age (all $p > 0.01$) (Table 7).

As reported in our previous work (Brugaillères et al., 2019), for the longitudinal sample composed of 31 infants, the mean COMPX score significantly decreased between 11 and 15

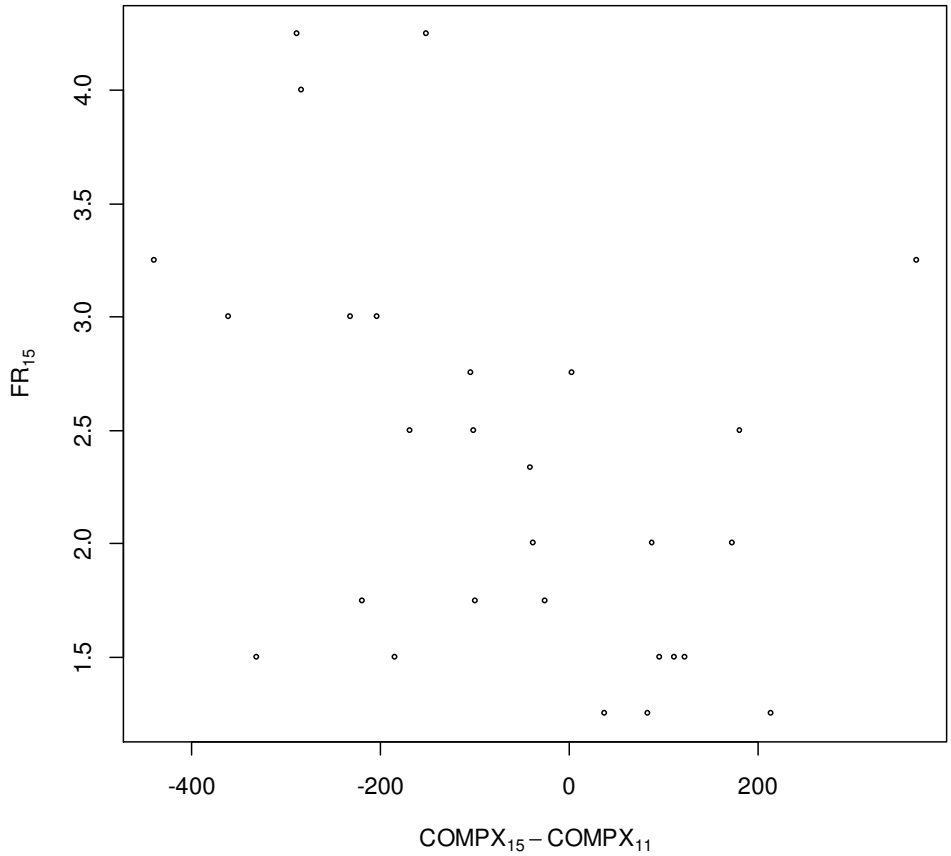
months of age (ΔCOMPX = -67 ± 190 %, unilateral *t* test, *t* (30) = -1.95, *p* = 0.03). The change in the COMPX score between 11 and 15 months of age was negatively associated with the FR dimension at 15 months of age (Table 7 and Figure 4). Thus, the more the COMPX decreased between 11 and 15 months of age, the more the infants were perceived as food responsive during this period. No other associations with the decrease in the COMPX score were significant (Table 7).

Table 7: Associations of COMPX scores and ΔCOMPX with the dimensions of the CEBQ-T.

	$COMPX_{11}$				$COMPX_{15}$				ΔCOMPX		
	n	**Kendall *τ***	***p*-value**		***n***	**Kendall *τ***	***p*-value**		***n***	**Kendall *τ***	***p*-value**
FR_{11}	42	-0.10	0.38	**FR_{15}**	32	-0.22	0.09	**FR_{15}**	28	-0.36	**0.01**
EF_{11}	45	-0.08	0.48	**EF_{15}**	34	-0.17	0.17	**EF_{15}**	30	-0.18	0.17
SR_{11}	44	-0.001	0.99	**SR_{15}**	34	0.10	0.45	**SR_{15}**	30	0.17	0.21
SE_{11}	45	-0.07	0.53	**SE_{15}**	34	0.02	0.86	**SE_{15}**	30	0.16	0.23
FF_{11}	45	0.01	0.93	**FF_{15}**	34	0.25	0.04	**FF_{15}**	30	0.27	0.04

FR: Food responsiveness; EF: Enjoyment of food; SR: Satiety responsiveness; SE: Slowness in eating; FF: Food fussiness. ΔCOMPX = $COMPX_{15}$ – $COMPX_{11}$. Unadjusted *p*-values. The *p*-value presented in bold is significant after Bonferroni adjustment.

Figure 4: Association between food responsiveness at 15 months of age and COMPX change between 11 and 15 months of age. Kendall correlation, τ = -0.36, p = 0.01, n = 28.



Discussion

This study aimed to relate the inter-individual variation in infants' caloric compensation ability at 11 and 15 months of age and its decrease between these ages to both mother-infant interaction during laboratory test meals and infant appetitive traits. Contrary to our hypothesis, the infants who were perceived as more satiety responsive did not exhibit more accurate caloric compensation ability at either age. However, we showed that the more the caloric compensation ability decreased between 11 and 15 months of age, the more the infants were perceived as food responsive between these ages. We also showed that at 11 months of age, when the spoonful weight was more positively linked to the time interval between two spoonfuls (meaning that the larger the spoonful weight was, the longer the time interval until

the next spoonful), the infants exhibited a better caloric compensation ability. Certainly, this feeding pace adaptation corresponds to a favourable practice that allows the infant to have more time to chew and swallow the food in his/her mouth when larger quantities are offered. Hence, this feeding pace adaptation might promote a longer oral-sensory exposure time, leading to a better evaluation of the caloric content and a stronger satiation response (de Graaf, 2012). There is some evidence in adults that bite size and oral-sensory exposure time could be linked to satiation (Forde, Van Kuijk, Thaler, De Graaf, & Martin, 2013). An observational study conducted on 4.5-year-old children revealed that 'slow eaters' (characterized by a long oral exposure time per gram) had lower EI during an *ad libitum* meal and lower BMI z-scores and adiposity than 'fast eaters' (Fogel et al., 2017). At 15 months of age, however, we observed that caloric compensation was not better when the pace adaptation was more favourable. Yet, as we demonstrated previously (Brugaillères et al., 2019), at 15 months of age, the infants exhibited a volumetric adjustment rather than a caloric adjustment. Thus, the volume of the eaten food had prevailed over the ED cues. As the CF process progresses, the mother, the child or both may have increasing expectations regarding the volume of food to eat independently of the ED cues. Another explanation could be that progressive exposure to a more varied diet in terms of ED occurs with age. As argued by Martin and colleagues (Martin, 2016), an increase in ED variations for the same food may disturb the ability to learn to associate flavour with energy (flavour-nutrient learning).

The description of mother-infant mealtime interaction at 11 and 15 months of age revealed meal-to-meal consistency for the majority of the variables (i.e., weight intake, consumption duration, spoonful weight and time interval between two spoonfuls). Parkinson & Drewett (K.N. Parkinson & Drewett, 2001) also reported meal-to-meal consistency for weight intake and meal duration in infants from the same age range (12-14 months) for meals at home. A kind of routine seems to settle over the progression of CF, probably until the child is able to

self-feed. In addition, at both studied ages, we observed a global deceleration (as indicated by a decrease in the spoonful weight and a decrease in the spoonful pace) over the course of consumption. To some extent, our result is in line with observational studies in older children (10-15 years old), which reported a deceleration of eating rate (g/min) at home (Llewellyn, Van Jaarsveld, Boniface, Carnell, & Wardle, 2008) or in the laboratory (Zandian et al., 2012). Nevertheless, in our study, the caloric compensation ability was not better when the deceleration of eating was greater. Given that no comparable measurements are reported in the literature for the same age range, we cannot speculate whether this association does not exist or is modest. Not surprisingly, the spoonful pace and the spoonful weight increased between 11 and 15 months of age. This finding could be linked to the infants' motor skill development and to the infants' growing desire to eat by themselves with age (Connolly & Dalgleish, 1989). The fact that the 'pace adaptation' and 'increase-dt' values were not consistent between 11 and 15 months of age indicates that these parameters of mother-infant mealtime interaction evolve at different rates for different dyads. In contrast, the average spoonful weight and 'decrease-wt' values were consistent between 11 and 15 months of age. We can suppose that the spoonful weight and its change over the course of the meal depends more on the mothers than on the infants. Indeed, the mothers' decision regarding the spoonful weight is probably quite fixed. More research is needed to understand how changes in the interaction between an infant and his/her caregiver while feeding over time affect infant food intake.

Regarding appetitive traits, the infants with better caloric compensation ability were not perceived as more satiety responsive by their mothers, regardless of age. However, the item "*My child could not eat a meal if s/he has had a snack just before*" was excluded from the calculation of the SR dimension even though this item reflects a situation similar to our caloric compensation paradigm. A complementary analysis revealed that the SR dimension

was negatively associated with weight intake and the number of spoonfuls offered at 11 and 15 months of age and with the consumption duration at 15 months of age (Supplemental Table 3). Thus, we suggest that the SR dimension refers to the notion of having a large or small appetite. In a longitudinal cohort study, mothers rated their infants' appetites on a 5-point scale ranging from 'very poor' to 'very good' at 6 weeks, at 12 months and in early childhood at 5-6 years and their children's appetitive traits at 5-6 years (CEBQ) (Kathryn N. Parkinson, Drewett, Le Couteur, & Adamson, 2010). The infants reported having a good appetite at 6 weeks, 12 months and 5-6 years and were also reported to score lower on SR at 5-6 years. Moreover, having a large or a small appetite does not rule out the possibility of having good self-regulation. The FR trait pertains to the food approach tendency, and the caloric compensation score reflects the ability to adjust EI. A novel interesting finding is that the more the caloric compensation ability decreased between 11 and 15 months of age, the more the infants were perceived as food responsive between these ages. This result is in line with Kral's theory framework (Kral et al., 2018) which states that the behavioural phenotype for obesity is underpinned by the coexistence of a weak self-regulation system and strong food seeking.

By automatically recording the weight of the bowl over the course of the meal, the connected weighing scale allowed us to objectively describe the microstructure of the mealtime episode and to describe the interaction between a caregiver and an infant in this way for the first time. This tool enabled the extraction of variables such as the weight of each spoonful or the time interval between spoonfuls, thus providing unique insights into the fine dynamics of mother-infant interaction during the meal. Indeed, studies conducted in children aged 4 to 13 years used average parameters and did not enable the exploration of temporality with a fine-grained methodology (Fogel et al., 2017; Lindgren et al., 2000; Llewellyn et al., 2008; Zandian et al., 2012). Moreover, herein, some significant associations that were observed between the

dimensions of the CEBQ-T and the variables describing mother-infant mealtime interaction (detailed results in Supplemental Table 3) give us confidence regarding the relevance of our methodology using the connected weighing scale. For example, at 11 and 15 months of age, the weight intake was negatively correlated with the SR dimension. The weight intake was also positively correlated with the EF dimension at 15 months of age. To some extent, our results are in line with those reported by Carnell and colleagues (Carnell & Wardle, 2007) when they validated some dimensions of the CEBQ against behavioural measures of eating in 4- to 5-year-old children. The authors reported that EI was negatively correlated with the SR dimension but positively correlated with the EF dimension. Here, at 11 months of age, the SE dimension was negatively associated with the consumption duration. In addition, the SE dimension was negatively associated with weight intake and the number of spoonfuls. Together, these results suggest that the number of spoonfuls offered to the infant could be a more salient cue for the mothers than the consumption duration *per se* when they assess their infant's eating rate. This observation provides new insights about the way the mothers perceive the mealtime episode. The longitudinal approach is another strength of our study.

Some potential limitations of our study should be noted. The first limitation concerns the sample size. Due to the difficulty of performing the caloric compensation measurement, our initial sample was highly reduced, as discussed elsewhere (Brugaillères et al., 2019). The automatic extraction of the data obtained through the connected weighing scale also required the removal of all non-exploitable records (for more details, see (Brugaillères et al., 2018)), thus leading to a loss of subjects for the description of mother-infant mealtime interaction. The second limitation was that we focused only on some facets of responsive feeding that were linked to the cessation of the meal. Indeed, to be responsive in feeding also means initiating the meal when the infant is hungry and not offering food to soothe the infant (Black & Aboud, 2011; Pérez-Escamilla et al., 2017). In addition, in future works, it would be

interesting to combine our approach with other methodologies, such as evaluating the frequencies of different infant cues, particularly the infant gaze towards the food (McNally et al., 2019). This area represents an avenue for further research.

Conclusions

This study provides new evidence regarding the importance of a responsive feeding style to the development of a healthy infant eating style. Through an innovative method involving a connected weighing scale, we showed that at 11 months of age, when the time interval between two spoonfuls was adapted to the spoonful weight offered, the infants exhibited a better caloric compensation ability. To date, most interventional studies on the impact of feeding guidelines concerning responsive feeding have based their evaluations on questionnaires and mainly focused on teaching parents to correctly interpret their infants' hunger and satiation cues (Pérez-Escamilla et al., 2017). Our approach provides new insights for evaluating feeding recommendations concerning responsive feeding. In addition, the content of feeding guidelines could include the notion of feeding pace adaptation. This study also revealed that the more the caloric compensation ability decreased between 11 and 15 months of age, the more the infants were perceived as food responsive between these ages. Exploring the causality of this link is important for future works.

Acknowledgements

We acknowledge the contributions of M. Bournez (M.D.) for helping us prepare the protocol for the ethics committee; S. Nicklaus for her guidance and support; F. Bouillot (ChemoSens platform) for her help in recruiting participants; J. Maratray for developing the software associated with the connected weighing scale; and V. Feyen and E. Szleper for assisting with data collection. This work was supported by grants from ANR PUNCH (ANR-15-CE21-0014); the Conseil Régional Bourgogne, Franche-Comté (PARI grant); FEDER (European Funding for Regional Economic Development); the French Society of Nutrition (SFN 2015);

and a PhD fellowship from the French Ministry for Education and Research. The funders had no role in planning, conducting, or interpreting the study.

REFERENCES

Almiron-roig, E., Vint, N., Guest, K., Ricchiuti, C., Jebb, S. A., Ellahi, B., & Drewnowski, A. (2012). Changes in energy compensation are driven by the intermeal interval and preload texture. *Appetite, 59*(2), 619. doi: 10.1016/j.appet.2012.05.038.

Bergmeier, H., Skouteris, H., & Hetherington, M. (2015). Systematic research review of observational approaches used to evaluate mother-child mealtime interactions during preschool years. *The American Journal of Clinical Nutrition, 101*(1), 7-15. doi: 10.3945/ajcn.114.092114.

Berkowitz, R. I., Moore, R. H., Faith, M. S., Stallings, V. A., Kral, T. V., & Stunkard, A. J. (2010). Identification of an obese eating style in 4-year-old children born at high and low risk for obesity. *Obesity, 18*(3), 505-512.

Birch, L. L., & Deysher, M. (1985). Conditioned and unconditioned caloric compensation: evidence for self regulation of food intake in young children. *Learning and Motivation, 16*, 341-355.

Black, M. M., & Aboud, F. E. (2011). Responsive feeding Is embedded in a theoretical framework of responsive parenting. *The Journal of nutrition, 141*(3), 490-494. doi: 10.3945/jn.110.129973

Blundell, J., De Graaf, C., Hulshof, T., Jebb, S., Livingstone, B., Lluch, A., Mela, D., Salah, S., Schuring, E., & Van Der Knaap, H. (2010). Appetite control: methodological aspects of the evaluation of foods. *Obesity reviews, 11*(3), 251-270.

Bournez, M., Ksiazek, E., Wagner, S., Kersuzan, C., Tichit, C., Gojard, S., Thierry, X., Charles, M. A., Lioret, S., & de Lauzon-Guillain, B. (2018). Factors associated with the introduction of complementary feeding in the French ELFE cohort study. *Maternal & child nutrition, 14*(2), e12536.

Brugaillères, P., Chabanet, C., Issanchou, S., & Schwartz, C. (2018). *Combining two observational methods to describe mealtime episodes in mother-infant dyads during complementary feeding* Paper presented at the Measuring Behavior 2018, 11th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research, Manchester (https://www.measuringbehavior.org/files/2018/Proceedings%20MB2018%20with%20TOC.pdf).

Brugaillères, P., Issanchou, S., Nicklaus, S., Chabanet, C., & Schwartz, C. (2019). Caloric compensation in infants: developmental changes around the age of 1 year and associations with anthropometrics up to 2 years. *American Journal of Clinical Nutrition, [Epub ahead of print]*. doi: 10.1093/ajcn/nqy357.

Carnell, S., & Wardle, J. (2007). Measuring behavioural susceptibility to obesity: Validation of the child eating behaviour questionnaire. *Appetite, 48*(1), 104-113.

Caton, S. J., Blundell, P., Ahern, S. M., Nekitsing, C., Olsen, A., Møller, P., Hausner, H., Remy, E., Nicklaus, S., Chabanet, C., Issanchou, S., & Hetherington, M. M. (2014). Learning to eat vegetables in early life: the role of timing, age and individual eating traits. *Plos One, 9*(5), e97609. doi: 10.1371/journal.pone.0097609.

Connolly, K., & Dalgleish, M. (1989). The emergence of a tool-using skill in infancy. *Developmental Psychology, 25*(6), 894.

de Graaf, C. (2012). Texture and satiation: the role of oro-sensory exposure time. *Physiology & Behavior, 107*(4), 496-501.

DiSantis, K. I., Hodges, E. A., Johnson, S. L., & Fisher, J. O. (2011). The role of responsive feeding in overweight during infancy and toddlerhood: a systematic review. *International Journal of Obesity, 35*(4), 480-492. doi: 10.1038/ijo.2011.3.

Dupuy, A. (2017). La division sexuelle du travail alimentaire: qu'est-ce qui change? In F. Dubet (Ed.), *Que manger ? Pratiques, normes et conflits alimentaires* (pp. 164-175). Paris: La Découverte, Fondation pour les sciences sociales.

Fogel, A., Fries, L. R., McCrickerd, K., Goh, A. T., Quah, P. L., Chan, M. J., Toh, J. Y., Chong, Y.-S., Tan, K. H., Yap, F., Shek, L. P., Meaney, M. J., Broekman, B. F. P., Lee, Y. S., Godfrey, K. M., Fong Chong, M. F., & Forde, C. G. (2018). Oral processing behaviours that promote children's energy intake are associated with parent-reported appetitive traits: Results from the GUSTO cohort. *Appetite, 126*, 8-15. doi: https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.03.011.

Fogel, A., Goh, A. T., Fries, L. R., Sadananthan, S. A., Velan, S. S., Michael, N., Tint, M.-T., Fortier, M. V., Chan, M. J., & Toh, J. Y. (2017). Faster eating rates are associated with higher energy intakes during an ad libitum meal, higher BMI and greater adiposity among 4· 5-year-old children: results from the growing up in Singapore towards healthy outcomes (GUSTO) cohort. *British Journal of Nutrition, 117*(7), 1042-1051.

Forde, C., Van Kuijk, N., Thaler, T., De Graaf, C., & Martin, N. (2013). Oral processing characteristics of solid savoury meal components, and relationship with food composition, sensory attributes and expected satiation. *Appetite, 60*, 208-219.

He, Q., Ding, Z., Fong, D., & Karlberg, J. (2000). Risk factors of obesity in preschool children in China: a population-based case–control study. *International Journal of Obesity & Related Metabolic Disorders, 24*(11), 1528.

Herle, M., Fildes, A., van Jaarsveld, C., Rijsdijk, F., & Llewellyn, C. H. (2016). Parental reports of infant and child eating behaviors are not affected by their beliefs about their twins' zygosity. *Behavior genetics, 46*(6), 763-771.

Hurley, K. M., Cross, M. B., & Hughes, S. O. (2011). A systematic review of responsive feeding and child obesity in high-income countries. *The Journal of nutrition, 141*(3), 495-501. doi: 10.3945/jn.110.130047.

Institut national de la statistique et des études économiques. (2017, Version 12 September 2017). Revenu disponible par ménage en 2015 (Household disposable income in 2015). Retrieved 19 May, 2018, from https://www.insee.fr/fr/statistiques/2411341.

Johnson, S. L., & Birch, L. L. (1994). Parents' and children's adiposity and eating style. *Pediatrics, 94*(5), 653-661.

Kral, T., Moore, R., Chittams, J., Jones, E., O'Malley, L., & Fisher, J. (2018). Identifying behavioral phenotypes for childhood obesity. *Appetite, 127*, 87-96.

Lindgren, A. C., Barkeling, B., Hägg, A., Ritzén, E. M., Marcus, C., & Rössner, S. (2000). Eating behavior in Prader-Willi syndrome, normal weight, and obese control groups. *The Journal of pediatrics, 137*(1), 50-55.

Llewellyn, C. H., Van Jaarsveld, C. H., Boniface, D., Carnell, S., & Wardle, J. (2008). Eating rate is a heritable phenotype related to weight in children. *The American Journal of Clinical Nutrition, 88*(6), 1560-1566.

Martin, A. A. (2016). Why can't we control our food intake? The downside of dietary variety on learned satiety responses. *Physiology & Behavior, 162*, 120-129. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.04.010.

McNally, J., Hugh-Jones, S., Caton, S., Vereijken, C., Weenen, H., & Hetherington, M. (2016). Communicating hunger and satiation in the first 2 years of life: a systematic review. *Maternal & child nutrition, 12*(2), 205-228. doi: 10.1111/mcn.12230.

McNally, J., Hugh-Jones, S., Caton, S., Vereijken, C., Weenen, H., & Hetherington, M. M. (2019). The eyes have it: Infant gaze as an indicator of hunger and satiation. *Appetite, 133*, 353-361. doi: doi: https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.11.026.

Okubo, H., Miyake, Y., Sasaki, S., Tanaka, K., & Hirota, Y. (2017). Rate of eating in early life is positively associated with current and later body mass index among young

Japanese children: the Osaka Maternal and Child Health Study. *Nutrition Research, 37*, 20-28. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.nutres.2016.11.011.

Parkinson, K. N., & Drewett, R. F. (2001). Feeding behaviour in the weaning period. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 42*(7), 971-978.

Parkinson, K. N., Drewett, R. F., Le Couteur, A. S., & Adamson, A. J. (2010). Do maternal ratings of appetite in infants predict later Child Eating Behaviour Questionnaire scores and body mass index? *Appetite, 54*(1), 186-190.

Pérez-Escamilla, R., Segura-Pérez, S., & Lott, M. (2017). Feeding guidelines for infants and young toddlers: a responsive parenting approach. *Nutrition Today, 52*(5), 223-231.

Pesch, M. H., & Lumeng, J. C. (2017). Methodological considerations for observational coding of eating and feeding behaviors in children and their families. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 14*(1), 170.

Remy, E., Issanchou, S., Chabanet, C., Boggio, V., & Nicklaus, S. (2015). Impact of adiposity, age, sex and maternal feeding practices on eating in the absence of hunger and caloric compensation in preschool children. *International Journal of Obesity, 39*(6), 925-930. doi: 10.1038/ijo.2015.30.

Schwartz, C., Madrelle, J., Brignot, H., Delarue, J., Cuvelier, G., Nicklaus, S., Feron, G., & Tournier, C. (2018). Acceptance of added fat to first complementary feeding purees: an exploration of fat type, feeding history and saliva composition. *Appetite, 131*, 160-168.

Shloim, N., Shafiq, I., Blundell-Birtill, P., & Hetherington, M. (2018). Infant hunger and satiety cues during the first two years of life: Developmental changes of within meal signalling. *Appetite, 128*, 303-310.

Ventura, A. K., & Mennella, J. A. (2016). An experimental approach to study individual differences in infants' intake and satiation behaviors during bottle-feeding. *Childhood Obesity, 13*(1), 44-52. doi: 10.1089/chi.2016.0122

Wardle, J., Guthrie, C. A., Sanderson, S., & Rapoport, L. (2001). Development of the Children's Eating Behaviour Questionnaire. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 42*(7), 963-970.

Westerterp-Plantenga, M. (2000). Eating behavior in humans, characterized by cumulative food intake curves—a review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 24*(2), 239-248.

Worobey, J., Islas Lopez, M., & Hoffman, D. J. (2009). Maternal behavior and infant weight gain in the first year. *Journal of Nutrition Education and Behavior, 41*(3), 169-175.

Zandian, M., Ioakimidis, I., Bergström, J., Brodin, U., Bergh, C., Leon, M., Shield, J., & Södersten, P. (2012). Children eat their school lunch too quickly: an exploratory study of the effect on food intake. *BMC Public Health, 12*(1), 351.

SUPPLEMENTAL TABLE 1

French version of the CEBQ-T used in the study

	Order of item presentation
FR	
Mon enfant demandait toujours à manger	12
Si je lui permettais, mon enfant mangeait trop	14
Si mon enfant avait le choix, il/elle mangeait presque tout le temps	19
Même lorsque mon enfant était rassasié(e), il/elle trouvait toujours de la place pour manger sa nourriture préférée	28
EF	
Mon enfant aimait beaucoup manger	1
Mon enfant appréciait la nourriture	5
Mon enfant attendait l'heure du repas avec impatience	9
Mon enfant prenait plaisir à manger	22
SR	
Mon enfant avait bon appétit *(reversed)*	3
Mon enfant ne pouvait pas manger son repas lorsqu'il venait juste d'avoir mange un snack*	6
A la fin du repas, mon enfant laissait toujours de la nourriture dans son assiette	17
Mon enfant était rassasié(e) avant la fin du repas	21
Mon enfant était rassasié(e) facilement	30
SE	
Mon enfant terminait ses repas rapidement *(reversed)*	4
Mon enfant mangeait lentement	8
Mon enfant prenait plus de 30 minutes pour finir son repas	18
Mon enfant mangeait de plus en plus lentement tout au long du repas	27
FF	
La première réaction de mon enfant était de refuser de goûter à tout aliment inconnu	7
Mon enfant aimait bien manger des aliments très variés *(reversed)*	16
Mon enfant aimait goûter à de nouveaux aliments *(reversed)*	20
Mon enfant refusait de manger certains aliments (ex : légumes, viande)	23
Il était difficile de trouver un menu qui plaise à mon enfant	24
Mon enfant décidait qu'il/elle n'aimait pas un aliment, avant même d'y avoir goûté	26
Mon enfant aimait goûter à des aliments auxquels il/elle n'avait jamais goûté avant *(reversed)*	31
EOE**	
Mon enfant mangeait davantage quand il/elle était en colère	2
Mon enfant mangeait davantage quand il/elle était grognon(e)	13
Mon enfant mangeait davantage quand il/elle était contrarié(e)	15
EX**	
Mon enfant voulait manger (tendait la main, demandait) lorsqu'il/elle sentait l'odeur de certains aliments	10
Mon enfant voulait manger (tendait la main, demandait) lorsqu'il/elle	11

voyait certains aliments	
Mon enfant mangeait plus que d'habitude s'il/elle aimait vraiment le goût de l'aliment	25
Mon enfant voulait manger (tendait la main, demandait) lorsqu'il/elle voyait d'autres personnes en train de manger	29

FR: Food responsiveness; EF: Enjoyment of food; SR: Satiety responsiveness; SE: Slowness in eating; FF: Food fussiness; EOE: Emotional over-eating; EX: External food cue responsiveness. *Due to a high number of missing values, this item was excluded from the analysis. **These dimensions were not taken into account in this paper.

SUPPLEMENTAL TABLE 2

Infants and maternal characteristics: cross-sectional samples (number or mean ± SD).

	11 months (*n* = 46)	**15 months (*n* = 35)**
Infant characteristics:		
Sex, F/M	20/26	15/20
Gestational age (weeks)	39.8 ± 1.4	39.6 ± 1.5
Birth weight (kg)	3.6 ± 0.4	3.4 ± 0.4
Birth z-BMI score	0.4 ± 0.9	0.3 ± 0.9
Duration of exclusive breastfeeding (weeks)	8.6 ± 9.0	8.1 ± 9.0
Duration of total breastfeeding (weeks)	15.9 ± 19.7	14.8 ± 19.4
Age at the start of CF[a] (months)	4.9 ± 0.9	5.0 ± 1.0
Maternal/familial characteristics:		
Age at the start of the study (years)	32.5 ± 5.0	32.1 ± 4.0
Pre-pregnancy BMI (kg/m^2) (*n*)	24.3 ± 5.0 (*45*)	24.6 ± 5.4 (*34*)
Post-pregnancy BMI (kg/m^2) (*n*)	24.9 ± 4.2 (*44*)	25.0 ± 4.4 (*34*)
Primiparous	24	19
At least high-school degree	36	27
Married or lived with a partner	45	34
Monthly household income [2500 – 4500 € [	35	25

[a] CF: complementary feeding

SUPPLEMENTAL TABLE 3

Kendall correlations (τ) between the dimensions of the CEBQ-T and five variables describing the puree consumption at 11 and 15 months.

	FR	**EF**	**SR**	**SE**	**FF**
11 months	*n* = 35	*n* = 38	*n* = 37	*n* = 38	*n* = 38
weight intake (g)	0.19	0.16	**-0.36**	**-0.40**	-0.11
consumption duration (min)	0.05	0.16	-0.21	**-0.28**	-0.04
nb of spoonful	0.14	0.15	**-0.28**	**-0.27**	-0.11
spoonful-wt (g)	-0.002	0.09	-0.08	-0.18	-0.07
dt (s)	-0.18	-0.006	0.06	0.10	0.03
15 months	*n* = 27	*n* = 29	*n* = 29	*n* = 29	*n* = 29
weight intake (g)	0.14	**0.35**	**-0.32**	-0.24	-0.09
consumption duration (min)	0.12	**0.34**	**-0.32**	-0.22	-0.19
nb of spoonful	0.13	**0.40**	**-0.39**	-0.26	-0.22
spoonful-wt (g)	0.02	-0.21	0.20	0.02	**0.30**
dt (s)	-0.22	-0.13	0.07	0.09	0.05

FR: Food responsiveness; EF: Enjoyment of food; SR: Satiety responsiveness; SE: Slowness in eating; FF: Food fussiness; spoonful-wt: spoonful weight; dt: time interval between two spoonfuls. Values are Kendall's τ coefficient. Values presented in bold are significant with $p < 0.05$.

CHAPITRE 6

Discussion générale

Ce travail de thèse avait pour objectifs de 1/ décrire les changements développementaux des capacités d'ajustement énergétique des nourrissons entre 11 et 15 mois et 2/ d'identifier certains facteurs liés aux différences interindividuelles des capacités d'ajustement énergétique. Pour répondre à ce deuxième objectif, nous avons exploré l'influence *i)* des caractéristiques individuelles des nourrissons (sexe, poids de naissance, z-score d'IMC et son évolution jusqu'aux 24 mois), *ii)* de l'alimentation lactée et diversifiée et *iii)* du fonctionnement de la dyade mère-nourrisson au cours du repas.

Les principaux résultats que nous retiendrons et discuterons sont les suivants :

- Contrairement à l'idée largement répandue que les nourrissons savent parfaitement ajuster leur prise énergétique, nous avons montré qu'à 11 et 15 mois, les nourrissons sous-compensent leur prise énergétique à la suite de l'ingestion d'un aliment pré-charge plus ou moins calorique. En d'autres termes, ils ne réduisent pas suffisamment les quantités qu'ils consomment à la suite de l'ingestion d'un aliment pré-charge plus calorique.
- À chaque âge, il existe une grande variabilité interindividuelle des capacités d'ajustement énergétique : certains nourrissons ajustent mieux leur prise énergétique que d'autres.
- À 11 comme à 15 mois, et contrairement à notre hypothèse, les capacités d'ajustement énergétique ne sont pas liées à la dimension 'satiety responsiveness' du questionnaire psychométrique CEBQ-T. Ainsi, les nourrissons qui ont de meilleures capacités d'ajustement énergétique ne sont pas perçus par leur mère comme étant plus sensibles à leurs signaux internes de rassasiement.
- À l'âge de 11 mois, les nourrissons ont de meilleures capacités d'ajustement énergétique lorsque le rythme des cuillerées diminue quand le contenu des cuillerées augmente (i.e., plus le contenu de la cuillerée offerte est important, plus le délai avant la prochaine cuillerée est long).
- Il n'existe pas de lien entre la variabilité de densité énergétique pour les recettes à base de carotte auxquelles les nourrissons sont exposés entre 8 et 11 mois et les capacités d'ajustement énergétique à l'âge de 11 mois.
- Contrairement à notre hypothèse, les nourrissons ayant été allaités plus longtemps n'ont pas de meilleures capacités d'ajustement énergétique, que ce soit à 11 ou à 15 mois.

- En accord avec notre hypothèse, les capacités d'ajustement énergétique se détériorent de 11 à 15 mois.
- À 15 mois, la sous-compensation correspond à un ajustement volumétrique. Quel que soit l'apport calorique de l'aliment pré-charge, les nourrissons consomment la même quantité lors de la prise alimentaire qui suit.
- La détérioration des capacités d'ajustement énergétique de 11 à 15 mois est associée à :

  - un score plus élevé pour la dimension 'food responsiveness' du CEBQ-T pendant cette période : les nourrissons sont perçus par leur mère comme étant plus 'attirés' par la nourriture
  - une augmentation du z-score d'IMC de 11 à 15 mois
  - un z-score d'IMC plus élevé à 24 mois
- Il existe une association négative entre la variablité de densité énergétique des recettes de légumes consommées entre 8 et 11 mois et le z-score d'IMC à 8 et à 11 mois.

Ce travail de thèse se distingue par la mise en place d'approches innovantes. Pour répondre à nos objectifs, nous avons développé une mesure de compensation calorique adaptée aux nourrissons, une méthode objective permettant de décrire la microstructure du repas ainsi qu'un questionnaire ayant pour but d'évaluer l'exposition des nourrissons à de la variabilité en termes de densité énergétique.

Plusieurs éléments nous permettent d'être confiants quant à la qualité des données recueillies. Tout d'abord, nous retrouvons des valeurs du même ordre de grandeur entre l'énergie ingérée que nous avons mesurée (au laboratoire lors de la mesure de compensation calorique ou via les relevés de consommation sur 24 h) et l'énergie ingérée rapportée dans la littérature pour des nourrissons de cette tranche d'âge (Chouraqui, Tavoularis, Simeoni, Ferry, & Turck, 2019). Par ailleurs, la mesure de compensation calorique à court terme (à l'échelle d'un seul repas) semble être une mesure pertinente pour évaluer les capacités d'ajustement énergétique des nourrissons. Alors que certains travaux basés sur des relevés de consommation mettent en évidence que l'ajustement énergétique peut se faire sur plusieurs repas à l'échelle de la journée (Birch, Johnson, Andresen, Peters, & Schulte, 1991; Pearcey & De Castro, 1997; Shea, Stein, Basch, Contento, & Zybert, 1992), nous avons montré qu'à 11

et 15 mois, l'ajustement énergétique à court terme n'est pas significativement différent de l'ajustement énergétique mesuré sur l'ensemble des prises alimentaires au cours des 24 h suivant la consommation de la pré-charge. La collecte et l'analyse de relevés de consommation étant chronophages et fastidieuses à la fois pour le parent et l'expérimentateur, ce résultat est particulièrement intéressant d'un point de vue méthodologique. Les associations significatives que nous retrouvons entre les quantités ingérées et certaines dimensions du CEBQ-T font écho aux données rapportées dans la littérature chez des enfants (Carnell & Wardle, 2007). Par exemple, nous avons observé que les quantités ingérées sont négativement corrélées à la dimension 'satiety responsiveness' à 11 et 15 mois, et positivement corrélées à la dimension 'enjoyment of food' à 15 mois.

Pour décrire la miscrostructure du repas, nous avons utilisé une méthode combinant des enregistrements vidéo et une balance connectée. Cette méthode nous a permis d'extraire des variables telles que le contenu de chaque cuillerée ou l'intervalle de temps entre chaque cuillerée et ainsi de décrire pour la première fois la dynamique fine du repas chez des nourrissons nourris par un adulte. En général, la description de la microstructure du repas chez l'enfant se fait par l'évaluation de paramètres moyens telle que la taille moyenne des bouchées, obtenue en divisant la quantité totale ingérée par le nombre de bouchées mais sans mesurer la taille de chaque bouchée (Fogel, Goh, Fries, Sadananthan, Velan, Michael et al., 2017a; Lindgren, Barkeling, Hägg, Ritzén, Marcus, & Rössner, 2000; Llewellyn, Van Jaarsveld, Boniface, Carnell, & Wardle, 2008; Zandian, Ioakimidis, Bergström, Brodin, Bergh, Leon et al., 2012). Nous avons observé que de nombreux paramètres tels que les quantités ingérées, la durée du repas, le contenu des cuillerées ou encore le délai entre deux cuillerées étaient consistants d'un repas à l'autre pour un âge donné, ce qui suggère qu'il existerait un pattern d'interaction relativement stable entre la mère et l'enfant. L'étude observationnelle de Parkinson & Drewett (2001) rapporte également une consistance inter-repas pour les quantités ingérées et la durée du repas chez des nourrissons de 12 à 14 mois.

Enfin, quant au questionnaire que nous avons développé, il nous a permis de décrire pour la première fois l'exposition des nourrissons à de la variabilité de densité énergétique en prenant en compte les détails culinaires des recettes (ex : spécifique bébé ou non, avec ou sans ajout d'ingrédient, nature des ingrédients ajoutés, etc.) réellement consommées par les nourrissons entre 8 et 11 mois. Bien qu'il n'existe pas d'outil comparable dans la littérature, les données extraites de ce questionnaire semblent cohérentes. Nous avons par exemple mis

en évidence que les parents n'ajoutaient que très rarement des ingrédients caloriques dans les recettes du commerce spécifiques bébés, ce qui a par ailleurs été montré dans la cohorte française ELFE (Bournez, Ksiazek, Charles, Lioret, Brindisi, de Lauzon-Guillain et al., 2019).

1. Description des capacités d'ajustement énergétique à 11 et 15 mois et facteurs liés aux différences interindividuelles

La majorité des travaux (pour la plupart basés sur des relevés de consommation) avance que les nourrissons sains sont capables d'ajuster parfaitement ou en partie leur prise énergétique. Nous avons montré, par une mesure expérimentale de compensation calorique, qu'à 11 et 15 mois, l'ajustement est partiel et très variable d'un individu à l'autre. Cet ajustement partiel correspond à une sous-compensation calorique : les nourrissons ingèrent au total (pré-charge + repas) significativement plus d'énergie lorsque la pré-charge est plus énergétique. À 11 mois, le COMPX moyen observé est de 44%. Nous n'avons que peu d'éléments de comparaison dans la littérature : l'unique étude ayant utilisé le paradigme de compensation calorique chez des nourrissons sains d'un âge similaire (18 mois) rapporte un COMPX moyen de 102%, traduisant un ajustement énergétique parfait (Kasese-Hara, Wright, & Drewett, 2002). Les comparaisons doivent cependant rester prudentes compte tenu des différences méthodologiques : dans l'étude de Kasese-Hara (2002), la pré-charge était une boisson sucrée (plus ou moins calorique du fait d'une dilution) dont la consommation n'était pas fixée et la mesure était réalisée au domicile familial. À l'âge de 15 mois, le COMPX moyen observé est de -16%, ce qui correspond à un ajustement volumétrique : les nourrissons ingèrent au total (pré-charge + repas) des quantités similaires quel que soit l'apport énergétique de la pré-charge. Cette 'stratégie volumétrique' sera discutée dans la deuxième partie de ce chapitre. De façon intéressante, nous avons montré qu'à 11 et 15 mois, l'ajustement énergétique à court terme ne diffère pas de l'ajustement énergétique mesuré sur de plus longues périodes, soit 12 et 24 h après la consommation de la pré-charge. Ainsi, l'ajustement énergétique n'est pas meilleur en prenant en considération de plus longues périodes.

Les grandes variations interindividuelles des capacités d'ajustement énegétique que nous avons observées aux 11 et 15 mois soulignent que certains nourrissons ajustent mieux leur prise énergétique que d'autres. Outre les facteurs génétiques, qui peuvent en partie déterminer ces différences (mais que nous n'avons pas explorés dans notre étude), nous avons

mis en évidence l'implication de facteurs relatifs au fonctionnement de la dyade mère-nourrisson. En revanche, nous n'avons pas observé de liens entre les capacités d'ajustement énergétique et les expériences alimentaires passées des nourrissons (alimentation lactée et diversifiée).

Pour étudier le fonctionnement de la dyade mère-nourrisson nous avons décrit la microstructure des repas pris au laboratoire. Nous avons mis en évidence qu'à 11 mois, les nourrissons ont de meilleures capacités d'ajustement énergétique lorsque le rythme des cuillerées est adapté au contenu des cuillerées (i.e., plus le contenu de la cuillerée offerte est important, plus le délai avant la prochaine cuillerée est long). Nous suggérons que cette dynamique d'interaction est une situation favorable reflétant un nourrissage réceptif. Cependant, nos données ne nous permettent pas de savoir dans quelle mesure cette adaptation du rythme des cuillerées est davantage liée au comportement de la mère, ou du nourrisson, ou des deux membres de la dyade. Néanmoins, il est très probable que cette adaptation du rythme des cuillérées au contenu des cuillerées permette au nourrisson d'avoir plus de temps pour mâcher et avaler l'aliment lorsque la quantité offerte est plus importante. Ainsi, cette adaptation du rythme favoriserait un temps d'exposition oral approprié permettant au nourrisson de mieux évaluer la charge calorique et donc de mieux répondre à ses signaux internes de rassasiement. Dans une certaine mesure, ces résultats peuvent être mis en parallèle des résultats obtenus lors des repas (individuels) *ad libitum* filmés dans l'étude GUSTO chez l'enfant de 4-5 ans : les 'mangeurs lents' qui gardent plus longtemps les aliments en bouche ingèrent moins d'énergie que les 'mangeurs rapides' (Fogel, Goh, Fries, Sadananthan, Velan, Michael et al., 2017a). Ces 'mangeurs lents' ont aussi un statut pondéral moins élevé. Dans notre étude, nous avons tenté d'explorer la variation de la vitesse de consommation au cours du repas en évaluant la variation du rythme des cuillérées et la variation du contenu des cuillerées entre le 1er et le dernier tiers du repas. Nous espérions relier une décélération du rythme de nourrissage aux capacités d'ajustement énergétique. Nous avons mis en évidence qu'à 11 et 15 mois, il existe bien une décélération de la consommation au cours du repas (qui se traduit par une diminution du rythme des cuillerées et du contenu des cuillerées). Néanmoins, cette décélération n'est pas significativement associée aux capacités d'ajustement énergétique. Compte tenu de l'absence d'étude comparable dans la littérature, il reste délicat de dire si cette association existe ou n'est que modeste et donc difficile à mettre en évidence.

En utilisant le questionnaire CEBQ-T, nous avons exploré un autre aspect du fonctionnement de la dyade mère-nourrisson, cette fois en évaluant la perception que la mère a du comportement alimentaire de son bébé. À 11 comme à 15 mois, et contrairement à notre hypothèse, les nourrissons qui ont de meilleures capacités d'ajustement énergétique ne sont pas perçus par leur mère comme étant plus sensibles à leurs signaux internes de rassasiement (évalué par la dimension 'satiety responsiveness' du CEBQ-T). Alors que la dimension 'satiety responsiveness' est considérée comme le pendant de la mesure de compensation calorique dans la littérature, nous suggérons que cette dimension reflèterait davantage le fait que l'individu ait un 'petit' ou un 'gros' appétit. En effet, parmi les items qui composent la dimension 'satiety responsiveness' nous retrouvons par exemple '*Mon enfant a bon appétit*', '*À la fin du repas, mon enfant laisse toujours de la nourriture dans son assiette*', '*Mon enfant est rassasié avant la fin du repas*'. Ainsi, d'après nos données, avoir un 'gros' appétit ne serait pas nécessairement incompatible avec le fait d'être réactif à ses signaux internes de rassasiement tel que mesuré avec le paradigme de compensation calorique. En cohérence avec notre résultat, Carnell & Wardle (2007) n'ont pas retrouvé de lien significatif entre la dimension 'satiety responsiveness' et la mesure de compensation calorique dans leur étude visant à valider le CEBQ par des mesures comportementales chez l'enfant de 4-5 ans. En revanche, les auteures rapportent que la vitesse de consommation et l'énergie ingérée sont négativement associées à la dimension 'satiety responsiveness', et positivement associées aux dimensions 'food responsiveness' et 'enjoyment of food' (Carnell & Wardle, 2007). Les auteures suggèrent par ailleurs que l'énergie ingérée serait le meilleur indicateur de la dimension 'satiety responsiveness', ce qui va dans le sens de notre hypothèse selon laquelle cette dimension reflèterait les 'petits' et 'gros' appétits. D'ailleurs, dans notre étude, la dimension 'satiety responsiveness' est aussi négativement corrélée à l'énergie moyenne totale (pré-charge + repas) ingérée sur les 2 repas (jours FDE et HDE) à l'âge de 15 mois[14]. Par ailleurs à 15 mois, nous retrouvons une association positive entre l'énergie moyenne totale ingérée et la dimension 'enjoyment of food'[15]. À 11 mois, l'énergie moyenne totale ingérée

[14] Corrélation de Kendall entre l'énergie moyenne totale ingérée à 15 mois et la dimension 'satiety responsiveness' : $\tau = -0.37$, $p < 0.01$ (résultat non rapporté dans le manuscrit)
[15] Corrélation de Kendall entre l'énergie moyenne totale ingérée à 15 mois et la dimension 'enjoyment of food' : $\tau = 0.40$, $p = 0.003$ (résultat non rapporté dans le manuscrit)

est négativement associée à la dimension 'slowness in eating'[16]. De plus, les 5 dimensions du CEBQ-T que nous avons étudiées ('satiety responsiveness', 'slowness in eating', 'food fussiness', 'food responsiveness' et 'enjoyment of food') sont positivement corrélées entre 11 et 15 mois. Ainsi, nous suggérons que les dimensions du CEBQ-T reflètent des comportements relativement stables, en lien avec le pattern de consommation habituel 'moyen' de l'individu, plutôt que des comportements manifestés lors d'une situation particulière (notamment face à un aliment pré-charge plus ou moins calorique).

Dans notre travail, aucun lien entre les capacités d'ajustement énergétique et l'expérience alimentaire n'a été mis en évidence. Selon la théorie de Martin (2016), les inconsistances flaveur-nutriment pour un aliment donné auraient un effet délétère sur les capacités d'ajustement énergétique lorsque l'individu est face à cet aliment. Pour la première fois, nous avons exploré cette question chez les nourrissons. L'aliment pré-charge de notre paradigme de compensation calorique étant une purée de carotte, nous avons décrit l'exposition des nourrissons à la variabilité de densité énergétique pour les recettes à base de carotte, en tant qu'indicateur de possibles inconsistances flaveur-nutriment pour cet aliment. Nos données montrent que la variabilité de densité énergétique des recettes à base de carotte consommées entre 8 et 11 mois n'est pas significativement associée aux capacités d'ajustement énergétique à l'âge de 11 mois. Ce résultat contraste avec celui obtenu chez l'adulte. Il a en effet été montré que plus les adultes sont exposés à de la variabilité de densité énergétique pour la pizza pepperoni, moins ils ajustent correctement leur prise énergétique lors d'un repas *ad libitum* après avoir consommé une part de pizza pepperoni (Hardman, Ferriday, Kyle, Rogers, & Brunstrom, 2015). Notons cependant que dans notre étude, la variabilité de densité énergétique à laquelle les nourrissons sont exposés pour la carotte est de 12.0 ± 12.5 kcal/100 g. Dans notre paradigme de compensation calorique, nous avons fait varier la densité énergétique de la pré-charge de 65 kcal/100 g entre les conditions FDE et HDE. Cette variation de densité énergétique est donc bien plus élevée que celle à laquelle les nourrissons de notre étude sont habituellement exposés. La variabilité de densité énergétique pour la carotte à laquelle les nourrissons de notre étude sont exposés au quotidien n'est peut-être pas suffisante pour perturber leurs capacités d'ajustement énergétique. Par ailleurs, la

[16] Corrélation de Kendall entre l'énergie moyenne totale ingérée à 11 mois et la dimension 'slowness in eating': $\tau = -0.34$, $p = 0.01$ (résultat non rapporté dans le manuscrit)

variabilité de densité énergétique à laquelle les nourrissons sont exposés pour la carotte est bien moindre que celle à laquelle les adultes sont exposés pour la pizza pepperoni (271 ± 167 kcal/taille de portion consommée). De plus, nous suggérons que les différences de résultats observées entre les adultes et les nourrissons pourraient aussi être liées à la taille de leur répertoire alimentaire. Les adultes, qui ont un répertoire bien plus large, sont certainement exposés à davantage d'inconsistances flaveur-nutriment (en termes de fréquence puisqu'ils consomment beaucoup plus d'aliments différents et/ou d'amplitude de variation de densité énergétique) que les nourrissons.

Il est largement avancé dans la littérature que l'utilisation du biberon, contrairement à l'allaitement maternel, aurait un effet délétère sur les capacités d'ajustement énergétique (Li, Fein, & Grummer-Strawn, 2008; Li, Fein, & Grummer-Strawn, 2010; Li, Scanlon, May, Rose, & Birch, 2014). Parmi les facteurs en jeu, l'allaitement maternel promouvrait un nourrissage plus réceptif, car centré sur l'enfant. Pour tester cette hypothèse, nous avons recruté des nourrissons aux historiques d'alimentation lactée contrastées (allaités exclusivement au moins 5 semaines après la naissance *vs* allaités exclusivement au maximum 15 jours après la naissance). Nous n'avons pas observé de liens significatifs entre les durées d'allaitement exclusif et total et les capacités d'ajustement énergétique. Pour expliquer ce résultat contraire à notre hypothèse nous avançons plusieurs arguments. Premièrement, ce résultat pourrait être dû à un manque de puissance lié à la taille de notre échantillon qui ne nous permet pas de mettre en évidence une association qui pourrait être modeste. Deuxièmement, nous suggérons que le bénéfice de l'allaitement, s'il a existé, n'est peut-être plus observable vers 1 an : dans notre échantillon, 5 mois au minimum se sont écoulés entre la fin de l'allaitement exclusif et la première mesure aux 11 mois des nourrissons. Troisièmenent, nous avons utilisé le paradigme de compensation calorique pour évaluer les capacités d'ajustement énergétique des nourrissons, or, dans les travaux de Li et collaborateurs (2008; 2010; 2014), la propension des nourrissons à terminer leur biberon (ou plus tard, leur assiette) a été utilisée comme un indicateur indirect des capacités d'ajustement énergétique. Nous pensons que le fait de terminer son biberon ou son assiette ne soit pas nécessairement contradictoire avec le fait d'ajuster correctement sa prise énergétique. Enfin, cette absence de corrélation entre la durée d'allaitement et les capacités d'ajustement énergétique pourrait être due au niveau socio-économique homogène et élevé qui caractérise notre échantillon. Il est possible que les pratiques de nourrissage soient relativement

homogènes entre les mères de notre étude qu'elles aient ou non allaité leur enfant. Une étude randomisée menée sur une population ayant un statut socio-économique élevé a montré que les nourrissons nourris au biberon (âge < 2 mois) montrent d'aussi bonnes capacités d'ajustement énergétique que les nourrissons allaités (Timby, Domellof, Hernell, Lonnerdal, & Domellof, 2014a). Or, dans cette étude, les mères qui utilisent le biberon exercent un degré de contrôle similaire, si ce n'est moindre, que les mères qui allaitent (Timby, Hernell, Lonnerdal, & Domellof, 2014b). Les auteurs suggèrent que ce haut niveau d'ajustement énergétique des nourrissons nourris au biberon résulte du faible degré de contrôle exercé par les mères ; en lien avec leur niveau socio-économique elevé leur permettant d'acquérir de bonnes connaissances quant aux pratiques de nourrissage à adopter (Timby, Hernell, Lonnerdal, & Domellof, 2014b). Nous avons essayé d'évaluer le style de nourrissage des mères en utilisant le questionnaire psychométrique Infant Feeding Style Questionnaire (IFSQ) (Thompson, Mendez, Borja, Adair, Zimmer, & Bentley, 2009) mais n'avons pu exploiter ces données en raison d'incohérences internes pour plusieurs dimensions (notamment pour les dimensions 'laissez-faire', 'restrictive', 'responsive' et 'indulgence').

2. Changements développementaux des capacités d'ajustement énergétique

À notre connaissance, le présent travail est le premier à avoir utilisé une approche longitudinale pour étudier l'évolution des capacités d'ajustement énergétique chez le nourrisson par une mesure expérimentale. En accord avec notre hypothèse, nous avons montré que ces capacités se détériorent de 11 à 15 mois. Nous proposons que la détérioration des capacités d'ajustement énergétique de 11 à 15 mois puisse être liée à la complexification du régime alimentaire. Dans notre échantillon nous avons montré que la part des aliments spécifiques bébé ne représente que 21% des recettes à base de légumes consommées entre 8 et 11 mois. Cependant nos données ne nous permettent pas de savoir dans quelle mesure la part totale des aliments spécifiques bébé diminue de 11 à 15 mois. Nous avons quelques indices grâce à l'enquête française 'Nutri-Bébé 2013' qui révèle que le passage d'une alimentation spécifique bébé à une alimentation de type adulte aurait lieu vers 1 an (Chouraqui, Tavoularis, Simeoni, Ferry, & Turck, 2019). Tel qu'évoqué précédemment, on peut se demander dans quelle mesure cette transition alimentaire, si elle a lieu, peut conduire les nourrissons à être exposés à davantage d'inconsistances flaveur-nutriment, et ainsi perturber leurs capacités

d'ajustement énergétique de 11 à 15 mois. De nouveaux travaux seraient nécessaires pour répondre à ces questions.

La détérioration des capacités d'ajustement énergétique se caractérise par le passage d'un ajustement énergétique partiel à 11 mois à un ajustement volumétrique à 15 mois. Ainsi, à l'âge de 15 mois, l'indice 'volume ingéré' prévaut sur l'indice 'densité énergétique'. Il est possible qu'au cours de la diversification alimentaire, un pattern de consommation et/ou un pattern de nourrissage se mette(ent) en place : la mère, le nourrisson ou les deux membres de la dyade pourraient avoir des attentes quant aux quantités à ingérer (côté bébé) et/ou aux quantités qui 'doivent être ingérées' (côté mère). En effet, il est avancé que, chez l'adulte, le volume ingéré est l'indice prédominant qui guide le contrôle de la prise alimentaire. Sur la base d'indices visuels (taille de la portion) et/ou cognitifs (rassasiement attendu) et/ou perceptif (réplétion stomachale ressentie), les adultes forment des attentes quant aux quantités à ingérer, qui seraient alors relativement stables quelle que soit la densité énergétique des aliments (Rolls, 2017). À notre connaissance, l'évidence d'un ajustement volumétrique n'a jamais été montrée expérimentalement chez des nourrissons. Néanmoins, plusieurs études rapportent ce phénomène chez des enfants. Par exemple, Leahy et collaborateurs (2008a) ont fait varier la densité énergétique de plusieurs repas (petit-déjeuner, déjeuner et goûter) 2 jours par semaine pendant 2 semaines chez des enfants de 3-5 ans. Les enfants recevaient les versions à faible densité énergétique (jours FDE) lors d'une première semaine, puis les versions à haute densité énergétique lors d'une deuxième semaine (jours HDE). Les résultats montrent que les enfants ingèrent au total des quantités similaires lors des deux jours FDE (2429 g/2 j) que lors des deux jours HDE (2442 g/2 j), ce qui traduit un ajustement volumétrique. Une autre étude récente menée chez des enfants de 3-5 ans révèle que l'augmentation ou la diminution de la densité énergétique (± 20% par rapport à la densité énergétique de base) de certains items du repas pendant 5 jours induit respectivement une augmentation ou une diminution de l'énergie quotidienne ingérée, en raison d'un ajustement volumétrique (Smethers, Roe, Sanchez, Zuraikat, Keller, & Rolls, 2019). Aussi, nos données suggèrent qu'à l'âge de 15 mois, les nourrissons auraient déjà 'changé de stratégie' en faveur d'un ajustement volumétrique lequel a été observé chez l'enfant de 3-5 ans.

Notons que d'un point de vue évolutif, l'ajustement volumétrique pourrait être une stratégie hautement adaptative qui permet à l'individu, dans des conditions où l'offre alimentaire peut se faire rare, de poursuivre sa prise alimentaire jusqu'à ressentir qu'il a ingéré un volume satisfaisant (et donc assez d'énergie) pour survivre à la période de jeûne qui s'ensuit. Aussi, cette 'stratégie volumétrique' ne devient délétère que lorsque l'environnement alimentaire est pléthorique et caractérisé par des aliments à haute densité énergétique (propos recueillis lors d'un échange avec la pédiatre Marie-Laure Frelut).

Gardons néanmoins en tête que les repas réalisés au laboratoire étaient peut-être un peu moins représentatifs d'un repas habituel à domicile à 15 mois qu'à 11 mois. En effet, nous avons montré que les scores d'ajustement énergétique calculés sur 12 et 24 h après la consommation de la pré-charge (donc sur la base des repas pris au domicile) étaient positivement associés entre eux à 11 et 15 mois. En revanche, les scores d'ajustement énergétique sur 12 et 24 h étaient significativement et positivement associés à l'ajustement énergétique mesuré à court terme au laboratoire uniquement à 11 mois. Afin de les rendre comparables, les repas expérimentaux ont été menés de façon similaire aux deux âges (mêmes aliments offerts, mêmes consignes données à la mère). Il est possible qu'à l'âge de 15 mois, cette situation expérimentale ait modifié quelque peu la dynamique habituelle des repas. À cet âge, certains nourrissons peuvent par exemple commencer à manifester le désir de manipuler la cuillère, or, dans notre situation expérimentale, nous avons demandé aux mères de nourrir leur bébé. De plus, nous avons proposé des aliments spécifiques bébé du commerce (petits pots) à texture semi-solide, sans morceaux. Il est possible que pour certains nourrissons, ce type d'aliment ne fasse plus partie intégrante de leur répertoire alimentaire à 15 mois. En effet, les données d'une enquête française révèlent que l'introduction de petits morceaux se fait progressivement entre 6 et 22 mois et que les gros morceaux sont introduits à partir de 13 mois (Demonteil, Ksiazek, Marduel, Dusoulier, Weenen, Tournier et al., 2018).

3. Perception maternelle, expérience alimentaire, capacités d'ajustement énergétique et corpulence des nourrissons

Nous avons montré que plus les nourrissons sont exposés à de la variation de densité énergétique pour les recettes à base de légumes entre 8 et 11 mois, moins leur z-IMC est élevé à 8 et à 11 mois. Cette variation de densité énergétique serait due au fait que les mères ajoutent de temps en temps des ingrédients caloriques (notamment du beurre, de l'huile et/ou de la crème) dans les recettes de légumes. Bien que nos données ne nous permettent pas d'établir le sens de ces relations, nous suggérons que la mère pourrait moduler ses pratiques de nourrissage selon la perception qu'elle a de la corpulence de son enfant. Ainsi nous suggérons que cette stratégie pourrait être utilisée par les mères qui perçoivent leur nourrisson comme n'étant 'pas assez gros', en vue d'augmenter leur apport énergétique. À 8 et 11 mois, les nourrissons de notre échantillon ont en effet un z-IMC moyen inférieur à 0, ce qui signifie qu'ils ont un statut pondéral légèrement en deçà de la population de référence française (Rolland-Cachera, Cole, Sempe, Tichet, Rossignol, & Charraud, 1991).

Par ailleurs, pour la première fois, nous avons mis en évidence que la détérioration des capacités d'ajustement énergétique est associée à des facteurs relatifs au statut pondéral des nourrissons. En effet, la détérioration des capacités d'ajustement énergétique de 11 à 15 mois est associée à une augmentation du z-IMC entre ces âges et à un z-IMC plus élevé à l'âge de 24 mois. Dans une certaine mesure, ce résultat corrobore celui rapporté par Monnery-Patris et collaborateurs (2019) chez les enfants de 1 à 5 ans : dans leur validation d'un nouveau questionnaire français, les auteurs mettent en évidence que les enfants perçus comme ayant de moins bonnes capacités d'ajustement énergétique (évaluées avec des questions telle que '*Mon enfant mange moins au moment du repas quand il/elle a mangé quelque chose peu de temps avant le repas*') ont aussi un IMC plus élevé. De plus, nous avons observé que plus la détérioration des capacités d'ajustement énergétique de 11 à 15 mois est importante, plus les nourrissons sont perçus par leur mère comme étant 'attirés par la nourriture' (score plus élevé pour la dimension 'food responsiveness' du CEBQ-T) entre 11 et 15 mois. Ce résultat fait écho à la théorie de Kral (2018) selon laquelle les phénotypes comportementaux liés à l'obésité sont sous-tendus par un profil de traits appétitifs qui se caractérise par la combinaison d'un fort attrait pour la nourriture et d'une faible autorégulation (comme par exemple de moindres capacités d'ajustement énergétique). Les mères pourraient également moduler leurs pratiques de nourrissage selon la perception qu'elles ont du tempérament

alimentaire de leur enfant mais aussi de ses capacités d'ajustement énergétique. Une étude menée chez des jumeaux de 4 à 7 ans révèle que les mères se disent plus restrictives envers le jumeau qui ajuste moins bien sa prise énergétique lors d'une mesure de compensation calorique (Tripicchio, Keller, Johnson, Pietrobelli, Heo, & Faith, 2014). L'ensemble de ces résultats ouvre un champ de recherche pour comprendre la causalité des liens entre les pratiques de nourrissage, les capacités d'ajustement énergétique des nourrissons et leur satut pondéral.

4. Perspectives et implications

Ce travail novateur a permis de décrire l'évolution des capacités d'ajustement énergétique des nourrissons vers l'âge de 1 an et de mettre en évidence que certains facteurs tels que le fonctionnement de la dyade mère-nourrisson et le statut pondéral des nourrissons sont associés aux capacités d'ajustement énergétique. De par les difficultés inhérentes au suivi longitudinal et à l'étude de cette population particulière (que sont les nourrissons), notre échantillon demeure modeste et non représentatif de l'ensemble de la population. La mesure de compensation calorique au laboratoire a donné lieu à une importante perte de données liée par exemple à des consignes non respectées, à une consommation de la pré-charge insuffisante. Aussi, la plupart des analyses subséquentes ont été conduites sur des sous-échantillons, notamment pour décrire la microstructure du repas (pour lesquels certains enregistrements de la balance connectée n'étaient pas exploitables), les traits appétitifs des nourrissons ou leur exposition à de la variabilité de densité énergétique (questionnaires non complétés ou avec des informations manquantes). Ainsi, ce travail reste exploratoire et nécessite de plus amples recherches pour confirmer les résultats obtenus dans un premier temps, et comprendre la causalité des liens dans un deuxième temps.

Dans notre paradigme de compensation calorique nous avons choisi de modifier la densité énergétique de la pré-charge en ajoutant des lipides. Une perspective serait d'explorer dans quelle mesure l'utilisation d'autres macronutriments tels que les carbohydrates (généralement utilisés chez l'enfant dans les études précédentes) peut modifier l'ajustement énergétique observé. Chez l'adulte, les effets différenciés des lipides et des carbohydrates sur le rassasiement et la satiété ne font pas consensus (Gerstein, Woodward-Lopez, Evans, Kelsey, & Drewnowski, 2004). Notons qu'une étude menée chez des hommes sains montre que des pré-charges à base de carbohydrates ou de lipides n'affectent pas différement la prise

alimentaire lors du repas qui suit avec un paradigme de compensation calorique (Rolls, Kim, McNelis, Fischman, Foltin, & Moran, 1991). Ces questions n'ont pas été explorées chez le nourrisson.

En décrivant la microstructure du repas, nous n'avons évalué qu'une facette de l'interaction mère-nourrisson. Sur la base de nos enregistrements vidéo, il serait également intéressant d'explorer d'autres aspects de l'interaction. L'utilisation de grilles d'observation existantes telles que le Nursing Child Assessment of Feeding Scale (Sumner & Spertz, 1994) ou le Responsiveness to Child Feeding Cues Scale (Hodges, Johnson, Hughes, Hopkinson, Butte, & Fisher, 2013) permettrait par exemple d'évaluer d'autres facettes du nourrissage réceptif. Les résultats de ces observations pourraient être mis en relation avec la microstructure du repas telle que nous l'avons décrite grâce à la balance connectée ou avec les capacités d'ajustement énergétique. De plus, il serait envisageable de décrire l'attention visuelle du nourrisson et/ou de la mère. Une récente étude menée chez les 6-18 mois révèle qu'au cours du repas, les nourrissons dirigent de moins en moins leur attention visuelle vers la nourriture, au profit d'une attention dirigée vers l'environnement (regards exploratoires) (McNally, Hugh-Jones, Caton, Vereijken, Weenen, & Hetherington, 2019). Les auteurs suggèrent ainsi que l'attention visuelle des nourrissons au cours du repas reflète leurs états internes de faim et de rassasiement. Le fait qu'à 11 mois les capacités d'ajustement énergétique soient meilleures lorsque le rythme des cuillerées est adapté au contenu des cuillerées nous laisse suggérer que cette dynamique reflète un nourrissage réceptif. Bien que ce résultat nécessite d'être confirmé par d'autres travaux, nous suggérons que cet aspect 'microstructure du repas' pourrait être considéré pour enrichir le discours visant à améliorer la qualité du nourrissage réceptif auprès des parents. À ce jour, les auteurs des études interventionnelles (de type essais randomisés) visant à promouvoir le nourrissage réceptif dans les deux premières années s'accordent à dire que sensibiliser les parents aux signaux de faim et de rassasiement de leur bébé est l'une des principales clés pour permettre aux nourrissons d'ajuster leur prise alimentaire de façon adéquate (Pérez-Escamilla, Segura-Pérez, & Lott, 2017). Dans l'étude INSIGHT (Intervention Nurses Start Infants Growing on Healthy Trajectories) menée aux Etats-Unis, les parents ont par exemple appris à reconnaitre les signaux de faim et de rassasiement de leur enfant, à servir des portions adéquates, à proposer de façon répétée certains aliments afin d'en améliorer l'acceptation ou encore à respecter le rythme circadien de leur enfant (Savage, Birch, Marini, Anzman-Frasca, & Paul, 2016). Cette

intervention s'est avérée avoir un effet bénéfique sur le statut pondéral des nourrissons : ces derniers prennent moins de poids durant leurs 6 premiers mois, et ont un poids moins élevé à l'âge de 1 an si leurs parents ont appris à être plus réceptifs. Des résultats similaires ont été rapportés à l'âge de 2 ans dans l'étude Healthy Beginnings (Wen, Baur, Simpson, Rissel, Wardle, & Flood, 2012). De même, l'étude NOURISH (Nourishing Our Understanding of Role Modeling to Improve Support and Health) reporte des effets à long terme sur les pratiques de nourrissage : les mères qui ont appris à proposer des aliments sains, à favoriser l'autonomie de leur nourrisson et à reconnaître les signaux de faim/rassasiement au cours des 16 premiers mois montrent des pratiques plus réceptives (exercent moins de restriction ou de pression à manger) lorsque leur enfant atteint l'âge de 5 ans (Daniels, Mallan, Nicholson, Thorpe, Nambiar, Mauch et al., 2015). L'ensemble de ces travaux met en évidence qu'il est possible d'améliorer la qualité du nourrissage réceptif et, par ce moyen, de réduire le gain de poids des nourrissons. Explorer davantage le rythme de nourrissage et ses impacts sur le comportement alimentaire des nourrissons (dont ses capacités d'ajustement énergétique) pourrait permettre d'enrichir les discours destinés aux parents et les sensibiliser à cette autre dimension du nourrissage puis d'en mesurer, grâce à des essais randomisés, les effets sur le comportement des nourrissons et leur corpulence.

Nous avons montré que la variabilité de densité énergétique à laquelle les nourrissons sont exposés entre 8 et 11 mois était négativement associée au statut pondéral des nourrissons à 8 et à 11 mois. Or, cette variabilité de densité énergétique reflète les pratiques de nourrissage des parents. Envisager des entretiens qualitatifs avec les parents aiderait à identifier les raisons qui guident l'ajout non systématique d'ingrédients caloriques dans les recettes. *Les parents se basent-ils sur le statut pondéral de leur bébé pour décider d'ajouter ou non des ingrédients caloriques tels que du beurre, de l'huile ou de la crème ?*

Nos résultats relatifs à l'exposition des nourrissons à de la variabilité de densité énergétique nous permettent d'envisager de nouveaux champs de recherche pour mieux comprendre les possibles associations entre les apprentissages flaveur-nutriment et les capacités d'ajustement énergétique dans la petite enfance. Dans notre étude, nous avons décrit l'exposition des nourrissons à de la variabilité de densité énergétique entre 8 et 11 mois pour une seule catégorie d'aliments, à savoir les légumes. À titre exploratoire, une première perspective serait de décrire la variabilité de densité énergétique pour d'autres catégories d'aliments, et ainsi obtenir une vision plus large des expériences alimentaires des nourrissons.

Le questionnaire que nous avons développé contient 15 catégories d'aliments telles que '*Viandes et œufs*', '*Poissons*', '*Féculents*', '*Produits laitiers, desserts, glaces*' *etc.*, ce qui nous permettrait d'explorer cette question. On peut également se demander si l'augmentation du répertoire alimentaire avec l'âge donne lieu à davantage d'inconsistances flaveur-nutriment. Pour répondre à cette question, une autre piste serait de décrire la variabilité de densité énergétique à laquelle les nourrissons sont exposés entre 11 et 15 mois. Les liens avec les capacités d'ajustement énergétique à 15 mois pourraient alors être examinés. Dans notre étude, les parents ont également complété notre questionnaire lorsque leur bébé avait 15 mois. Malheureusement, en raison d'un grand nombre d'informations manquantes (ce questionnaire semble plus difficile à compléter lorsque le répertoire alimentaire s'élargit), et de l'aspect chronophage des analyses, nous n'avons pas exploité ces données. Par ailleurs, une autre approche pourrait être envisagée pour étudier plus précisément les mécanismes d'apprentissages flaveur-nutriment vers l'âge de 1 an et leur potentielle influence sur les capacités d'ajustement énergétique. Par une étude interventionnelle, il serait possible d'exposer un groupe de nourrissons à des associations flaveur-nutriment consistantes pour un aliment donné (qui serait a priori inconnu des nourrissons), et un autre groupe de nourrissons à des associations flaveur-nutriment inconsistantes pour ce même aliment (par exemple par ajout non systématique d'ingrédients caloriques tel qu'observé dans notre population). Une mesure de compensation calorique suite à l'ingestion de l'aliment cible permettrait ensuite de comparer l'ajustement énergétique des deux groupes de nourrissons et de mieux comprendre dans quelle mesure les inconsistances flaveur-nutriment sont délétères.

Une dernière perspective de ce travail serait d'explorer les capacités d'ajustement énergétique chez des nourrissons non sains, souffrant par exemple de dénutrition. Chez ces sujets, la dénutrition peut entrainer un retard de croissance qui peut s'avérer dramatique pour leur développement. Identifier les facteurs qui peuvent affecter les capacités d'ajustement énergétique s'avère d'autant plus important chez ces nourrissons si l'on souhaite mettre en place des stratégies d'enrichissement efficaces et soutenir une croissance saine.

Du fait de la persistance du comportement alimentaire de la petite enfance à l'âge adulte, et dans la perspective des 1 000 premiers jours, il est primordial de comprendre comment accompagner les parents afin qu'ils adoptent des pratiques promouvant des capacités d'ajustement énergétique optimales. En effet, les liens mis en évidence avec le statut pondéral des nourrissons soulignent l'importance de cette dimension du comportement alimentaire du nourrisson. De plus, en mettant en évidence des liens entre les capacités d'ajustement énergétique précoces et certains paramètres relatifs au fonctionnement de la dyade mère-nourrisson, ce travail apporte des éléments pour comprendre l'étiologie des capacités d'ajustement énergétique dans les deux premières années de vie chez le nourrisson sain.

Références bibliographiques

A

Ab Qayoom Naik TZ & Shrivastava VK. (2018). Health Implications Associated with Aspartame Consumption: A Substantial Review. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 21*, 127-134.

Abeshu MA, Lelisa A & Geleta B. (2016). Complementary feeding: Review of recommendations, feeding practices, and adequacy of homemade complementary food preparations in developing countries–lessons from Ethiopia. *Frontiers in Nutrition, 3*, 41.

Agras WS, Kraemer HC, Berkowitz RI, Korner AF & Hammer LD. (1987). Does a vigorous feeding style influence early development of adiposity? *The Journal of Pediatrics, 110*(5), 799-804.

Ahern SM, Caton SJ, Bouhlal S, Hausner H, Olsen A, Nicklaus S, Møller P & Hetherington MM. (2013). Eating a rainbow. Introducing vegetables in the first years of life in 3 European countries. *Appetite, 71*, 48-56.

Almiron-Roig E, Palla L, Guest K, Ricchiuti C, Vint N, Jebb SA & Drewnowski A. (2013). Factors that determine energy compensation: a systematic review of preload studies. *Nutrition reviews, 71*(7), 458-473.

Appleton J, Russell CG, Laws R, Fowler C, Campbell K & Denney-Wilson E. (2018). Infant formula feeding practices associated with rapid weight gain: A systematic review. *Maternal & Child Nutrition, 14*(3), e12602.

Araya H, Vera G & Alvina M. (1999). Effect of the energy density and volume of high carbohydrate meals on short term satiety in preschool children. *European Journal of Clinical Nutrition, 53*(4), 273.

Asta K, Miller AL, Retzloff L, Rosenblum K, Kaciroti NA & Lumeng JC. (2016). Eating in the absence of hunger and weight gain in low-income toddlers. *Pediatrics, 137*(5), e20153786.

B

Baidal JAW, Locks LM, Cheng ER, Blake-Lamb TL, Perkins ME & Taveras EM. (2016). Risk factors for childhood obesity in the first 1,000 days: a systematic review. *The American Journal of Preventive Medicine, 50*(6), 761-779.

Baird J, Poole J, Robinson S, Marriott L, Godfrey K, Cooper C, Inskip H, Law C & Group SWsSS. (2008). Milk feeding and dietary patterns predict weight and fat gains in infancy. *Paediatric and perinatal epidemiology, 22*(6), 575-586.

Bajaj M, Dubey A, Nagpal J, Singh P & Sachdev HP. (2005). Short-term effect of oil supplementation of complementary food on total ad libitum consumption in 6-to 10-month-old breastfed Indian infants. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition, 41*(1), 61-65.

Bartok CJ & Ventura AK. (2009). Mechanisms underlying the association between breastfeeding and obesity. *International journal of pediatric obesity : IJPO : an official journal of the International Association for the Study of Obesity, 4*(4), 196-204. doi: 10.3109/17477160902763309

Bellisle F. (2005). Faim et satiété, contrôle de la prise alimentaire. *EMC-Endocrinologie, 2*(4), 179-197.

Bellisle F & Blundell JE. (2013). Satiation, satiety: concepts and organisation of behaviour. In: Bellisle F, Blundell JE (eds). *Satiation, Satiety and the Control of Food Intake.* 3-11.

Bellisle F & Le Magnen J. (1980). The analysis of human feeding patterns: the edogram. *Appetite, 1*(2), 141-150.

Bennett VA, Morales E, González J, Peerson JM, López de Romaña G & Brown KH. (1999). Effects of dietary viscosity and energy density on total daily energy consumption by young Peruvian children. *The American Journal of Clinical Nutrition, 70*(2), 285-291.

Bergmeier H, Skouteris H & Hetherington M. (2015). Systematic research review of observational approaches used to evaluate mother-child mealtime interactions during preschool years. *The American Journal of Clinical Nutrition, 101*(1), 7-15. doi: 10.3945/ajcn.114.092114

Berkowitz RI, Moore RH, Faith MS, Stallings VA, Kral TV & Stunkard AJ. (2010). Identification of an obese eating style in 4-year-old children born at high and low risk for obesity. *Obesity, 18*(3), 505-512.

Birch L & Ventura A. (2009). Preventing childhood obesity: what works? *International Journal of Obesity, 33*(S1), S74.

Birch LL & Deysher M. (1985). Conditioned and unconditioned caloric compensation: evidence for self regulation of food intake in young children. *Learning and Motivation, 16*, 341-355.

Birch LL & Deysher M. (1986). Caloric compensation and sensory specific satiety: evidence for self regulation of food intake by young children. *Appetite, 7*(4), 323-331.

Birch LL & Doub AE. (2014). Learning to eat: birth to age 2 y. *The American Journal of Clinical Nutrition, 99*(3), 723S-728S.

Birch LL, Fisher JO & Davison KK. (2003). Learning to overeat: maternal use of restrictive feeding practices promotes girls' eating in the absence of hunger. *The American Journal of Clinical Nutrition, 78*(2), 215-220.

Birch LL, Fisher JO, Grimm-Thomas K, Markey CN, Sawyer R & Johnson SL. (2001). Confirmatory factor analysis of the Child Feeding Questionnaire: a measure of parental attitudes, beliefs and practices about child feeding and obesity proneness. *Appetite, 36*(3), 201-210.

Birch LL, Johnson SL, Andresen G, Peters JC & Schulte MC. (1991). The variability of young children's energy intake. *The New England Journal of Medicine, 324*(4), 232-235.

Birch LL, McPhee L & Sullivan S. (1989). Children's food intake following drinks sweetened with sucrose or aspartame: Time course effects. *Physiology & Behavior, 45*(2), 387-395.

Birch LL, McPhee LS, Bryant JL & Johnson SL. (1993). Children's lunch intake: effects of midmorning snacks varying in energy density and fat content. *Appetite, 20*(2), 83-94.

Black MM & Aboud FE. (2011). Responsive Feeding Is Embedded in a Theoretical Framework of Responsive Parenting. *The Journal of nutrition, 141*(3), 490-494. doi: 10.3945/jn.110.129973

Blundell J. (1991). Pharmacological approaches to appetite suppression. *Trends in pharmacological sciences, 12*, 147-157.

Blundell J, De Graaf C, Hulshof T, Jebb S, Livingstone B, Lluch A, Mela D, Salah S, Schuring E & Van Der Knaap H. (2010). Appetite control: methodological aspects of the evaluation of foods. *Obesity Reviews, 11*(3), 251-270.

Blundell J & Rogers P. (1991). Hunger, hedonics, and the control of satiation and satiety. *Chemical senses, 4*, 127-148.

Blundell J, Rogers P & Hill A. (1987). Evaluating the satiating power of foods: implications for acceptance and consumption. In: Solms J, Booth DA, Pangbourne RM, Raunhardt O (eds). *Food Acceptance and Nutrition.* Academic Press: London, 205-219.

Bournez M, Ksiazek E, Charles M-A, Lioret S, Brindisi M-C, de Lauzon-Guillain B & Nicklaus S. (2019). Frequency of Use of Added Sugar, Salt, and Fat in Infant Foods up to 10 Months in the Nationwide ELFE Cohort Study: Associated Infant Feeding and Caregiving Practices. *Nutrients, 11*(4), 733.

Bournez M, Ksiazek E, Wagner S, Kersuzan C, Tichit C, Gojard S, Thierry X, Charles MA, Lioret S & de Lauzon-Guillain B. (2018). Factors associated with the introduction of complementary feeding in the French ELFE cohort study. *Maternal & Child Nutrition, 14*(2), e12536.

Bresson J & Le Bris M. (2013). Nouvelles données sur l'alimentation des bébés en France (New data regarding infant feeding in France). *La revue de nutrition pratique*, 1-7.

Brondel L. (2016). To eat or not to eat… ou qu'est-ce qui pousse à manger? In: Hugol-Gental C (ed). *Se nourrir ou manger? Les enjeux du repas en établissement de santé.* France, 35-42.

Brown A, Jones SW & Rowan H. (2017). Baby-led weaning: the evidence to date. *Current nutrition reports, 6*(2), 148-156.

Brown A & Lee M. (2011a). A descriptive study investigating the use and nature of baby-led weaning in a UK sample of mothers. *Maternal & Child Nutrition, 7*(1), 34-47.

Brown A & Lee M. (2011b). Maternal control of child feeding during the weaning period: differences between mothers following a baby-led or standard weaning approach. *Maternal and child health journal, 15*(8), 1265-1271.

Brown A & Lee M. (2012). Breastfeeding during the first year promotes satiety responsiveness in children aged 18–24 months. *Pediatric obesity, 7*(5), 382-390.

Brown A & Lee M. (2015). Early influences on child satiety-responsiveness: the role of weaning style. *Pediatric obesity, 10*(1), 57-66.

Brown KH, Sanchez-Grinan M, Perez F, Peerson JM, Ganoza L & Stern JS. (1995). Effects of dietary energy density and feeding frequency on total daily energy intakes of recovering malnourished children. *The American Journal of Clinical Nutrition, 62*(1), 13-18.

Brugaillères P, Issanchou S, Nicklaus S, Chabanet C & Schwartz C. (2019). Caloric compensation in infants: developmental changes around the age of 1 year and associations with anthropometrics up to 2 years. *The American Journal of Clinical Nutrition, [Epub ahead of print]*doi: doi: 10.1093/ajcn/nqy357

Burrows TL, Martin RJ & Collins CE. (2010). A systematic review of the validity of dietary assessment methods in children when compared with the method of doubly labeled water. *Journal of the American Dietetic Association, 110*(10), 1501-1510.

C

Campfield LA & Smith FJ. (2003). Blood glucose dynamics and control of meal initiation: a pattern detection and recognition theory. *Physiological reviews, 83*(1), 25-58.

Carnell S, Benson L, Gibson EL, Mais LA & Warkentin S. (2017). Caloric compensation in preschool children: Relationships with body mass and differences by food category. *Appetite, 116*, 82-89.
doi: https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.04.018

Carnell S & Wardle J. (2007). Measuring behavioural susceptibility to obesity: Validation of the child eating behaviour questionnaire. *Appetite, 48*(1), 104-113.

Carnell S & Wardle J. (2008). Appetitive traits and child obesity: measurement, origins and implications for intervention: Symposium on 'Behavioural nutrition and energy balance in the young'. *Proceedings of the Nutrition Society, 67*(4), 343-355.

Carstairs SA, Craig LC, Marais D, Bora OE & Kiezebrink K. (2016). A comparison of preprepared commercial infant feeding meals with home-cooked recipes. *Archives of Disease in Childhood, 101*(11), 1037-1042. doi: 10.1136/archdischild-2015-310098

Caton SJ, Blundell P, Ahern SM, Nekitsing C, Olsen A, Møller P, Hausner H, Remy E, Nicklaus S, Chabanet C, Issanchou S & Hetherington MM. (2014). Learning to eat vegetables in early life: the role of timing, age and individual eating traits. *Plos One, 9*(5), e97609. doi: 10.1371/journal.pone.0097609

Chapelot D. (2013). Quantifying satiation and satiety. In: Bellisle F, Blundell JE (eds). *Satiation, satiety and the control of food intake.* 12-39.

Chouraqui J-P, Tavoularis G, Simeoni U, Ferry C & Turck D. (2019). Food, water, energy, and macronutrient intake of non-breastfed infants and young children (0–3 years). *European journal of nutrition*, 1-14.

Cohen RJ, Brown KH, Dewey K, Canahuati J & Rivera LL. (1994). Effects of age of introduction of complementary foods on infant breast milk intake, total energy intake, and growth: a randomised intervention study in Honduras. *The Lancet, 344*(8918), 288-293.

Cristina Lindsay A, Sitthisongkram S, Greaney M, Wallington S & Ruengdej P. (2017). Non-Responsive Feeding Practices, Unhealthy Eating Behaviors, and Risk of Child Overweight and Obesity in Southeast Asia: A Systematic Review. *International journal of environmental research and public health, 14*(4), 436.

Crow RA, Fawcett JN & Wright P. (1980). Maternal behavior during breast- and bottle-feeding. *Journal of Behavioral Medicine, 3*(3), 259-277. doi: 10.1007/bf00845051

Cummings DE, Purnell JQ, Frayo RS, Schmidova K, Wisse BE & Weigle DS. (2001). A preprandial rise in plasma ghrelin levels suggests a role in meal initiation in humans. *Diabetes, 50*(8), 1714-1719.

D

Daniels LA, Mallan KM, Nicholson JM, Thorpe K, Nambiar S, Mauch CE & Magarey A. (2015). An early feeding practices intervention for obesity prevention. *Pediatrics, 136*(1), e40-49.

Darling N & Steinberg L. (1993). Parenting style as context: An integrative model. *Psychological bulletin, 113*(3), 487.

Davis CM. (1928). Self selection of diet by newly weaned infants: an experimental study. *American Journal of Diseases of Children, 36*(4), 651-679.

Davis CM. (1939). Results of the self-selection of diets by young children. *Canadian Medical Association Journal, 41*(3), 257.

De Castro JM. (1994). Methodology, correlational analysis, and interpretation of diet diary records of the food and fluid intake of free-living humans. *Appetite, 23*(2), 179-192.

de Lauzon-Guillain B, Oliveira A, Charles MA, Grammatikaki E, Jones L, Rigal N, Lopes C, Manios Y, Moreira P & Emmett P. (2012). A review of methods to assess parental feeding practices and preschool children's eating behavior: the need for further

development of tools. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 112*(10), 1578-1602.

Demonteil L, Ksiazek E, Marduel A, Dusoulier M, Weenen H, Tournier C & Nicklaus S. (2018). Patterns and predictors of food texture introduction in French children aged 4–36 months. *British Journal of Nutrition, 120*(9), 1-13. doi: 10.1017/s0007114518002386

DiSantis KI, Collins BN, Fisher JO & Davey A. (2011). Do infants fed directly from the breast have improved appetite regulation and slower growth during early childhood compared with infants fed from a bottle? *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 8*(1), 89.

DiSantis KI, Hodges EA, Johnson SL & Fisher JO. (2011). The role of responsive feeding in overweight during infancy and toddlerhood: a systematic review. *International Journal of Obesity, 35*(4), 480-492. doi: 10.1038/ijo.2011.3

Dupuy A. (2017). La division sexuelle du travail alimentaire: qu'est-ce qui change? In Dubet, F (ed). *Que manger ? Pratiques, normes et conflits alimentaires.* Paris, La Découverte, "Recherches", 164-179.

Durán Agüero S, Angarita Dávila L, Escobar Contreras M, Rojas Gómez D & de Assis Costa J. (2018). Noncaloric Sweeteners in Children: A Controversial Theme. *BioMed research international.* doi: https://doi.org/10.1155/2018/4806534

F

Faith MS, Carnell S & Kral TV. (2013). Genetics of food intake self-regulation in childhood: literature review and research opportunities. *Human heredity, 75*(2-4), 80-89.

Faith MS, Keller KL, Johnson SL, Pietrobelli A, Matz PE, Must S, Jorge MA, Cooperberg J, Heymsfield SB & Allison DB. (2004). Familial aggregation of energy intake in children. *The American Journal of Clinical Nutrition, 79*(5), 844-850.

Faith MS, Scanlon KS, Birch LL, Francis LA & Sherry B. (2004). Parent-child feeding strategies and their relationships to child eating and weight status. *Obesity Research, 12*(11), 1711-1722.

Fantino M. (2013). How important are satiation and satiety for weight regulation? In: Bellisle F, Blundell JE (eds). *Satiation, Satiety and the Control of Food Intake.* 357-372.

Fantino M & Gourmet E. (2008). Apports nutritionnels en France en 2005 chez les enfants non allaités âgés de moins de 36 mois. *Archives de Pédiatrie, 15*(4), 446-455.

Farrow C & Blissett J. (2006). Does maternal control during feeding moderate early infant weight gain? *Pediatrics, 118*(2), e293-298.

Farrow CV & Blissett J. (2008). Controlling feeding practices: cause or consequence of early child weight? *Pediatrics, 121*(1), e164-169. doi: 10.1542/peds.2006-3437

Fewtrell M, Bronsky J, Campoy C, Domellöf M, Embleton N, Fidler Mis N, Hojsak I, Hulst JM, Indrio F, Lapillonne A & Molgaard C. (2017). Complementary feeding: a position paper by the European society for paediatric gastroenterology, hepatology, and nutrition (ESPGHAN) committee on nutrition. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition, 64*(1), 119-132. doi: 10.1097/mpg.0000000000001454

Fisher JO & Birch LL. (1999). Restricting access to foods and children's eating. *Appetite, 32*(3), 405-419.

Fisher JO, Butte NF, Mendoza PM, Wilson TA, Hodges EA, Reidy KC & Deming D. (2008). Overestimation of infant and toddler energy intake by 24-h recall compared with weighed food records. *The American Journal of Clinical Nutrition, 88*(2), 407-415.

Fisher JO, Liu Y, Birch LL & Rolls BJ. (2007). Effects of portion size and energy density on young children's intake at a meal. *The American Journal of Clinical Nutrition, 86*(1), 174-179.

Fogel A, Fries LR, McCrickerd K, Goh AT, Quah PL, Chan MJ, Toh JY, Chong Y-S, Tan KH, Yap F, Shek LP, Meaney MJ, Broekman BFP, Lee YS, Godfrey KM, Fong Chong MF & Forde CG. (2018). Oral processing behaviours that promote children's energy intake are associated with parent-reported appetitive traits: Results from the GUSTO cohort. *Appetite, 126*, 8-15. doi: https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.03.011

Fogel A, Goh AT, Fries LR, Sadananthan SA, Velan SS, Michael N, Tint MT, Fortier MV, Chan MJ & Toh JY. (2017a). Faster eating rates are associated with higher energy intakes during an ad libitum meal, higher BMI and greater adiposity among 4.5-year-old children: results from the growing up in Singapore towards healthy outcomes (GUSTO) cohort. *British Journal of Nutrition, 117*(7), 1042-1051.

Fogel A, Goh AT, Fries LR, Sadananthan SA, Velan SS, Michael N, Tint MT, Fortier MV, Chan MJ, Toh JY, Chong Y-S, Tan KH, Yap F, Shek LP, Meaney MJ, Broekman BFP, Lee YS, Godfrey KM, Chong MFF & Forde CG. (2017b). A description of an 'obesogenic' eating style that promotes higher energy intake and is associated with greater adiposity in 4.5 year-old children: Results from the GUSTO cohort. *Physiology & Behavior, 176*, 107-116. doi: https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.02.013

Fomon SJ, Filer L, Ziegler E, Bergmann K & Bergmann R. (1977). Skim milk in infant feeding. *Acta Pædiatrica, 66*(1), 17-30.

Fomon SJ, Filmer LJJ, Thomas LN, Anderson TA & Nelson SE. (1975). Influence of formula concentration on caloric intake and growth of normal infants. *Acta paediatrica Scandinavica, 64*(2), 172-181.

Forde C, Van Kuijk N, Thaler T, De Graaf C & Martin N. (2013). Oral processing characteristics of solid savoury meal components, and relationship with food composition, sensory attributes and expected satiation. *Appetite, 60*, 208-219.

Fox MK, Devaney B, Reidy K, Razafindrakoto C & Ziegler P. (2006). Relationship between portion size and energy intake among infants and toddlers: evidence of self-regulation. *Journal of the American Dietetic Association, 106*(1, Supplement 1), 77-83.

Fries E, Green P & Bowen DJ. (1995). What did I eat yesterday? Determinants of accuracy in 24-hour food memories. *Applied Cognitive Psychology, 9*(2), 143-155.

G

Gallouin F & Le Magnen J. (1987). Évolution historique des concepts de faim, satiété et appétits. *Reproduction Nutrition Développement, 27*(1B), 109-128.

Gerstein DE, Woodward-Lopez G, Evans AE, Kelsey K & Drewnowski A. (2004). Clarifying concepts about macronutrients' effects on satiation and satiety. *Journal of the American Dietetic Association, 104*(7), 1151-1153.

Ghisolfi J, Bocquet A, Bresson JL, Briend A, Chouraqui JP, Darmaun D, Dupont C, Frelut ML, Girardet JP, Goulet O, Hankard R, Rieu D, Siméoni U, Turck D & Vidailhet M. (2013). Les aliments industriels (hors laits et céréales) destinés aux nourrissons et enfants en bas âge : un progrès diététique ? *Archives de Pédiatrie, 20*(5), 523-532.

Golen RB & Ventura AK. (2015). Mindless feeding. Is maternal distraction during bottle-feeding associated with overfeeding? *Appetite, 91*, 385-392.

Gross RS, Fierman AH, Mendelsohn AL, Chiasson MA, Rosenberg TJ, Scheinmann R & Messita MJ. (2010). Maternal peceptions of infant hunger, satiety, and pressuring feeding styles in an urban latina WIC population. *Academic Pediatrics, 10*(1), 29-35.

H

Hardman CA, Ferriday D, Kyle L, Rogers PJ & Brunstrom JM. (2015). So many brands and varieties to choose from: does this compromise the control of food intake in humans? *Plos One, 10*(4), e0125869. doi: 10.1371/journal.pone.0125869

He Q, Ding Z, Fong D & Karlberg J. (2000). Risk factors of obesity in preschool children in China: a population-based case–control study. *International Journal of Obesity, 24*(11), 1528.

Heinig MJ, Nommsen LA, Peerson JM, Lonnerdal B & Dewey KG. (1993). Energy and protein intakes of breast-fed and formula-fed infants during the first year of life and their association with growth velocity: the DARLING Study. *The American Journal of Clinical Nutrition, 58*(2), 152-161.

Herle M, Fildes A, van Jaarsveld C, Rijsdijk F & Llewellyn CH. (2016). Parental Reports of Infant and Child Eating Behaviors are not Affected by Their Beliefs About Their Twins' Zygosity. *Behavior genetics, 46*(6), 763-771.

Hetherington MM. (2017). Understanding infant eating behaviour – Lessons learned from observation. *Physiology & Behavior, 176*, 117-124. doi: https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.01.022

Hetherington MM, Wood C & Lyburn SC. (2000). Response to energy dilution in the short term: evidence of nutritional wisdom in young children? *Nutritional Neuroscience, 3*(5), 321-329.

Hilbig A, Foterek K, Kersting M & Alexy U. (2015). Home-made and commercial complementary meals in German infants: results of the DONALD study. *Journal of human nutrition and dietetics : the official journal of the British Dietetic Association, 28*(6), 613-622. doi: 10.1111/jhn.12325

Hodges EA, Johnson SL, Hughes SO, Hopkinson JM, Butte NF & Fisher JO. (2013). Development of the responsiveness to child feeding cues scale. *Appetite, 65*, 210-219.

Hodges EA, Wasser HM, Colgan BK & Bentley ME. (2016). Development of Feeding Cues During Infancy and Toddlerhood. *MCN The American Journal of Maternal Child Nursing, 41*(4), 244-251.

Hurley KM, Cross MB & Hughes SO. (2011). A systematic review of responsive feeding and child obesity in high-income countries. *The Journal of nutrition, 141*(3), 495-501. doi: 10.3945/jn.110.130047

I-K

Islam MM, Khatun M, Peerson JM, Ahmed T, Mollah MAH, Dewey KG & Brown KH. (2008). Effects of energy density and feeding frequency of complementary foods on total daily energy intakes and consumption of breast milk by healthy breastfed Bangladeshi children. *The American Journal of Clinical Nutrition, 88*(1), 84-94.

Johnson RK, Driscoll P & Goran MI. (1996). Comparison of multiple-pass 24-hour recall estimates of energy intake with total energy expenditure determined by the doubly labeled water method in young children. *Journal of the American Dietetic Association, 96*(11), 1140-1144.

Johnson SL. (2000). Improving preschoolers' self-regulation of energy intake. *Pediatrics, 106*(6), 1429-1435.

Johnson SL & Birch LL. (1994). Parents' and children's adiposity and eating style. *Pediatrics, 94*(5), 653-661.

Kane L, Wright C, Fariza WF & Hetherington M. (2011). Energy compensation in enterally fed children. *Appetite, 56*(1), 205-209.

Kasese-Hara M, Wright C & Drewett R. (2002). Energy compensation in young children who fail to thrive. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 43*(4), 449-456.

Kral TV, Moore R, Chittams J, Jones E, O'Malley L & Fisher J. (2018). Identifying behavioral phenotypes for childhood obesity. *Appetite, 127*, 87-96.

Kral TV, Stunkard AJ, Berkowitz RI, Stallings VA, Brown DD & Faith MS. (2007). Daily food intake in relation to dietary energy density in the free-living environment: a prospective analysis of children born at different risk of obesity. *The American Journal of Clinical Nutrition, 86*(1), 41-47.

L

Lanigan J, Wells J, Lawson M & Lucas A. (2001). Validation of food diary method for assessment of dietary energy and macronutrient intake in infants and children aged 6–24 months. *European Journal of Clinical Nutrition, 55*(2), 124.

Le Magnen J. (1971). Advances in studies on the physiological control and regulation of food intake. *Progress in physiological psychology, 4*, 203-261.

Le Magnen J & Devos M. (1970). Metabolic correlates of the meal onset in the free food intake of rats. *Physiology & Behavior, 5*(7), 805-814.

Leahy KE, Birch LL, Fisher JO & Rolls BJ. (2008). Reductions in entree energy density increase children's vegetable intake and reduce energy intake. *Obesity, 16*(7), 1559-1565.

Leahy KE, Birch LL & Rolls BJ. (2008a). Reducing the energy density of multiple meals decreases the energy intake of preschool-age children. *American Journal of Clinical Nutrition, 88*(6), 1459-1468.

Leahy KE, Birch LL & Rolls BJ. (2008b). Reducing the energy density of an entree decreases children’s energy intake at lunch. *Journal of the American Dietetic Association, 108*(1), 41-48.

Li R, Fein SB & Grummer-Strawn LM. (2008). Association of breastfeeding intensity and bottle-emptying behaviors at early infancy with infants' risk for excess weight at late infancy. *Pediatrics, 122*(Supplement 2), S77-84. doi: 10.1542/peds.2008-1315j

Li R, Fein SB & Grummer-Strawn LM. (2010). Do infants fed from bottles lack self-regulation of milk intake compared with directly breastfed infants? *Pediatrics*, 2009-2549.

Li R, Scanlon KS, May A, Rose C & Birch L. (2014). Bottle-feeding practices during early infancy and eating behaviors at 6 years of age. *Pediatrics, 134*(Supplement 1), S70-77. doi: 10.1542/peds.2014-0646L

Lindgren AC, Barkeling B, Hägg A, Ritzén EM, Marcus C & Rössner S. (2000). Eating behavior in Prader-Willi syndrome, normal weight, and obese control groups. *The Journal of pediatrics, 137*(1), 50-55.

Livingstone MB, Prentice AM, Coward WA, Strain JJ, Black AE, Davies P, Stewart CM, McKenna PG & Whitehead RG. (1992). Validation of estimates of energy intake by

weighed dietary record and diet history in children and adolescents. *The American Journal of Clinical Nutrition, 56*(1), 29-35.

Llewellyn CH, Van Jaarsveld CH, Boniface D, Carnell S & Wardle J. (2008). Eating rate is a heritable phenotype related to weight in children. *The American Journal of Clinical Nutrition, 88*(6), 1560-1566.

Llewellyn CH, van Jaarsveld CH, Johnson L, Carnell S & Wardle J. (2011). Development and factor structure of the Baby Eating Behaviour Questionnaire in the Gemini birth cohort. *Appetite, 57*(2), 388-396.

M

Maccoby EE & Martin J. (1983). Socialization in the context of the family. Parent-child interaction. In Mussen P.H., Hetherington M. M. (eds) *Handbook of child psychology.* 1-101.

Maier A, Chabanet C, Schaal B, Leathwood P & Issanchou S. (2007). Food-related sensory experience from birth through weaning: contrasted patterns in two nearby European regions. *Appetite, 49*(2), 429-440.

Martin A. (2001). The" apports nutritionnels conseillés (ANC)" for the French population. *Reproduction Nutrition Development, 41*(2), 119-128.

Martin AA. (2016). Why can't we control our food intake? The downside of dietary variety on learned satiety responses. *Physiology & Behavior, 162*, 120-129.

Mattfeld RS, Muth ER & Hoover A. (2017). A comparison of bite size and BMI in a cafeteria setting. *Physiology & Behavior, 181*, 38-42.

McConahy KL, Smiciklas-Wright H, Birch LL, Mitchell DC & Picciano MF. (2002). Food portions are positively related to energy intake and body weight in early childhood. *The Journal of pediatrics, 140*(3), 340-347.

McNally J, Hugh-Jones S, Caton S, Vereijken C, Weenen H & Hetherington M. (2016). Communicating hunger and satiation in the first 2years of life: a systematic review. *Matern Child Nutr, 12*(2), 205-228. doi: 10.1111/mcn.12230

McNally J, Hugh-Jones S, Caton S, Vereijken C, Weenen H & Hetherington MM. (2019). The eyes have it: Infant gaze as an indicator of hunger and satiation. *Appetite, 133*, 353-361.

Meyer J-E & Pudel V. (1972). Experimental studies on food-intake in obese and normal weight subjects. *Journal of Psychosomatic Research, 16*(4), 305-308.

Mizuno K & Ueda A. (2006). Changes in sucking performance from nonnutritive sucking to nutritive sucking during breast-and bottle-feeding. *Pediatric research, 59*(5), 728.

Monnery-Patris S, Rigal N, Peteuil A, Chabanet C & Issanchou S. (2019). Development of a new questionnaire to assess the links between children's self-regulation of eating and related parental feeding practices. *Appetite, 138*, 174-183.

Näslund E & Hellström P. (2013). Peripheral mechanisms of satiation and satiety control. In: Bellisle F, Blundell JE (eds). *Satiation, Satiety and the Control of Food Intake.* 43-54.

N-O

Nicklaus S & Remy E. (2013). Early origins of overeating: Tracking between early food habits and later eating patterns. *Current Obesity Reports, 2*(2), 179-184. doi: 10.1007/s13679-013-0055-x

Ohkuma T, Hirakawa Y, Nakamura U, Kiyohara Y, Kitazono T & Ninomiya T. (2015). Association between eating rate and obesity: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Obesity, 39*(11), 1589-1596.

Okubo H, Miyake Y, Sasaki S, Tanaka K & Hirota Y. (2017). Rate of eating in early life is positively associated with current and later body mass index among young Japanese children: the Osaka Maternal and Child Health Study. *Nutrition Research, 37*, 20-28.

OMS. (2015). Obésité et surpoids.

Ong KK, Emmett PM, Noble S, Ness A & Dunger DB. (2006). Dietary energy intake at the age of 4 months predicts postnatal weight gain and childhood body mass index. *Pediatrics, 117*(3), e503-508.

P

Parkinson KN & Drewett RF. (2001). Feeding behaviour in the weaning period. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 42*(7), 971-978.

Parkinson KN, Drewett RF, Le Couteur AS & Adamson AJ. (2010). Do maternal ratings of appetite in infants predict later Child Eating Behaviour Questionnaire scores and body mass index? *Appetite, 54*(1), 186-190.

Patrick H, Nicklas TA, Hughes SO & Morales M. (2005). The benefits of authoritative feeding style: caregiver feeding styles and children's food consumption patterns. *Appetite, 44*(2), 243-249.

Pearcey SM & De Castro JM. (1997). Food intake and meal patterns of one year old infants. *Appetite, 29*(2), 201-212.

Pérez-Escamilla R, Segura-Pérez S & Lott M. (2017). Feeding guidelines for infants and young toddlers: a responsive parenting approach. *Nutrition Today, 52*(5), 223-231.

PNNS. (2005). "Health comes with eating". Retrieved 16th January 2018.

PNNS. (2015). "Children and teens nutritional guide for all parents". Retrieved 16th January 2018.

Putnam SP, Helbig AL, Gartstein MA, Rothbart MK & Leerkes E. (2014). Development and assessment of short and very short forms of the Infant Behavior Questionnaire–Revised. *Journal of personality assessment, 96*(4), 445-458.

R

Rapley G. (2011). Baby-led weaning: transitioning to solid foods at the baby's own pace. *Community Practitioner, 84*(6), 20-24.

Rapley G & Murkett T. (2008). *Baby-led Weaning: Helping Your Baby to Love Good Food*: Ebury Publishing. 256p.

Remy E, Issanchou S, Chabanet C, Boggio V & Nicklaus S. (2015). Impact of adiposity, age, sex and maternal feeding practices on eating in the absence of hunger and caloric compensation in preschool children. *International Journal of Obesity, 39*(6), 925-930. doi: 10.1038/ijo.2015.30.

Remy E, Issanchou S, Chabanet C & Nicklaus S. (2013). Repeated exposure of infants at complementary feeding to a vegetable puree increases acceptance as effectively as flavor-flavor learning and more effectively than flavor-nutrient learning. *Journal of Nutrition, 143*(7), 1194-1200. doi: 10.3945/jn.113.175646

Rigal N, Chabanet C, Issanchou S & Monnery-Patris S. (2012). Links between maternal feeding practices and children's eating difficulties. Validation of French tools. *Appetite, 58*(2), 629-637.

Robinson E, Almiron-Roig E, Rutters F, de Graaf C, Forde CG, Tudur Smith C, Nolan SJ & Jebb SA. (2014). A systematic review and meta-analysis examining the effect of eating rate on energy intake and hunger–. *The American Journal of Clinical Nutrition, 100*(1), 123-151.

Rolland-Cachera MF, Akrout M & Péneau S. (2016). Nutrient intakes in early life and risk of obesity. *International journal of environmental research and public health, 13*(6), 564.

Rolland-Cachera MF, Cole TJ, Sempe M, Tichet J, Rossignol C & Charraud A. (1991). Body mass index variations: centiles from birth to 87 years. *European Journal of Clinical Nutrition, 45*(1), 13-21.

Rolls BJ. (2017). Dietary energy density: Applying behavioural science to weight management. *Nutrition bulletin, 42*(3), 246-253.

Rolls BJ, Kim S, McNelis AL, Fischman MW, Foltin RW & Moran TH. (1991). Time course of effects of preloads high in fat or carbohydrate on food intake and hunger ratings in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 260*(4), R756-763.

S

Sampallo-Pedroza RM, Cardona-López LF & Ramírez-Gómez KE. (2014). Description of oral-motor development from birth to six years of age. *Revista de la Facultad de Medicina, 62*(4), 593-604.

Savage JS, Birch LL, Marini M, Anzman-Frasca S & Paul IM. (2016). Effect of the INSIGHT responsive parenting intervention on rapid infant weight gain and overweight status at age 1 year: a randomized clinical trial. *JAMA pediatrics, 170*(8), 742-749.

Schwartz C, Scholtens PA, Lalanne A, Weenen H & Nicklaus S. (2011). Development of healthy eating habits early in life. Review of recent evidence and selected guidelines. *Appetite, 57*(3), 796-807.

Shea S, Stein AD, Basch CE, Contento IR & Zybert P. (1992). Variability and self-regulation of energy-intake in young-children in their everyday environment. *Pediatrics, 90*(4), 542-546.

Shloim N, Shafiq I, Blundell-Birtill P & Hetherington M. (2018). Infant hunger and satiety cues during the first two years of life: Developmental changes of within meal signalling. *Appetite, 128*, 303-310.

Shloim N, Vereijken CMJL, Blundell P & Hetherington MM. (2017). Looking for cues – infant communication of hunger and satiation during milk feeding. *Appetite, 108*, 74-82.

Sievers E, Oldigs H-D, Santer R & Schaub J. (2002). Feeding patterns in breast-fed and formula-fed infants. *Annals of nutrition and metabolism, 46*(6), 243-248.

Silventoinen K, Rokholm B, Kaprio J & Sørensen TI. (2010). The genetic and environmental influences on childhood obesity: a systematic review of twin and adoption studies. *International Journal of Obesity, 34*(1), 29.

Simeoni U, Bocquet A, Briend A, Chouraqui J-P, Darmaun D, Dupont C, Feillet F, Frelut M-L, Girardet J-P & Goulet O. (2016). L'origine précoce des maladies chroniques de l'adulte. *Archives de Pédiatrie, 5*(23), 443-446.

Simmonds M, Burch J, Llewellyn A, Griffiths C, Yang H, Owen C, Duffy S & Woolacott N. (2015). The use of measures of obesity in childhood for predicting obesity and the development of obesity-related diseases in adulthood: a systematic review and meta-analysis. *Health technology assessment (Winchester, England), 19*(43), 1-336.

Skinner JD, Carruth BR, Houck K, Moran J, Reed A, Coletta F & Ott D. (1998). Mealtime communication patterns of infants from 2 to 24 months of age. *Journal of Nutrition Education, 30*(1), 8-16. doi: 10.1016/s0022-3182(98)70269-9

Smethers AD, Roe LS, Sanchez CE, Zuraikat FM, Keller KL & Rolls BJ. (2019). Both increases and decreases in energy density lead to sustained changes in preschool children's energy intake over 5 days. *Physiology & Behavior, 204*, 210-218.

Stephenson DM, Gardner JM, Walker SP & Ashworth A. (1994). Weaning-food viscosity and energy density: their effects on ad libitum consumption and energy intakes in Jamaican children. *The American Journal of Clinical Nutrition, 60*(4), 465-469.

Stettler N, Bovet P, Shamlaye H, Zemel B, Stallings V & Paccaud F. (2002). Prevalence and risk factors for overweight and obesity in children from Seychelles, a country in rapid transition: the importance of early growth. *International Journal of Obesity, 26*(2), 214.

Sumner G & Spertz A. (1994). NCAST Caregiver/Parent-Child Interaction Feeding Manual: Seattle, WA: NCAST Publications, University of Washington School of Nursing.

T

Taveras EM, Scanlon KS, Birch L, Rifas-Shiman SL, Rich-Edwards JW & Gillman MW. (2004). Association of breastfeeding with maternal control of infant feeding at age 1 year. *Pediatrics, 114*(5), e577-583.

Taylor RW, Williams SM, Fangupo LJ, Wheeler BJ, Taylor BJ, Daniels L, Fleming EA, McArthur J, Morison B & Erickson LW. (2017). Effect of a baby-led approach to complementary feeding on infant growth and overweight: a randomized clinical trial. *JAMA pediatrics, 171*(9), 838-846.

Thompson AL, Mendez MA, Borja JB, Adair LS, Zimmer CR & Bentley ME. (2009). Development and validation of the Infant Feeding Style Questionnaire. *Appetite, 53*(2), 210-221.

Timby N, Domellof E, Hernell O, Lonnerdal B & Domellof M. (2014a). Neurodevelopment, nutrition, and growth until 12 mo of age in infants fed a low-energy, low-protein formula supplemented with bovine milk fat globule membranes: a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition, 99*(4), 860-868. doi: 10.3945/ajcn.113.064295

Timby N, Hernell O, Lonnerdal B & Domellof M. (2014b). Parental feeding control in relation to feeding mode and growth pattern during early infancy. *Acta paediatrica Scandinavica, 103*(10), 1072-1077. doi: 10.1111/apa.12721

Tounian P, Javalet M & Sarrio F. (2017). *Alimentation de l'enfant de 0 à 3 ans, 3ème edition*: Elsevier Health Sciences. 207p.

Tripicchio GL, Keller KL, Johnson C, Pietrobelli A, Heo M & Faith MS. (2014). Differential maternal feeding practices, eating self-regulation, and adiposity in young twins. *Pediatrics, 134*(5), e1399-1404. doi: 10.1542/peds.2013-3828

V

Vaughn AE, Tabak RG, Bryant MJ & Ward DS. (2013). Measuring parent food practices: a systematic review of existing measures and examination of instruments. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 10*(1), 61.

Ventura A & Birch L. (2008). Does parenting affect children's eating and weight status? *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 5*(1), 15.

Ventura AK, Garcia P & Schaffner AA. (2017). Associations between bottle-feeding intensity and maternal encouragement of bottle-emptying. *Public Health Nutrition, 20*(17), 3090-3098. doi: 10.1017/s1368980017002166

Ventura AK & Hernandez A. (2018). Effects of opaque, weighted bottles on maternal sensitivity and infant intake. *Maternal & Child Nutrition, 15*, e12737.

Ventura AK & Mennella JA. (2016). An experimental approach to study individual differences in infants' intake and satiation behaviors during bottle-feeding. *Childhood Obesity, 13*(1), 44-52. doi: 10.1089/chi.2016.0122

Verdot C, Torres M, Salanave B & Deschamps V. (2017). Corpulence des enfants et des adultes en France métropolitaine en 2015. Résultats de l'étude Esteban et évolution depuis 2006. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire, 13*, 234-241.

W

Wardle J, Guthrie CA, Sanderson S & Rapoport L. (2001). Development of the Children's Eating Behaviour Questionnaire. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 42*(7), 963-970.

Wen LM, Baur LA, Simpson JM, Rissel C, Wardle K & Flood VM. (2012). Effectiveness of home based early intervention on children's BMI at age 2: randomised controlled trial. *Bmj, 344*, e3732.

Westerterp-Plantenga M. (2000). Eating behavior in humans, characterized by cumulative food intake curves—a review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 24*(2), 239-248.

Westerterp-Plantenga M, Westerterp K, Nicolson N, Mordant A, Schoffelen P & Ten Hoor F. (1990). The shape of the cumulative food intake curve in humans, during basic and manipulated meals. *Physiology & behavior, 47*(3), 569-576.

Woo JG & Martin LJ. (2015). Does breastfeeding protect against childhood obesity? Moving beyond observational evidence. *Current Obesity Reports, 4*(2), 207-216.

Worobey J, Islas Lopez M & Hoffman DJ. (2009). Maternal behavior and infant weight gain in the first year. *Journal of Nutrition Education and Behavior, 41*(3), 169-175.

Wright P. (1986). Do breast-feeding mothers know how hungry their babies are? *Midwifery, 2*(2), 86-92.

Wright P, Fawcett J & Crow R. (1980). The development of differences in the feeding behaviour of bottle and breast fed human infants from birth to two months. *Behavioural Processes, 5*(1), 1-20.

Z

Zand N, Chowdhry BZ, Pollard LV, Pullen FS, Snowden MJ & Zotor FB. (2015). Commercial 'ready-to-feed' infant foods in the UK: macro-nutrient content and composition. *Maternal & Child Nutrition*, *11*(2), 202-214.

Zandian M, Iokimidis I, Bergström J, Brodin U, Bergh C, Leon M, Shield J & Södersten P. (2012). Children eat their school lunch too quickly: an exploratory study of the effect on food intake. *BMC Public Health*, *12*(1), 351.

Zandstra EH, Mathey MA, de Graaf C & van Staveren W. (2000). Short-term regulation of food intake in children, young adults and the elderly. *Eurpoean Journal of Clinical Nutrition*, *54*(3), 239.

ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire ‘alimentation diversifée’ visant à décrire l’exposition des nourrissons à de la variabilité densité énergétique. Ce questionnaire était complété par les parents lorsque leur enfant avait 11 mois.

Code participant : PS……

Date de naissance : ……/……../……..

Questionnaire concernant les habitudes alimentaires de votre enfant <u>durant les 3 derniers mois</u>

Souvenez-vous, votre enfant avait environ 7 mois et demi …

Questionnaire rempli le ……../……../ …… *(date du jour)*

Les tableaux suivants proposent une liste d'aliments classés par grandes catégories (boissons, fruits, produits laitiers etc.). Ces tableaux nous permettront d'avoir une idée globale de l'alimentation de votre enfant durant les 3 derniers mois.

Comment remplir ces tableaux ?

Pour chaque aliment proposé, nous vous demandons d'indiquer sa fréquence de consommation et, dans certains cas, sa spécificité et le détail de sa préparation :

2 Combien de fois mon enfant a-t-il mangé cet aliment ? Jamais = je coche la case et passe à l'aliment suivant

3 Cet aliment était-il industriel, pour bébé, fait maison, allégé, en mélange … ?

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (mode de préparation, ajouts) *plusieurs choix possibles*												
Produits laitiers / desserts / glaces	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée (exprimée en mois, semaine ou jour)			pour bébé	fait maison **(précisez lait entier, écrémé, 1/2 écrémé)**	industriel classique	industriel allégé	sans ajout	sucre	édulcorant (stévia…)	compote pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucre ajouté	confiture classique	confiture allégée	crème classique	crème allégée	crème de marron	miel	autre ajout (lequel?)
Yaourt nature 1 : *P'tit onctueux Nestlé*			..... **fois / mois**	4 **fois / semaine**	..... **fois / jour**	X				X												
Yaourt nature 2 : *Velouté Danone*			..... **fois / mois**	1 **fois / semaine**	..... **fois / jour**			X			X											
Yaourt nature 3 : *Velouté Danone*			1 **fois / mois**	… **fois / semaine**	..... **fois / jour**			X					X									

L'aliment proposé

1 Je nomme la ou les 2, 3 recettes les plus fréquentes (marque exacte par exemple)

4 Quel(s) ingrédient(s) ai-je ajouté pour cette recette ? Aucun = je coche « sans ajout »

5 J'ai ajouté un autre ingrédient non listé, je le note ici

Il peut vous arriver de proposer à votre enfant un aliment sous différentes formes (différentes recettes). C'est pourquoi, pour certains aliments, nous vous proposons d'indiquer les **2 ou 3 recettes les plus fréquentes.**

Par exemple, si vous ajoutez parfois du sucre dans un yaourt nature, et parfois de la compote dans ce même yaourt nature, on considère que ce sont 2 recettes différentes. Vous l'indiquerez donc sur 2 lignes différentes (*tel que montré dans l'exemple ci-dessus*). Si vous ne proposez qu'1 seule recette, vous ne remplissez qu'1 seule ligne et passez à l'aliment suivant.

1 RECETTE = 1 LIGNE

Cas particuliers

- **Les mélanges de légumes ou de légumes/féculents**

Un mélange de légumes ou légumes/féculents préparé de la même façon sera noté 1 fois dans le tableau

Par exemple si vous proposez une purée de carotte-pomme de terre : dans la ligne correspondant à la carotte, vous noterez que la pomme de terre est le légume qui est mélangé à la carotte. Lorsque vous arrivez à la ligne correspondant à la pomme de terre, inutile de noter à nouveau que la carotte est mélangée à la pomme de terre. C'est la même recette !

N'oubliez pas, si vous ajoutez parfois du beurre et parfois de l'huile dans cette purée de carotte-pomme de terre, ce sont 2 recettes différentes, à noter sur 2 lignes différentes ! *Exemple ci-dessous*

Adoptez le même raisonnement pour les produits du commerce : une mousseline de ratatouille (carotte, pomme de terre, aubergine, poivron, tomate) peut être notée dans la ligne correspondant à la carotte OU à la pomme de terre OU à l'aubergine etc.

Durant les 3 derniers mois		**Fréquence de consommation**					**Spécificité de l'aliment**				**Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts)** *plusieurs choix possibles*																		
Légumes		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			purée maison légume seul	purée maison en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	purée pour bébé légume seul	purée pour bébé en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	sans ajout	en friture	en chips	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	vinaigrette	vinaigrette allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	autre ajout (lequel?)
Exemple: Carotte	*1: purée maison*			1 fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		pomme de terre						X															+ tapioca
	2: purée maison			2 fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour		pomme de terre							X														
	3: petit pot Blédina			1 fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour			X					X															

- **Les mélanges de légumes et/ou féculents + viande ou poisson**

Ces mélanges seront notés dans la catégorie Viandes ou la catégorie Poissons. Les légumes présents dans le mélange seront notés dans la colonne « spécificité de l'aliment ». *Exemple ci-dessous*

Durant les 3 derniers mois		**Fréquence de consommation**					**Spécificité de l'aliment**			**Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts)** *plusieurs choix possibles*														
Poissons		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			fait maison poisson seul	fait maison en mélange avec des légumes/féculents, **lesquels?**	petit pot pour bébé en mélange avec des légumes/féculents, **lesquels?**	sans ajout	en friture	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	sauce à l'oseille	sauce hollandaise	sauce béarnaise	autre sauce (laquelle ?) autre ingrédient (lequel ?)
Colin (lieu)	*1 : Naturnes*			2 fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour			courgettes + riz			X												
	2 : maison			1 fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour		pomme de terre					X									X		
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		

Ainsi, dans la catégorie Légumes, on ne doit <u>pas</u> retrouver de viande ou poisson dans la colonne « spécificité de l'aliment » !

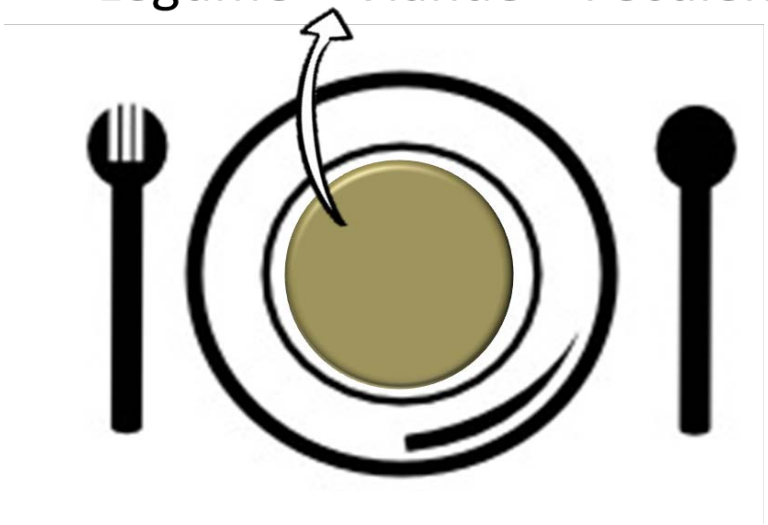
- **Les recettes avec plusieurs aliments**

Nous vous demandons de prendre en compte <u>la façon dont vous servez</u> les aliments à votre enfant.

Cas n°1

Les aliments sont servis en mélange

Légume + Viande + Féculent

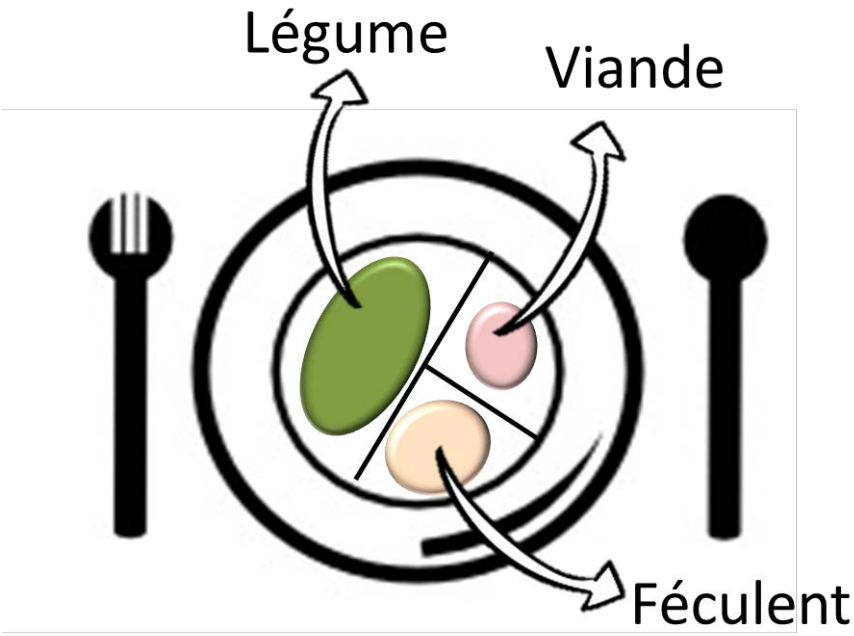


1 RECETTE = 1 LIGNE

Voir exemple en p.5

Cas n°2

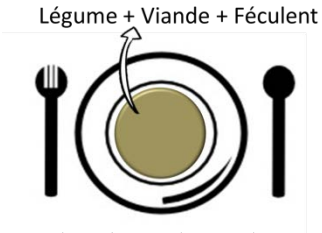
Les aliments sont servis séparément



3 RECETTES = 3 LIGNES

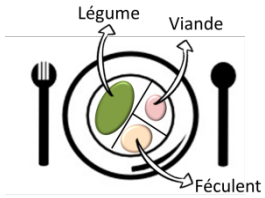
Voir exemple en p.6

Cas n°1 : **vous servez à votre enfant un mélange maison avec du poulet, des haricots verts, des pâtes et ajout d'huile. Vous notez cette recette sur 1 seule ligne dans le tableau « Viandes et œufs » :**



Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																
Viandes et œufs	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			fait maison viande seule	fait maison en mélange avec des légumes/féculents, **lesquels ?**	petit pot pour bébé viande seule	petit pot pour bébé en mélange avec des légumes/féculents **lesquels**?	sans ajout	pané	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	sauce béarnaise	sauce bourguignonne	sauce tomate	sauce barbecue	sauce béchamel	autre sauce (laquelle?) autre ingrédient (lequel?)
Poulet 1 : blanc maison			..... fois / mois	1 fois / semaine	..... fois / jour		haricots verts + pâtes					X														
Poulet 2:			..... fois / mois	..... fois / semaine	..... fois / jour																					
Poulet 3 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					

Cas n°2 : **vous servez à votre enfant ce même mélange (poulet, haricots verts, pâtes + huile), mais les aliments sont séparés. Vous notez les 3 recettes sur 3 lignes différentes dans les 3 tableaux correspondant aux aliments servis :**



Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																
Viandes et œufs	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			fait maison viande seule	fait maison en mélange avec des légumes/féculents, **lesquels ?**	petit pot pour bébé viande seule	petit pot pour bébé en mélange avec des légumes/féculents **lesquels**?	sans ajout	pané	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	sauce béarnaise	sauce bourguignonne	sauce tomate	sauce barbecue	sauce béchamel	autre sauce (laquelle?) autre ingrédient (lequel?)
Poulet 1 : blanc maison			..... fois / mois	1 fois / semaine	..... fois / jour	X				X																
2:			..... fois / mois	..... fois / semaine	..... fois / jour																					
3 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																	
Légumes	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			purée maison légume seul	purée maison en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	purée pour bébé légume seul	purée pour bébé en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	sans ajout	en friture	en chips	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	vinaigrette	vinaigrette allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	autre ajout (lequel?)
Haricots verts *1: maison*			..... fois / mois	1 fois / semaine	..... fois / jour	X							X														
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																
Féculents	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			tout prêt **(précisez si aux œufs ou au blé complet)**	fait maison **(précisez si aux œufs ou au blé complet)**	pour bébé féculent seul	pour bébé en mélange **avec quel(s) aliment(s) ?**	sans ajout	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	huile	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	sauce tomate	viande hachée	autre sauce ou ajout (lequel?)
Pâtes *1: maison*			..... fois / mois	1 fois / semaine	..... fois / jour	aux œufs				X																
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					

- **Ajout d'ingrédients et modes de préparation**

Les ajouts sont considérés comme des ingrédients en plus, ajoutés par vous lors de la préparation, et **non présents dans l'aliment tel qu'il est vendu**.

Exemple 1 : le sucre déjà présent dans les compotes n'est pas considéré comme un ajout. Si vous décidez de sucrer à nouveau la compote, ce sera un ajout et vous cocherez la case « sucre ».

Exemple 2 : si vous proposez à votre enfant un plat de lasagne acheté dans le commerce, la viande, le fromage râpé et la sauce tomate déjà présents dans le plat acheté ne seront pas considérés comme des ajouts. Si vous proposez un plat de lasagne fait maison, votre recette peut différer des recettes du commerce. Ainsi, les ingrédients que vous utilisez (ex : viande, sauce tomate, crème, fromage) seront considérés comme des ajouts et devront être cochés. Exemple ci-dessous.

Durant les 3 derniers mois		**Fréquence de consommation**					**Spécificité de l'aliment**				**Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts)** *plusieurs choix possibles*															
Féculents		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			tout prêt **(précisez si aux œufs ou au blé complet)**	fait maison **(précisez si aux œufs ou au blé complet)**	pour bébé féculent seul	pour bébé en mélange **avec quel(s) aliment(s) ?**	sans ajout	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	huile	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	sauce tomate	viande hachée	autre sauce ou ajout (lequel?)
Pâtes	1: Lasagnes bolognaise Marie			1 fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour	aux œufs				X															
	2: Lasagnes bolognaise maison			2 fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour		aux œufs						X									X	X	X	
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				

Huile et friture

Ces 2 modes de préparation devront être distingués de la façon suivante :

Huile = j'ajoute un fond d'huile dans la poêle

Friture = l'aliment est immergé dans l'huile (ex : frites)

- **Quantifier les ingrédients ajoutés**

Pour chaque catégorie d'aliment, il vous sera demandé de quantifier les ingrédients ajoutés (type sucre, huile, beurre etc.).
Nous vous demandons d'exprimer les quantités de façon précise (en grammes, ml, nombre de cuillère à café/à soupe).
Pas de panique ! Pour vous aider, nous vous avons fourni le « Portionnaire jeunes enfants ».

Exemple : Vous venez de remplir le tableau concernant les Légumes. Selon les recettes, vous avez coché différents ingrédients ajoutés : par exemple beurre, huile et crème. Il vous faut donc quantifier ces 3 ingrédients.

Utilisez le portionnaire : cet outil vous donne des valeurs de référence pour vous aider à estimer les quantités. Par exemple pour le beurre en p.19, il est noté qu'1 c.à café équivaut à 2,5g. Si vous ajoutez en général 1 c.à café de beurre, vous notez 2,5g dans le tableau. Faites de même avec l'huile et la crème.
Exemple ci-dessous

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment			Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																		
Légumes *suite*		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			purée maison légume seul	purée maison en mélange avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	purée pour bébé légume seul	purée pour bébé en mélange avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	sans ajout	en friture	en chips	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	vinaigrette	vinaigrette allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	autre ajout (lequel?)
Carotte	1: maison			1 fois / mois	.... fois / semaine	.... fois / jour		pomme de terre							X													
	2: maison			1 fois / mois	... fois / semaine	.... fois / jour		panais						X														
	3: petit pot blédina			1 fois / mois	... fois / semaine	.... fois / jour				ratatouille							X											
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Légumes ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évaluer les quantités.														3g	2,5g		6g											

p.20 p.19 p.20

Mon enfant a goûté à de nombreuses recettes … Comment faire pour me rappeler de tout ?!

Pas de panique ! Il n'est pas question de répertorier tous les aliments consommés par votre enfant.
Pour les aliments souvent proposés, il vous suffira d'indiquer **les 3 recettes les plus fréquentes.**

Par exemple, si votre enfant a déjà mangé du poulet accompagné de différents mélanges de légumes et/ou féculents, il vous suffira de noter sur 3 lignes différentes, les 3 recettes au poulet les plus fréquentes. *Exemple ci-dessous*

Durant les 3 derniers mois	**Fréquence de consommation**					**Spécificité de l'aliment**				**Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts)** *plusieurs choix possibles*																
Viandes et œufs	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			fait maison viande seule	fait maison en mélange avec des légumes/féculents, **lesquels ?**	petit pot pour bébé viande seule	petit pot pour bébé en mélange avec des légumes/féculents **lesquels**?	sans ajout	pané	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	sauce béarnaise	sauce bourguignonne	sauce tomate	sauce barbecue	sauce béchamel	autre sauce (laquelle?) autre ingrédient (lequel?)
Poulet 1 : blanc maison			..... fois / mois	1 fois / semaine	..... fois / jour		carotte pomme de terre					X														
Poulet 2 : blanc maison			..... fois / mois	1 fois / semaine	..... fois / jour		haricots verts semoule						X													
Poulet 3 : Blédina			1 fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour				tomate riz			X														

LES 3 RECETTES LES PLUS FREQUENTES

SOMMAIRE

Boissons (sauf laits)

Fruits seuls

Mélanges de fruits

Laits (sauf laits infantiles)

Jus végétaux

Fromages

Produits laitiers, desserts, glaces

Légumes

Viandes et oeufs

Poissons

Charcuteries

Féculents

Plats composés

Céréales et pains

Autres produits sucrés ou salés

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment			Détail de la préparation (mode de préparation, ajouts …) *plusieurs choix possibles*				
Boissons (sauf laits)		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			pour bébé	pour adulte classique **(pour les jus précisez pur jus, concentré ou nectar)**	pour adulte light	sans ajout	eau **(précisez la dilution)**	sucre	édulcorant (Stevia …)	autre ajout (lequel?)
Exemple : Jus de fruit	*1: Pampryl pomme*			….. fois / mois	2 fois / semaine	….. fois / jour		nectar			1/4 d'eau			
	2: Blédina abricots poires			….. fois / mois	1 fois / semaine	….. fois / jour	X			X				
	3: Réa raisin		X	…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour		pur jus			1/2 d'eau			
Jus de fruit	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour								
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
Smoothie aux fruits	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour								
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
Eau aromatisée (Vittel fraise, Volvic citron …)	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour								
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
Sirop (grenadine, pêche, citron …)	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour								
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment			Détail de la préparation (mode de préparation, ajouts …) *plusieurs choix possibles*				
Boissons (sauf laits) *suite*		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			pour bébé	pour adulte classique	pour adulte light	sans ajout	eau **(précisez la dilution)**	sucre	édulcorant (Stevia …)	autre ajout (lequel?)
Sodas gazeux (coca, fanta, limonade ...)	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour								
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
Sodas non gazeux (Ice Tea, Oasis …)	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour								
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
Tisanes ou infusions	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour								
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Boissons ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évaluer les quantités														
Autres (précisez…)				….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour								
				….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								
				…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour								

Ce tableau concerne les fruits consommés seuls. Les mélanges de fruits seront notés plus loin.

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment							Détail de la préparation (mode de préparation, ajouts …) *plusieurs choix possibles*						
Fruit seul		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			petit pot pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucre ajouté	compote maison	fruit cru (écrasé, en quartier …)	en conserve (type St Mamet)	fruit sec	sans ajout	sucre	édulcorant (Stevia …)	chantilly	chantilly allégée	miel	autre ajout (lequel?)
Exemple : Pomme	1 : Pom'pote			1 fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		X						X						
	2 : petit pot Blédina			….. fois / mois	2 fois / semaine	….. fois / jour	X							X						
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Pomme	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Poire	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Banane	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Abricot	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														

Ce tableau concerne les fruits consommés seuls. Les mélanges de fruits seront notés plus loin.

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment							Détail de la préparation (mode de préparation, ajouts …) *plusieurs choix possibles*						
Fruit seul *suite*		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			petit pot pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucre ajouté	compote maison	fruit cru (écrasé, en quartier …)	en conserve (type St Mamet)	fruit sec	sans ajout	sucre	édulcorant (Stevia …)	chantilly	chantilly allégée	miel	autre ajout (lequel?)
Coing	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Pêche, nectarine, brugnon	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Agrumes (orange, clémentine, pamplemousse)	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Fraise	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Framboise	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														

Ce tableau concerne les fruits consommés seuls. Les mélanges de fruits seront notés plus loin.

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment							Détail de la préparation (mode de préparation, ajouts …) *plusieurs choix possibles*						
Fruit seul *suite*		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			petit pot pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucre ajouté	compote maison	fruit cru (écrasé, en quartier …)	en conserve (type St Mamet)	fruit sec	sans ajout	sucre	édulcorant (Stevia …)	chantilly	chantilly allégée	miel	autre ajout (lequel?)
Cerise	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Mûre ou myrtille	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Prune ou mirabelle	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Raisin	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Figue	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														

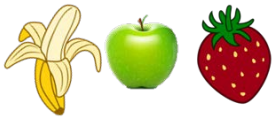
Ce tableau concerne les fruits consommés seuls. Les mélanges de fruits seront notés plus loin.

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment							Détail de la préparation (mode de préparation, ajouts …) *plusieurs choix possibles*						
Fruit seul *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			petit pot pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucre ajouté	compote maison	fruit cru (écrasé, en quartier …)	en conserve (type St Mamet)	fruit sec	sans ajout	sucre	édulcorant (Stevia …)	chantilly	chantilly allégée	miel	autre ajout (lequel?)
Fruit de la passion 1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Kiwi 1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
Melon, Pastèque 1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour														
2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Fruits seuls ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évaluer les quantités																			
Autres (précisez…) *Exemple :* Mangue		X	….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		X							X					
			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														
			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour														

Notez ici les mélanges de fruits

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment						Détail de la préparation (recette, mode de préparation, ajouts …) *plusieurs choix possibles*						
Mélanges de fruits		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			petit pot pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucre	compote maison	fruits crus (écrasés, en quartiers…)	en conserve (type St Mamet)	sans ajout	sucre	édulcorant (Stevia …)	chantilly	chantilly allégée	miel	autre ajout (lequel?)
Exemple : Pomme - *Poire*	1 : *petit pot Nestlé*			….. fois / mois	1 fois / semaine	….. fois / jour	X						X						
	2 : *pom'pote*			1 fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour		X					X						
	3 : *maison*			1 fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour				X				X					*cannelle*
Pomme - ……	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour													
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
Pomme - ……	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour													
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
Pomme - ……	1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour													
	2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
	3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													

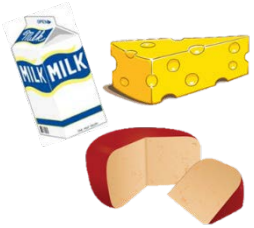
Notez ici les mélanges de fruits

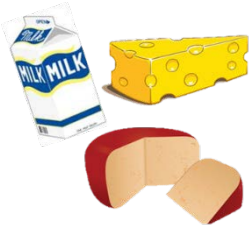


Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment						Détail de la préparation (recette, mode de préparation, ajouts …) *plusieurs choix possibles*						
Mélanges de fruits *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			petit pot pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucre	compote maison	fruits crus (écrasés, en quartiers…)	en conserve (type St Mamet)	sans ajout	sucre	édulcorant (Stevia …)	chantilly	chantilly allégée	miel	autre ajout (lequel?)
Pomme - …… 1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour													
2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
Pomme - …… 1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour													
2 : ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
3 : ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Mélanges de fruits ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évaluer les quantités																		
Autres mélanges (précisez) *Ex :* Fruits du verger Blédina			….. fois / mois	1 fois / semaine	….. fois / jour	X						X						
			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													
			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour													

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment		
Laits (sauf laits infantiles)	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			entier	1/2 écrémé	écrémé
Lait de vache			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour			
Laits d'autres animaux (jument, chèvre …)			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour			
Jus végétaux (soja, avoine, amande …)						classique	allégé	
1 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour			
2 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour			
3 : ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour			
Fromages						classique	allégé	
St Moret			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour			
Carré Frais			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour			
Vache qui Rit			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour			
Babybel, Bonbel			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour			

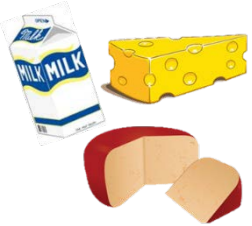
Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment	
Fromages *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			classique	allégé
Kiri			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Boursin			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Tartare			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Feta			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Mozzarella			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Fromages bleus (type roquefort)			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Port Salut			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Gruyère			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Emmental			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Brie			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		





Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment	
Fromages *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			classique	allégé
Fromage de chèvre frais (type Chavrou)			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Bûche de chèvre			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Tomme			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Fromage de brebis (etorki)			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Comté			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Camembert			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		
Coulommier			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour		

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment	
Fromages *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			classique	allégé
Beaufort			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		
St Nectaire			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		
Cancoillotte			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		
Morbier			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		
Cantal			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		
Epoisses			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		
Autres (précisez…) Exemple : Mascarpone		X	..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour	allégé	
			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		
			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		
			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		



Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (mode de préparation, ajouts) *plusieurs choix possibles*												
Produits laitiers / desserts / glaces		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			pour bébé	fait maison **(précisez lait entier, écrémé, 1/2 écrémé)**	industriel classique **(quel % de matière grasse ?)**	industriel allégé	sans ajout	sucre	édulcorant (stévia...)	compote pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucre ajouté	confiture classique	confiture allégée	crème classique	crème allégée	crème de marron	miel	autre ajout (lequel?)
Exemple : Fromage blanc nature	1 : P'tit Onctueux Nestlé			..... fois / mois	2 fois / semaine	..... fois / jour	X				X												
	2 : Gervais			2 fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour			9,20%					X									
	3 : Gervais		X	.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour			9,20%								X						
Fromage blanc nature	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Fromage blanc aromatisé ou aux fruits	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Petit suisse nature (Gervais, Yoplait ...)	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Petit suisse aromatisé ou aux fruits (type Petit Gervais)	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (mode de préparation, ajouts) *plusieurs choix possibles*												
Produits laitiers / desserts / glaces ***suite***		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			pour bébé	fait maison **(précisez lait entier, écrémé, 1/2 écrémé)**	industriel classique **(quel % de matière grasse ?)**	industriel allégé	sans ajout	sucre	édulcorant (stévia...)	compote pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucre ajouté	confiture classique	confiture allégée	crème classique	crème allégée	crème de marron	miel	autre ajout (lequel?)
Yaourt nature	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Yaourt aromatisé ou aux fruits	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Semoule et/ou riz au lait	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Crème dessert (vanille, chocolat, caramel ...)	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Viennois ou liégeois (chocolat, café, vanille ...)	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Yaourt à boire (Yop, Actimel, Petit Filou ...)	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (mode de préparation, ajouts) *plusieurs choix possibles*												
Produits laitiers / desserts / glaces ***suite***	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			pour bébé	fait maison **(précisez lait entier, écrémé, 1/2 écrémé)**	industriel classique **(quel % de matière grasse ?)**	industriel allégé	sans ajout	sucre	édulcorant (stévia...)	compote pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucre ajouté	confiture classique	confiture allégée	crème classique	crème allégée	crème de marron	miel	autre ajout (lequel?)
Flan (Type Flanby) 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Crème glacée 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Glace en cornet 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Sorbet 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
Barre chocolatée glacée 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Produits laitiers / desserts / glaces ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évlauer les quantités																						
Autres (précisez...)			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																	
			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	
			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																	

N’oubliez pas : 1 mélange de légume est noté 1 seule fois. Les mélanges de légumes + viandes/poisson seront notés plus loin

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																		
Légumes		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			purée maison légume seul	purée maison en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	purée pour bébé légume seul	purée pour bébé en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	sans ajout	en friture	en chips	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	vinaigrette	vinaigrette allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	autre ajout (lequel?)
Exemple: Carotte	*1: purée maison*			1 fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour	X								X														tapioca
	2: purée maison			2 fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour		pomme de terre							X														
	3: petit pot Blédina			1 fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour			X					X															
Carotte	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																							
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																							
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																							
Pomme de terre	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																							
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																							
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																							
Haricots verts	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																							
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																							
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																							

N’oubliez pas : 1 mélange de légume est noté 1 seule fois. Les mélanges de légumes + viandes/poisson seront notés plus loin

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																	
Légumes *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			purée maison légume seul	purée maison en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	purée pour bébé légume seul	purée pour bébé en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	sans ajout	en friture	en chips	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	vinaigrette	vinaigrette allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	autre ajout (lequel?)
Courgette *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Poireau *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Petits pois *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Brocoli *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						

N’oubliez pas : 1 mélange de légume est noté 1 seule fois. Les mélanges de légumes + viandes/poisson seront notés plus loin

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																	
Légumes *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			purée maison légume seul	purée maison en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	purée pour bébé légume seul	purée pour bébé en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	sans ajout	en friture	en chips	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	vinaigrette	vinaigrette allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	autre ajout (lequel?)
Epinard *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Aubergine *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Potiron *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Butternut *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						

N’oubliez pas : 1 mélange de légume est noté 1 seule fois. Les mélanges de légumes + viandes/poisson seront notés plus loin

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																	
Légumes *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			purée maison légume seul	purée maison en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	purée pour bébé légume seul	purée pour bébé en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	sans ajout	en friture	en chips	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	vinaigrette	vinaigrette allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	autre ajout (lequel?)
Courge *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Choux (fleur, blanc, vert, rouge) *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Pois chiches *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Lentilles *1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						

N’oubliez pas : 1 mélange de légume est noté 1 seule fois. Les mélanges de légumes + viandes/poisson seront notés plus loin

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																	
Légumes *suite*		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			purée maison légume seul	purée maison en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	purée pour bébé légume seul	purée pour bébé en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	sans ajout	en friture	en chips	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	vinaigrette	vinaigrette allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	autre ajout (lequel?)
Haricots en grains (flageolets)	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Tomate	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Concombre	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Navet	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						

N'oubliez pas : 1 mélange de légume est noté 1 seule fois. Les mélanges de légumes + viandes/poisson seront notés plus loin

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																	
Légumes *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			purée maison légume seul	purée maison en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	purée pour bébé légume seul	purée pour bébé en **mélange** avec d'autres légumes/féculents **lesquels?**	sans ajout	en friture	en chips	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	vinaigrette	vinaigrette allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	autre ajout (lequel?)
Macédoine de légumes *1:*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Céleri rave *1:*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Ratatouille *1:*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Légumes ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évaluer les quantités.																											
Autre (précisez...) **Ex :** Panais			1 fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		pomme de terre						X														
			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						

N'oubliez pas, les mélanges de viande + légumes et/ou féculents seront notés ici

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																
Viandes et œufs	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			fait maison viande seule	fait maison en mélange avec des légumes/féculents **lesquels ?**	petit pot pour bébé viande seule	petit pot pour bébé en mélange avec des légumes/féculents **lesquels**?	sans ajout	pané	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	sauce béarnaise	sauce bourguignonne	sauce tomate	sauce barbecue	sauce béchamel	autre sauce (laquelle?) autre ingrédient (lequel?)
Exemple : Jambon blanc 1 : tranche jambon			..... fois / mois	1 fois / semaine	..... fois / jour		haricots verts pomme de terre					X														
2 : tranche jambon		X	..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour		X										X									
3 : Petit pot Blédina		X	.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour				tomates courgettes pâtes	X																
Jambon blanc 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																					
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
Poulet 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																					
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
Dinde 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																					
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					

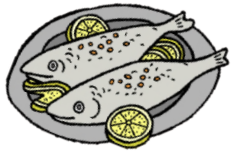
N’oubliez pas, les mélanges de viande + légumes et/ou féculents seront notés ici

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																	
Viandes et œufs *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			fait maison viande seule	fait maison en mélange avec des légumes/féculents **lesquels ?**	petit pot pour bébé viande seule	petit pot pour bébé en mélange avec des légumes/féculents **lesquels**?	sans ajout	pané	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	sauce béarnaise	sauce bourguignonne	sauce tomate	sauce barbecue	sauce béchamel	autre sauce (laquelle?) autre ingrédient (lequel?)
Canard 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Porc (sauf jambon) 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Bœuf 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
Agneau 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																						
2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						
3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																						

N’oubliez pas, les mélanges de viande + légumes et/ou féculents seront notés ici

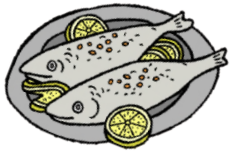
Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*																
Viandes et œufs *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			fait maison viande seule	fait maison en mélange avec des légumes/féculents, **lesquels ?**	petit pot pour bébé viande seule	petit pot pour bébé en mélange avec des légumes/féculents **lesquels**?	sans ajout	pané	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	sauce béarnaise	sauce bourguignonne	sauce tomate	sauce barbecue	sauce béchamel	autre sauce (laquelle?) autre ingrédient (lequel?)
Veau 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																					
Veau 2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
Veau 3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
	Jamais	1 seule fois ou juste goûté				œuf seul	en mélange avec des légumes/féculents **lesquels?**	entier, le blanc, le jaune ?		sans ajout	pané	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	sauce béarnaise	sauce bourguignonne	sauce tomate	sauce barbecue	sauce béchamel	autre sauce (laquelle?) autre ingrédient (lequel?)
Œuf 1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																					
Œuf 2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
Œuf 3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Viandes et œufs ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évaluer les quantités																										
Autres (précisez…)			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																					
			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					
			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																					

N’oubliez pas, les mélanges de poisson + légumes et/ou féculents seront notés ici



Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment			Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*														
Poissons		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			fait maison poisson seul	fait maison en mélange avec des légumes/féculents, **lesquels?**	petit pot pour bébé en mélange avec des légumes/féculents, **lesquels?**	sans ajout	en friture	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	sauce à l'oseille	sauce hollandaise	sauce béarnaise	autre sauce (laquelle ?) autre ingrédient (lequel ?)
Exemple : Colin (lieu)	1 : Naturnes		X	..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour			courgettes + riz	X														
	2 : maison			2 fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour		épinards					X								X			
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
Colin (lieu)	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																		
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
Lotte	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																		
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
Saumon	1 :			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																		
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		

N’oubliez pas, les mélanges de poisson + légumes et/ou féculents seront notés ici



Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation				Spécificité de l'aliment			Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*														
Poissons *suite*		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			fait maison poisson seul	fait maison en mélange avec des légumes/féculents, **lesquels?**	petit pot pour bébé en mélange avec des légumes/féculents, **lesquels?**	sans ajout	en friture	huile	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	sauce à l'oseille	sauce hollandaise	sauce béarnaise	autre sauce (laquelle ?) autre ingrédient (lequel ?)
Sole	*1 :*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																		
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
Cabillaud	*1 :*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																		
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
Poisson pané (type Croustibat)	*1 :*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																		
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
Surimi (type Coraya)	*1 :*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																		
	2 :			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
	3 :			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Poissons ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évaluer les quantités.																								
Autres (précisez…)				..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																		
				..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
				.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		
				.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																		

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Détail de la préparation *plusieurs choix possibles*									
Charcuteries		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			sans ajout	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème classique	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	autre ajout (lequel?)
Jambon cru	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour										
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour										
Saucisse cocktail (type Knacki)	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour										
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour										
Saucisse et/ou merguez	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour										
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour										
Boudin blanc	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour										
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour										
Saucisson à l'ail	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour										
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour										

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Détail de la préparation *plusieurs choix possibles*									
Charcuteries *suite*		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			sans ajout	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème classique	crème allégée	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	autre ajout (lequel?)
Saucisson sec, rosette	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour										
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour										
Salami	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour										
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour										
Pâté	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour										
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour										
Rillettes	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour										
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour										
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Charcuteries ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évaluer les quantités.																
Autres (précisez...) Ex: Boudin noir			X	..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour	X									
				..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour										
				..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour										
				..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour										

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*															
Féculents	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			tout prêt **(précisez lorsque c'est possible si aux œufs ou au blé complet)**	fait maison **(précisez si aux œufs ou au blé complet)**	pour bébé féculent seul	pour bébé en mélange **avec quel(s) aliment(s) ?**	sans ajout	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	huile	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	sauce tomate	viande hachée	autre sauce ou ajout (lequel?)
Exemple : Pâtes 1: Lasagnes			1 fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		aux œufs						X									X	X	X	
2: Spaghettis Blédichef			2 fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour				crème de légumes	X															
3: Raviolis Buitoni			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour	aux œufs																X			
Pâtes 1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																				
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
Riz 1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																				
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
Graines de blé (type Ebly) 1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																				
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment				Détail de la préparation (recette, mode de cuisson, ajouts) *plusieurs choix possibles*															
Féculents	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			tout prêt **(précisez lorsque c'est possible si aux œufs ou au blé complet)**	fait maison **(précisez si aux œufs ou au blé complet)**	pour bébé féculent seul	pour bébé en mélange **avec quel(s) aliment(s) ?**	sans ajout	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	crème	crème allégée	huile	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	lardons	fromage rapé	sauce tomate	viande hachée	autre sauce ou ajout (lequel?)
Polenta ou semoule de maïs *1:*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																				
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
Graine de couscous *1:*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																				
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
Gnocchis *1:*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																				
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Féculents ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évaluer les quantités.																									
Autres (précisez…)			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour																				
			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				
			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour																				

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Détail de la préparation (recette, mode de préparation, ajouts) *plusieurs choix possibles*												
Les plats composés		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			sans ajout	beurre ou margarine	beurre ou maragrine allégé	crème	crème allégée	huile	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	fromage rapé	autre ajout (lequel?)
Exemple : Quiche et Tartes	1: Quiche lorraine maison		X	..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour		X		X								X	lardons, œufs entiers
	2: Tarte aux poireaux Marie		X	..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour	X												
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Friand	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Quenelles	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Croque Monsieur	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Pizza	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Quiches et Tartes	1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Détail de la préparation (recette, mode de préparation, ajouts) *plusieurs choix possibles*												
Les plats composés *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			sans ajout	beurre ou margarine	beurre ou maragrine allégé	crème	crème allégée	huile	ketchup	ketchup allégé	mayonnaise	mayonnaise allégée	béchamel	fromage rapé	autre ajout (lequel?)
Hamburger 1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Sandwich 1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Kebab 1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Nem 1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Soufflé au fromage 1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Crêpe salée fourrée 1:			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Plats composés ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évaluer les quantités.																		
Autres (précisez ...)			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Spécificité de l'aliment		Détail de la préparation (recette, ajouts) *plusieurs choix possibles*										
Céréales et pains		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			pour adulte	pour bébé	sans ajout	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	confiture classique	confiture allégée	compote pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucres ajoutés	pâte à tartiner au chocolat	miel	autre ajout (précisez)
Exemple : ***Pain*** *(type baguette)*	*1: Quignon*			..... fois / mois	4 fois / semaine	..... fois / jour			X										
	2: Tartine			..... fois / mois	1 fois / semaine	..... fois / jour				X									
	3: Tartine			3 fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour						X							
Pain (type baguette)	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Pain de mie	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Biscottes, pain grillés (type suédois)	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Galette de céréales (riz, avoine, maïs ...)	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Biscuits secs	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
Biscuits fourrés et cakes	*1: .....*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour													
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour													

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation					Détail de la préparation (recette, ajouts) *plusieurs choix possibles*										
Céréales et pains *suite*		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			sans ajout	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	confiture classique	confiture allégée	compote pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucres ajoutés	pâte à tartiner au chocolat	miel	autre ajout (précisez)
Pain au lait	*1:*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour											
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour											
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour											
Pain d'épice	*1:*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour											
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour											
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour											
Viennoiseries (pain au chocolat, brioche, beignet ...)	*1:*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour											
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour											
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour											
Crêpes	*1:*			..... fois / mois	.... fois / semaine	..... fois / jour											
	2:			..... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour											
	3:			.... fois / mois	... fois / semaine	..... fois / jour											

Durant les 3 derniers mois	Fréquence de consommation					Détail de la préparation (recette, ajouts) *plusieurs choix possibles*										
Céréales et pains *suite*	Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*			sans ajout	beurre ou margarine	beurre ou margarine allégé	confiture classique	confiture allégée	compote pour bébé	compote pour adulte classique	compote pour adulte sans sucres ajoutés	pâte à tartiner au chocolat	miel	autre ajout (précisez)
Céréales (type CornFlakes, Miel Pop's, Chocapic …) *1:* ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour											
2: ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour											
3: ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour											
Céréales infantiles (type Blédine, P'tite céréale …) *1:* ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour											
2: ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour											
3: ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour											
Barre de céréales (type Granit) *1:* ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour											
2: ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour											
3: ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour											
En général, quelle quantité d'ingrédient ajoutez-vous dans les Céréales et pains ? Merci d'utiliser le portionnaire pour évaluer les quantités.																
Autres (précisez…)			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour											
			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour											
			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour											
			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour											

Durant les 3 derniers mois		Fréquence de consommation				
Autres produits sucrés ou salés		Jamais	1 seule fois ou juste goûté	Inscrivez la fréquence de consommation la plus appropriée *Vous pouvez choisir de l'exprimer en mois, semaine ou jour*		
Pâtisseries (éclair, tartelette, chou…)	1: ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour
	2: ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
	3: ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
Pâte de fruit	1: ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour
	2: ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
	3: ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
Chocolat noir	1: ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour
	2: ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
	3: ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
Chocolat blanc ou au lait	1: ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour
	2: ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
	3: ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
Bonbons	1: ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour
	2: ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
	3: ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
Barre chocolatée (type mars, twix …)	1: ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour
	2: ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
	3: ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
Gâteaux apéritif salés (Curly, Tuc, Pringles …)	1: ……			….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour
	2: ……			….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
	3: ……			…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
Autres (précisez…)				….. fois / mois	…. fois / semaine	….. fois / jour
				….. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour
				…. fois / mois	… fois / semaine	….. fois / jour

Une dernière question …

S’il vous arrive d’ajouter du **beurre** dans les aliments de votre enfant, merci de préciser lequel:

Marque du beurre utilisé : …….

S’il vous arrive d’ajouter de l’**huile** dans les aliments de votre enfant, merci de préciser laquelle:

Marque de l’huile utilisée : ……

S’il vous arrive d’ajouter de l’**édulcorant** dans les aliments de votre enfant, merci de préciser lequel:

Marque de l’édulcorant utilisé : …….

Annexe 2 : Poster présenté au Forum des Jeunes Chercheurs de l'Université de Bourgogne Franche-Comté, Besançon (France), Juin 2016.

Brugaillères P.*, Issanchou S., Schwartz C. Capacités d'ajustement énergétique à court terme chez le nourrisson : développement méthodologique. *Forum des Jeunes Chercheurs de l'Université de Bourgogne-Franche-Comté*, Besançon (France), Juin 2016.

Capacités d'ajustement énergétique à court terme chez le nourrisson : développement méthodologique

P. Brugaillères[1], S. Issanchou[1], C. Schwartz[1]

[1] Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, CNRS, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Pourquoi un développement méthodologique ?

Le contrôle de la balance énergétique peut se faire de deux façons :

- ajuster les dépenses énergétiques
- **ajuster les apports énergétiques**

Après une période d'apprentissage, les nourrissons de moins de 4 mois sont capables d'ajuster le volume de formule infantile ingérée en fonction de sa densité énergétique [1].
De 4 à 11 mois, une relation négative significative a été rapportée entre la taille des portions consommées et la densité énergétique des apports ; ce n'est plus le cas de 12 à 24 mois [2].

Comment les nourrissons ajustent-ils leur prise énergétique ?

Le paradigme de compensation calorique, couramment utilisé chez l'adulte, permet de mesurer la capacité d'ajustement énergétique en fonction de la prise énergétique lors de la précédente prise alimentaire. L'ajustement énergétique se mesure en donnant au sujet un aliment dit *pré-charge* plus ou moins énergétique, suivi, après un laps de temps déterminé, d'un repas *ad libitum* [3].

A ce jour, aucune méthodologie n'a été développée chez les enfants de moins de 2 ans, qui ont la particularité d'être toujours dépendants de leur mère pour se nourrir.

L'objectif est de développer une mesure d'ajustement énergétique à court terme (dit paradigme de compensation calorique) **adaptée aux nourrissons :**

- **lorsque l'alimentation est exclusivement lactée** (de 0 à 5-6 mois environ)
- **lorsque l'alimentation est diversifiée** (de 5-6 mois à 15-18 mois environ)

Méthode développée

Le principe : La mère et son enfant viennent deux fois au laboratoire sur deux jours différents. Chaque jour, deux prises alimentaires sont proposées à l'enfant :

- la 1ère prise alimentaire est assimilée à une *pré-charge*
- la 2ème prise alimentaire est un repas *ad libitum*

Les deux jours diffèrent selon l'apport calorique de la 1ère prise alimentaire : celle-ci peut-être de **Faible Energie (Jour FE)** ou de **Haute Energie (Jour HE)**. La **procédure est à l'aveugle** pour la mère qui ne sait pas quel aliment est de faible ou haute énergie. **Les quantités consommées sont évaluées par pesées.** Le protocole a été approuvé par le Comité de Protection des Personnes Est I Bourgogne, n°2015-A00014-45.

Contrainte commune aux deux périodes :

- le nourrisson est dépendant de sa mère pour se nourrir : s'assurer d'une consommation *ad libitum* doit passer par des consignes précises d'arrêt du repas

Contraintes concernant la période d'alimentation lactée exclusive :

- l'aliment proposé ne peut être que du lait (formule infantile)
- les nourrissons allaités peuvent ne jamais avoir reçu de formule infantile

Naissance — **Alimentation lactée exclusive** — Diversification alimentaire ≈ 5-6 mois — **Alimentation diversifiée** — ≈ 15-18 mois

Jour FE / Jour HE

1ère prise alimentaire

≈ 97kcal/180ml — **20% moins calorique** qu'habituellement

OU

≈ 145kcal/180ml — **20% plus calorique** qu'habituellement

- à domicile
- formule infantile habituelle ou choisie par la mère pour les enfants allaités
- jours FE/HE contrebalancés entre les enfants
- quantité habituelle, définie par la mère

Délai habituel (plusieurs heures)

2ème prise alimentaire

≈ 121kcal/180ml

300ml maximum de formule infantile

- au laboratoire, donné par la mère
- formule infantile habituelle ou choisie par la mère pour les enfants allaités
- consommation *ad libitum*
- critère d'arrêt : 2 refus consécutifs

+ suivi alimentaire pendant 15 jours consécutifs incluant les deux jours de venue au laboratoire (Jours FE et HE).

Jour FE / Jour HE

1ère prise alimentaire

= 22kcal — **66,7g** de purée de carotte

OU

= 65kcal — **61,8g** de purée de carotte + **5g** d'huile végétale

- au laboratoire, donné par la mère
- jours FE/HE contrebalancés entre les enfants
- purée à consommer intégralement

Délai fixe de 25 minutes

2ème prise alimentaire

≈ 64kcal/100g — **300g** (1,5 portions) de purée de légumes + viande ou poisson

+

≈ 50kcal/100g — **195g** (1,5 portions) de compote de fruit

- au laboratoire , donné par la mère
- recettes choisies par la mère pour respecter les préférences de l'enfant
- consommation *ad libitum*
- critère d'arrêt : 2 refus consécutifs

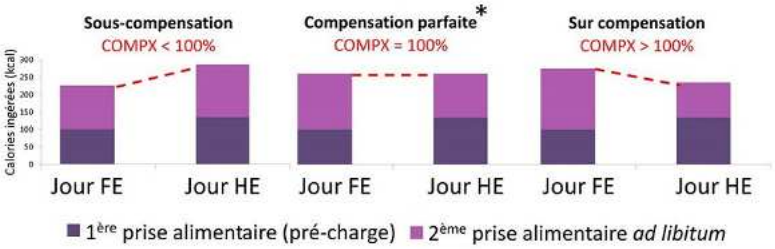
+ suivi alimentaire pendant 4 jours non consécutifs incluant les 24h qui suivent les deux venues au laboratoire (Jours FE et HE) + 1 jour de semaine et 1 jour de week-end.

Calcul du score de compensation calorique (COMPX)

Le principe : Un nourrisson qui ajuste parfaitement* sa prise alimentaire ingère autant de calories lors des deux prises alimentaires d'intérêt les jours FE et HE.

$$COMPX\,(\%) = \frac{C2_{FE} - C2_{HE}}{C1_{HE} - C1_{FE}} \times 100$$

$C2_{FE}$: Calories ingérées, 2ème prise alimentaire, Jour FE
$C2_{HE}$: Calories ingérées, 2ème prise alimentaire, Jour HE
$C1_{HE}$: Calories ingérées, 1ère prise alimentaire, Jour HE
$C1_{FE}$: Calories ingérées, 1ère prise alimentaire, Jour FE



Perspectives

Dans le cadre d'une étude longitudinale, cette méthode sera appliquée aux enfants âgés d'environ **4 mois**, puis aux **10 et 14 mois** afin de couvrir les deux périodes cibles (lors de l'alimentation lactée exclusive puis au cours de la diversification alimentaire).

Questions de recherche :

Impact de l'interaction mère-enfant ?

≈ 4 mois — **Évolution avec l'âge ?** — 10 mois — 14 mois

Effet du mode d'allaitement ?

2 groupes

- 50% enfants allaités exclusivement 2 mois minimum
- 50% enfants nourris au biberon depuis la naissance

Capacités d'ajustement énergétique à court terme

Effet des pratiques d'alimentation diversifiée ?

Évaluation par questionnaires (âge, types d'aliments introduits, exposition à des aliments plus ou moins caloriques ...)

FJC Besançon, Juin 2016

Remerciements : S. Nicklaus, C. Chabanet, V. Feyen, E. Szleper

Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation

[1] Fomon SJ, Anderson TA., & Nelson S.E. (1975). Influence of formula concentration on caloric intake and growth of normal infants. *Acta Paediatrica*,64(2), 172-181.
[2] Fox, M. K., Devaney, B., Reidy, K., Razafindrakoto, C., & Ziegler, P. (2006). Relationship between portion size and energy intake among infants and toddlers: evidence of self-regulation. *Journal of the American Dietetic Association*, *106*(1), 77-83.
[3] Almiron-Roig, E., Palla, L., Guest, K., Ricchiuti, C., Vint, N., Jebb, S. A., & Drewnowski, A. (2013). Factors that determine energy compensation: a systematic review of preload studies. *Nutrition Reviews*, *71*(7), 458-473.

Contact : pauline.brugailleres@dijon.inra.fr

Annexe 3 : Poster présenté au Colloque de la Société Française pour l'Etude du Comportement Animal, Rennes (France), Juin 2018.

Brugaillères P.*, Chabanet C., Issanchou S., Schwartz C. Lien entre fonctionnement de la dyade mère-nourrisson au cours du repas et capacités d'ajustement énergétique autour de 11 mois. *Colloque de la Société Française pour l'Etude du Comportement Animal*, Rennes (France), Juin 2018.

Liens entre fonctionnement de la dyade mère-nourrisson au cours du repas et capacités d'ajustement énergétique autour de 11 mois

P. Brugaillères[1], C. Chabanet[1], S. Issanchou[1], C. Schwartz[1]

[1] Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Université Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Contexte

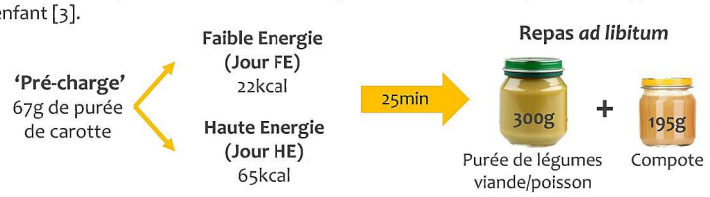
Le nourrisson étant **dépendant d'un parent pour être nourri**, l'initiation et l'**arrêt du repas** sont liés au **fonctionnement de la dyade parent-nourrisson** [1]. Un **ajustement discordant** entre le parent et le nourrisson pourrait **altérer les capacités d'ajustement énergétique** du nourrisson, aboutissant *in fine*, à une **accélération du gain de poids** [2].

Objectifs

- Décrire le fonctionnement de la dyade mère-nourrisson au cours du repas :
  Décrire le pattern de consommation (durée, quantités …)
  Examiner si le rythme des cuillerées est lié à la taille des cuillerées
- Évaluer dans quelle mesure le fonctionnement dyadique est lié aux capacités d'ajustement énergétique des nourrissons

Mesure de compensation calorique (COMPX)

À **11 mois,** 2 repas au laboratoire sur 2 jours non consécutifs, recettes appréciées par l'enfant [3].



Le **score COMPX** traduit dans quelle mesure le nourrisson est capable d'ajuster sa prise alimentaire lors du repas en fonction de l'énergie de la pré-charge.

		Énergie totale ingérée (kcal)	
COMPX	< 100 %	Jour FE < Jour HE	
	= 100 %	Jour FE = Jour HE	Ajustement énergétique parfait
	> 100 %	Jour FE > Jour HE	

Observation des repas *ad libitum*

- Interactions libres
- La mère nourrit son enfant
- Critère d'arrêt de consommation pour chaque aliment : 2 refus consécutifs
- Expérimentateur derrière vitre sans tain

Détails développement méthodologique [4]

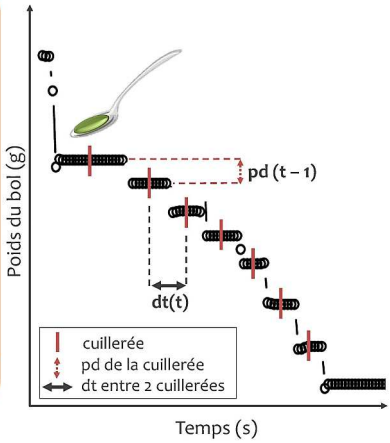
6 variables étudiées pour la conso. de la purée

Repas filmés (2 caméras)
Codage Noldus The ObserverXT®

1. Durée du repas

Balance connectée
Enregistre le poids du bol chaque seconde

2. Quantité consommée
3. Nombre de cuillerées
4. Poids moyen des cuillerées (pd)
5. Delta-temps moyen entre 2 cuillerées (dt)
6. Corrélation entre dt(t) et pd(t-1)



Résultats (n=38 dyades)

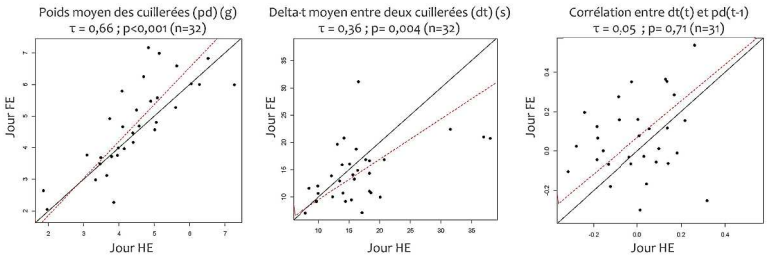
1 Description du fonctionnement de la dyade

1a. Description des 6 variables pour la conso. de la purée (Moyenne ± ET (n))

	Durée du repas (min)	Quantité consommée (g)	Nb de cuillerées	Pd cuillerées (g/cuillerée)	dt entre deux cuillerées (s)	Corrélation d(t)~pd(t-1)
Jour FE	7 ± 3 (33)	155 ± 71 (34)	34 ± 15 (34)	5 ± 1 (34)	15 ± 5 (34)	0,05 ± 0,20 (34)
Jour HE	6 ± 3 (36)	135 ± 76 (36)	30 ± 15 (36)	5 ± 1 (36)	17 ± 7 (36)	0,002 ± 0,16 (35)
Moy.	7 ± 2 (38)	146 ± 68 (38)	32 ± 13 (38)	5 ± 1 (38)	16 ± 5 (38)	0,03 ± 0,18 (38)

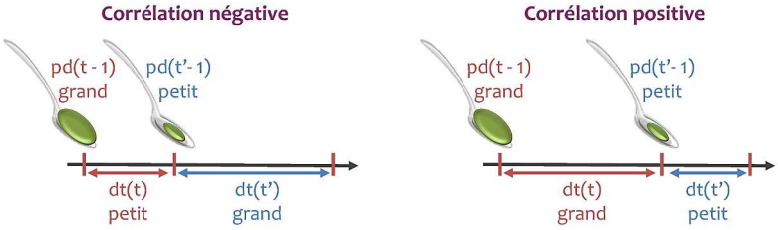
1b. Corrélations entre les variables de conso. de la purée (Jour FE *vs* Jour HE, Kendall)

- Durée du repas : τ= 0,27 ; p= 0,03 (n=31)
- Quantités consommées : τ= 0,55 ; p< 0,001 (n=32)
- Nombre de cuillerées : τ= 0,43 ; p< 0,001 (n=32)



—— Bissectrice; ---- Régression (avec erreur sur la variable explicative)

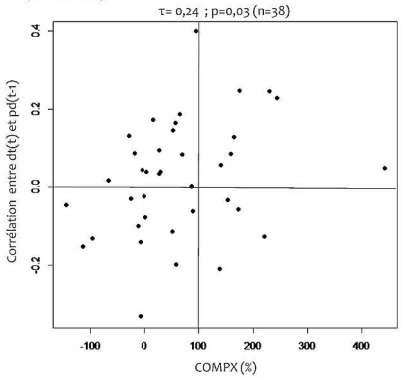
2 Interprétation de la corrélation entre dt(t) et pd(t - 1)



Le rythme augmente avec la taille des cuillerées

Le rythme diminue avec la taille des cuillerées

3 Lien entre fonctionnement de la dyade et capacités d'ajustement énergétique (Kendall)



$\overline{X}COMPX \pm SD = 64{,}4 \pm 113{,}8\ \%$

Plus la corrélation est positive entre dt(t) et pd(t-1), plus le COMPX est élevé

dt(t) = delta-t entre deux cuillerées (s) ; pd(t-1) = poids de la cuillerée précédente (g)

Conclusions

- **Il semble exister des patterns de consommation individuels.**
- Plus le rythme des cuillerées semble être **adapté** à la taille des cuillerées (i.e., plus le rythme diminue avec la taille des cuillerées) **meilleures sont les capacités d'ajustement énergétique.**

Perspective

Dans le cadre d'une étude longitudinale, **ces observations ont été réalisées aux 15 mois des nourrissons.** Nous avons montré que **les capacités d'ajustement énergétique se détérioraient entre 11 et 15 mois** [3]. Une perspective sera d'étudier **dans quelle mesure cette détérioration est liée au fonctionnement de la dyade mère-nourrisson.**

Remerciements : S. Nicklaus, V. Feyen, E. Szleper, J. Maratray

Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation

[1] McNally et al., 2016. *Mat & Child Nutr* 12(2), 205-228.
[2] DiSantis et al., 2011. *Int J of Obes* 35(4), 480-492.
[3] Brugaillères et al., 2017. *Proceedings de JFN* (Nantes 13-15 Décembre).
[4] Brugaillères et al., 2018. Proceedings de Mesuring Behav (Manchester, 6-8 Juin).

SFECA, 19-21 juin 2018 (Rennes)

Contact : pauline.brugailleres@inra.fr

Annexe 4 : Poster présenté au Congrès ‘European conference on sensory and consumer research’, Vérone (Italie), Septembre 2018.

Brugaillères P.*, Chabanet C., Issanchou S., Schwartz C. Associations between mother-infant dyadic functioning during mealtimes and infant’s caloric compensation ability. Flash presentation *Congrès European conference on sensory and consumer research*, Vérone (Italie), Septembre 2018.

Associations between mother-infant dyadic functioning during mealtimes and infants' caloric compensation ability

P. Brugaillères, C. Chabanet, S. Issanchou, C. Schwartz

Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Université Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Context

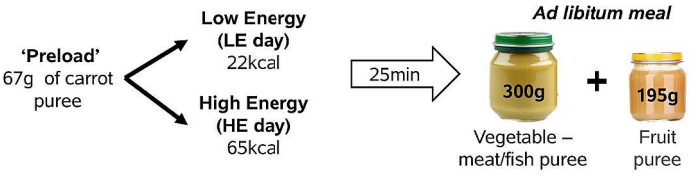
Infants being **dependent on a caregiver to be fed**, the **meal** initiation and **cessation** are highly linked to the **parent-infant dyadic functioning** [1]. A '**discordant caregiver-infant dynamic**' **can alter the infant's caloric compensation ability**. This might lead to an **accelerated weight gain** and in turn to overweight [2].

Objectives

- To describe the mother-infant dyadic functioning during mealtimes at 11 and 15 mo:
  Does a pattern of consumption exist?
  Is the spoonful pace linked to the spoonful size?
- To describe the evolution of the mother-infant dyadic functioning and the caloric compensation ability between 11 and 15 mo
- To assess to which extent the dyadic functioning is linked to the infant's caloric compensation ability at 11 and 15 mo

Caloric compensation measure (COMPX)

At **11 (n=46) and 15 mo (n=35):** 2 meals at the laboratory on 2 non-consecutive days, recipes appreciated by the infants [3].

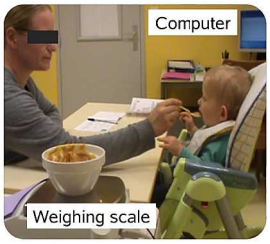


The **COMPX** score reflects the infant's ability to adjust energy intake during the *ad libitum* meal in response to the preload energy.

		Energy intake (kcal)	
COMPX	<100 %	LE day < HE day	Undercompensation
	=100 %	LE day = HE day	Accurate caloric compensation
	>100 %	LE day > HE day	Overcompensation

Observation of the *ad libitum* meal

- Infants fed by their mothers
- Free interactions
- Experimenter behind a two-way mirror door
- Stop feeding criteria: 2 consecutive refusals

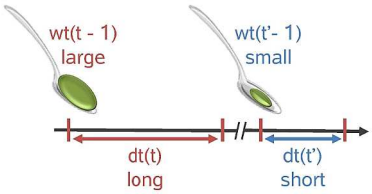


Connected weighing scale
Weight of the bowl recorded every second

For more details see [4]

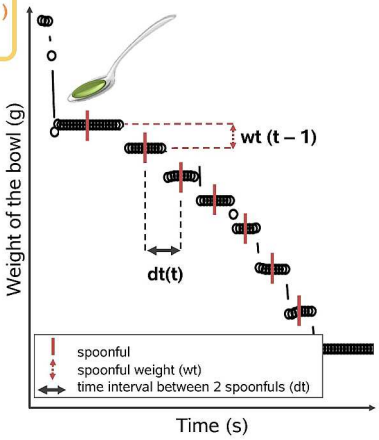
3 studied variables for the vegetable puree consumption

1. **Mean spoonful weight (wt)**
2. **Mean time interval between 2 spoonfuls (dt)**
3. **Kendall correlation between dt(t) and wt(t-1) = Pace adaptation**



Positive correlation

The larger the spoonful, the longer the time interval until the next spoonful



Results

1 Description of the mother-infant dyadic functioning at each age

1a. **Description of the 3 variables**

		wt (g/spoonful)	dt (s)	Pace adaptation (Kendall τ)
11 mo (n_{max}=36)	LE day	5 ± 1	15 ± 5	0.02 ± 0.18
	HE day	5 ± 1	17 ± 7	0.03 ± 0.18
15 mo (n_{max}=26)	LE day	5 ± 1	13 ± 4	0.10 ± 0.15
	HE day	5 ± 1	15 ± 4	-0.001 ± 0.18

Values are Means ± SDs

1b. **Correlations** between the LE and the HE days

	wt (g/spoonful)	dt (s)	Pace adaptation
11 mo (n_{max}=32)	τ=0.66; p<0.001	τ=0.36; p=0.002	τ=0.11; p=0.20
15 mo (n=21)	τ=0.44; p=0.002	τ=0.62; p<0.001	τ=0.20; p=0.11

Unilateral Kendall corr.

At each age, the spoonful weight and the time interval between 2 spoonfuls are stable over two days

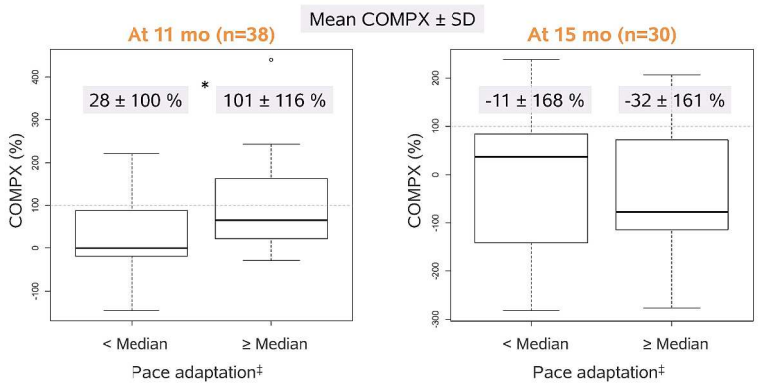
2 Comparisons of the mother-infant dyadic functioning and the caloric compensation ability between 11 and 15 mo

Longitudinal sample, n= 23	wt (g/spoonful)†	dt (s)†	Pace adaptation†	COMPX (%)
11 mo	4 ± 1	17 ± 6	-0.002 ± 0.16	65 ± 128
15 mo	5 ± 1 **	14 ± 4 *	0.05 ± 0.14	-5 ± 158 •

Values are Means ± SDs; †Mean LE, HE days
Paired *t*.test, **p<0.001, *p<0.05, •p<0.10

Between 11 and 15 mo: the pace increases (wt increases while dt decreases) and the COMPX tends to decrease

3 Links between the dyadic functioning (pace adaptation) and the caloric compensation ability at each age (COMPX)



‡ Calculated on the mean pace adaptation of LE and HE or LE or HE days (depending on the available data). Split median at 11 mo=0.04; at 15 mo=0.07.

At 11 mo, the COMPX is higher when the pace adaptation is above the median
*Unpaired *t*.test, t(36)= -2.1 ; p= 0.04

At 15 mo, no links between the pace adaptation and the COMPX
*Unpaired *t*.test, t(28)= -0.3 ; p= 0.73

Conclusions & perspective

- There seems to be **dyadic patterns of consumption at 11 and 15 mo**
- The **pace increases** and the **COMPX tends to decrease between 11 and 15 mo**
- At 11 mo, when the **spoonful pace is positively linked to the spoonful size**, the infants have a **better caloric compensation ability.** This pace adaptation could correspond to a **favorable** situation.
- Such association is not found at 15 mo

In children, it has been shown that the eating rate decreases over the course of the meal [5]. A perspective of this work will be to assess the **dynamic of the meal by comparing the first and the last third**: *does the pace adaptation differ? To which extent differences in the dynamic could be linked to the caloric compensation ability?*

Acknowledgements: S. Nicklaus, V. Feyen, E. Szleper, J. Maratray

Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation

[1] McNally et al., 2016. *Mat & Child Nutr* **12**(2), 205-228.
[2] DiSantis et al., 2011. *Int J Obes* **35**(4), 480-492.
[3] Brugaillères et al., 2017. *Proceedings of JFN* (Nantes, 13-15 December).
[4] Brugaillères et al., 2018. *Proceedings of Measuring Behavior* (Manchester, 6-8 June) https://www.measuringbehavior.org/files/2018/MB2018%20Proceedings.pdf
[5] Llewellyn et al., 2008. *Am J Clin Nutr* **88**(6), 1560-1566.

ANR-15-CE21-0014

EUROSENSE, 2-5 September 2018 (Verona, Italy)

Contact : pauline.brugailleres@inra.fr

RÉSUMÉ

Être capable d'ajuster les quantités consommées selon la densité énergétique des aliments contribue au maintien de l'équilibre de la balance énergétique. Dans un contexte de prévalence du surpoids chez l'enfant, il est crucial d'identifier les facteurs précoces susceptibles d'affecter les capacités d'ajustement énergétique. Durant toute la diversification alimentaire, les quantités ingérées, et donc les capacités d'ajustement énergétique, dépendent en partie de la qualité de l'interaction parent-enfant. Une étude épidémiologique suggère que les capacités d'ajustement énergétique se détérioreraient vers l'âge de un an. C'est aussi à cette période que survient le passage d'une alimentation spécifique bébé à une alimentation de type adulte.

Aussi, dans ce travail, nous avons mis en place un suivi longitudinal afin de décrire, à l'aide d'une mesure expérimentale de compensation calorique, les changements développementaux des capacités d'ajustement énergétique entre 11 et 15 mois. Nous avons aussi exploré si certains facteurs relatifs aux caractéristiques individuelles des nourrissons, aux aliments qu'ils avaient consommés ou à l'interaction mère-nourrisson au cours du repas étaient liés aux capacités d'ajustement énergétique.

Nous avons mis en évidence qu'à 11 et 15 mois les nourrissons sous-compensent leur prise énergétique à la suite de la consommation d'un premier aliment plus ou moins calorique, avec cependant de grandes différences interindividuelles. L'ajustement énergétique n'est pas meilleur si l'on considère l'ensemble des prises alimentaires au cours des 24h suivant la consommation de ce premier aliment. À 11 mois, les nourrissons ont de meilleures capacités d'ajustement énergétique lorsque, au cours du repas, la mère adapte le rythme des cuillerées à la taille des cuillerées ce qui pourrait refléter un nourrissage réceptif. À 15 mois, les nourrissons ajustent leur prise alimentaire sur des critères volumétriques plutôt que caloriques. Quel que soit l'âge, aucun lien n'a été mis en évidence entre l'expérience alimentaire des nourrissons (lactée et diversifiée) et leurs capacités d'ajustement énergétique. Concernant les changements développementaux, nous avons montré que les capacités d'ajustement énergétique se détériorent de 11 à 15 mois. Les nourrissons pour lesquels cette détérioration est plus importante sont perçus par leur mère comme étant plus 'attirés' par la nourriture. De plus, la détérioration des capacités d'ajustement énergétique est associée à une augmentation du z-IMC entre 11 et 15 mois et à un z-IMC plus élevé à 24 mois. Par ailleurs, plus les nourrissons sont exposés à des recettes de légumes de densité énergétique variable entre 8 et 11 mois, moins leur z-IMC est élevé à 8 mois et 11 mois. Ce travail souligne que les capacités d'ajustement énergétique sont associées à différents facteurs précoces relatifs au fonctionnement de la dyade mère-nourrisson et au statut pondéral des nourrissons. Ces résultats ouvrent un nouveau champ de recherche visant à comprendre la causalité de ces liens. In fine, cela permettrait de mieux accompagner les parents pour qu'ils adoptent des pratiques permettant le développement optimal des capacités d'ajustement énergétique de leur enfant au cours de la période clé des 1000 premiers jours.

Mots-clés : compensation calorique, statut pondéral, diversification alimentaire, nourrissage réceptif, étude longitudinale

ABSTRACT

Being able to adjust food intake according to the energy density of food is one way to self-regulate energy intake and maintain a healthy energy balance. In the context of the prevalence of overweight in children, it appears crucial to identify early factors that may affect caloric adjustment abilities. During the complementary feeding process, the amount consumed, and in turn, the caloric adjustment abilities depend in part on the quality of the caregiver-infant interaction. An epidemiological study suggests that caloric adjustment abilities might deteriorate around one year old; a time when the transition from baby-foods towards adult like foods occurs in the infant diet.

In this work, we performed a laboratory-based assessment of the infants' caloric adjustment ability by adapting the preload paradigm. By using a longitudinal approach, we first described the developmental changes in infants' caloric adjustment ability between 11 and 15 mo. Then, we explored whether some factors related to the infants' characteristics, the type of foods consumed or the mother-infant interaction during the meal were linked to the caloric adjustment ability.

We showed that, at 11 and 15 mo, the infants under-compensated their energy intake after consuming a food preload more or less caloric. However, we observed large inter-individual variation in this ability. The level of caloric adjustment was not better when considering the total food intake during the 24 h following the food preload consumption. At 11 mo, infants had better caloric adjustment ability when the mother adapted the spoonful pace to the spoonful weight content; this dynamic during the meal could reflect a responsive feeding. At 15 mo, the infants exhibited a volumetric adjustment rather than a caloric adjustment. Regardless of the studied age, no significant links were found between the infants' feeding experience (milk and complementary foods) and their caloric adjustment ability. Regarding the developmental changes, we observed that the infants' caloric adjustment ability deteriorated from 11 to 15 mo. The more this deterioration, the more the infants were perceived as 'attracted by food' by their mothers. Moreover, the more this deterioration, the more the z-BMI increased between 11 and 15 mo, and the higher the z-BMI was at 24 mo. In addition, the more the infants were exposed to a wide range of energy density for the vegetable-based recipes between 8 and 11 mo, the lower their z-BMI was at 8 and at 11 mo. This work highlights that caloric adjustment ability is associated with various early factors related to the mother-infant dyadic functioning and the infants' weight status. These results open up a new research field to understand the causality underpinning these links. In fine, this would allow to assist parents to support an optimal development of their infant's caloric adjustment abilities during the key period of the first 1000 days.

Key-words: caloric compensation, weight status, complementary feeding, responsive feeding, longitudinal study