

Académie d'agriculture de France
Séance publique du 26 novembre 2025

Alimentation humaine et produits animaux

Modélisation de diètes alimentaires durables

Matthieu Maillot, PhD

Co-fondateur de MS-Nutrition

matthieu.maillot@ms-nutrition.com



Sommaire

- Définition d'une alimentation durable
- Approche de modélisation en santé publique
- Changements alimentaires pour atteindre une alimentation plus durable
- Limites et perspectives

Alimentation Durable (définition FAO, 2010)¹



Food and Agriculture
Organization of the
United Nations



2019 : “Alimentation Saine et Durable”²

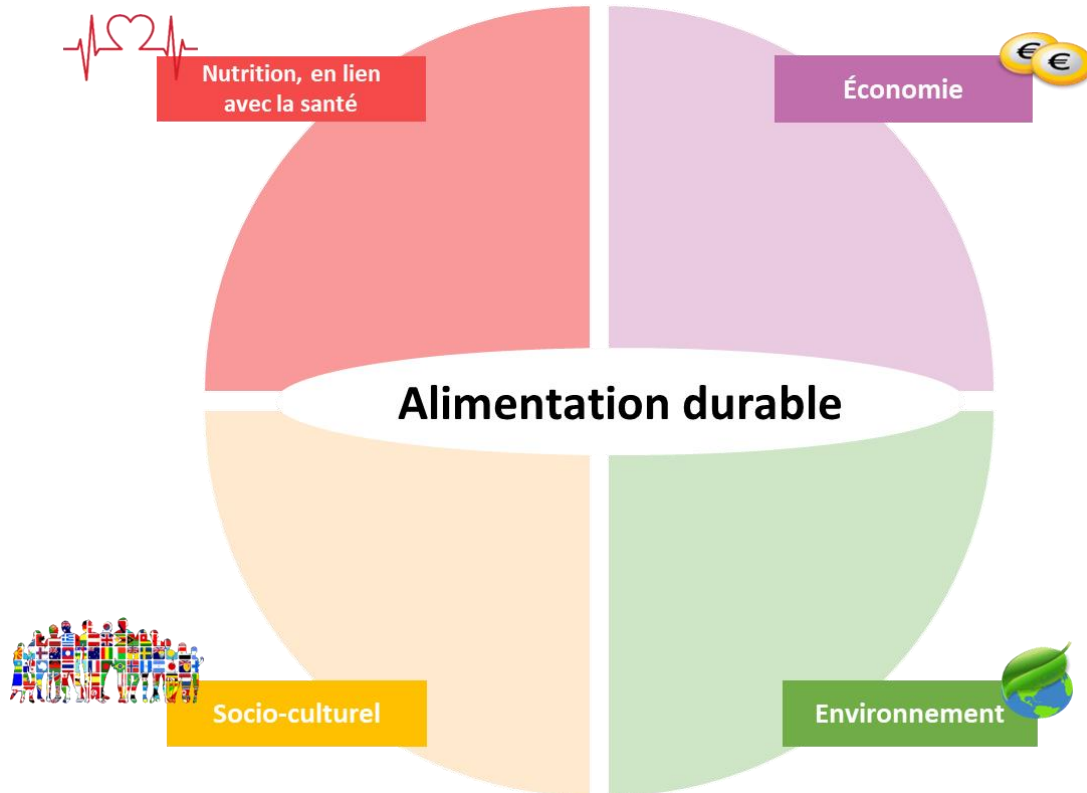


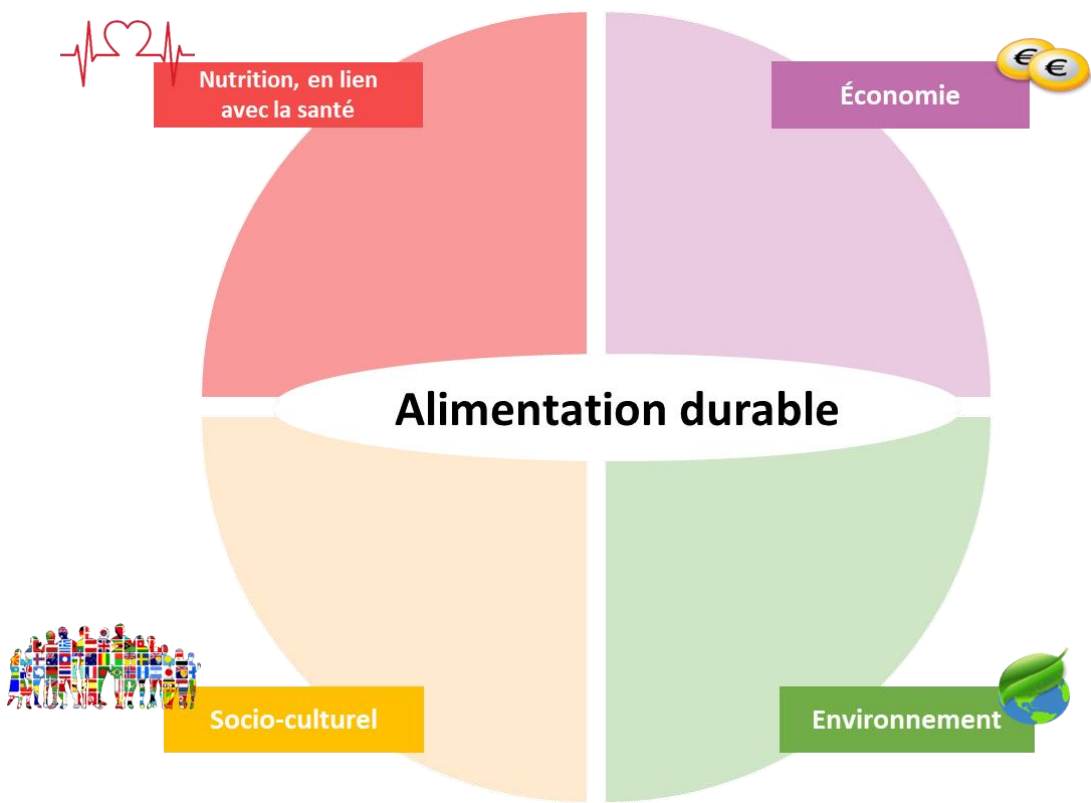
Schéma issu de la thèse de Rozenn Gazan

Les régimes alimentaires durables sont des régimes alimentaires ayant de faibles conséquences sur l’environnement, qui contribuent à la sécurité alimentaire et nutritionnelle ainsi qu’à une vie saine pour les générations présentes et futures. Les régimes alimentaires durables contribuent à protéger et à respecter la biodiversité et les écosystèmes, sont culturellement acceptables, économiquement équitables et accessibles, abordables, nutritionnellement sûrs et sains, et permettent d’optimiser les ressources naturelles et humaines.

¹<https://www.fao.org/ag/humannutrition/25916-0f23e974a12924600117086270a751f60.pdf>

²<https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/08116cce-1ad5-44cf-bd69-e453322013ef/content>

Alimentation Durable : données en France



Dimension santé

- Recommandations nutritionnelles sexe et age spécifiques
- Recommandations alimentaires PNNS
- Exposition aux toxiques et pesticides



Energie :2100 -2600 kcal/j		
Protéines totales : 10- 20%	Lipides totaux: 35-40% Energie	Glucides totaux : 40%-55%
>0,83 g/kg/j	- LA - ALA - EPA+DHA - Acides gras saturés (<12%)	- Sucres hors lactose - Sucres libres
Vitamines		Minéraux
- Vitamine A - Vitamines B1, B2, B3, B5, B6, B9, B12 - Vitamine C - Vitamine D - Vitamine E		- Calcium - Cuivre - Iode - Magnésium - Phosphore - Potassium - Sélénium - Zinc - Sodium (sel)

Produits animaux	Repères de consommation
Poissons et crustacés	1 poisson maigre (100g) / par semaine 1 poisson gras (100g) / par semaine
Charcuteries	-Moins de 150g par semaine
Viandes (hors charcuteries)	-Privilégier la viande de volaille -Limiter la viande hors volaille à 500g
Produits laitiers	2 portions par jour
Oeufs	???

¹<https://www.fao.org/ag/humannutrition/25916-0f23e974a12924600117086270a751f60.pdf>
²<https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/08116cce-1ad5-44cf-bd69-e453322013ef/content>

Alimentation Durable : données en France

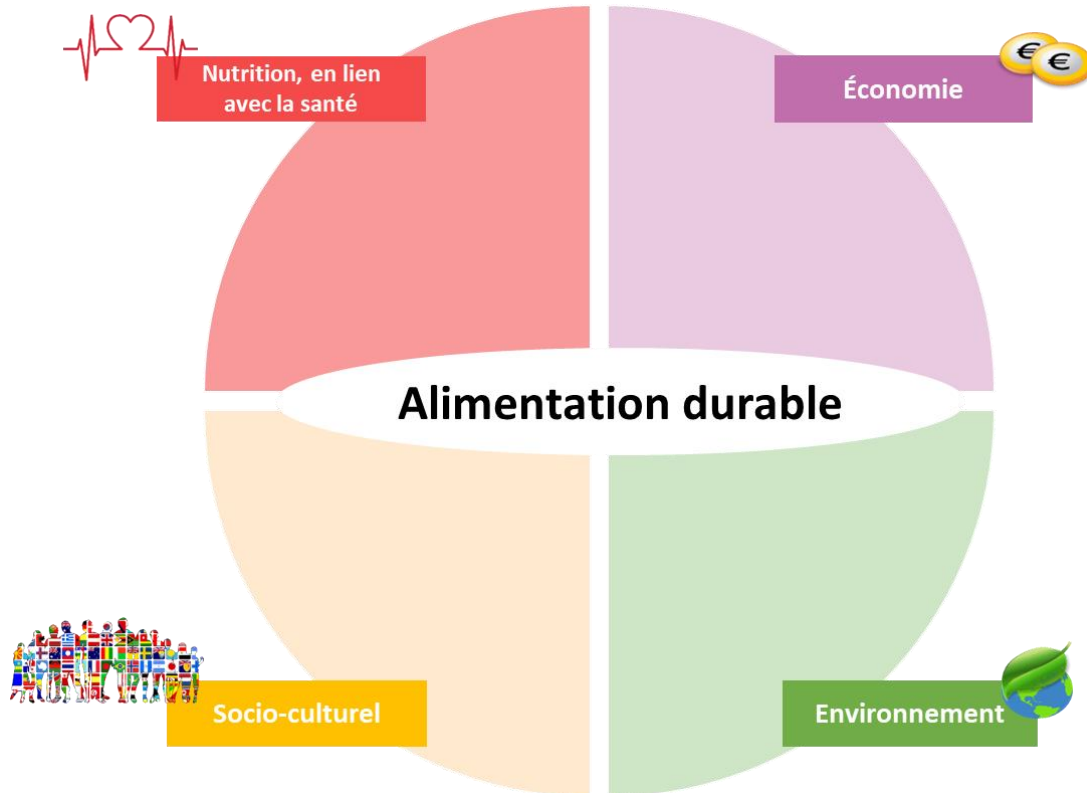


Food and Agriculture
Organization of the
United Nations



World Health
Organization

2019 : “Alimentation Saine et Durable”²



Dimension Culturelle

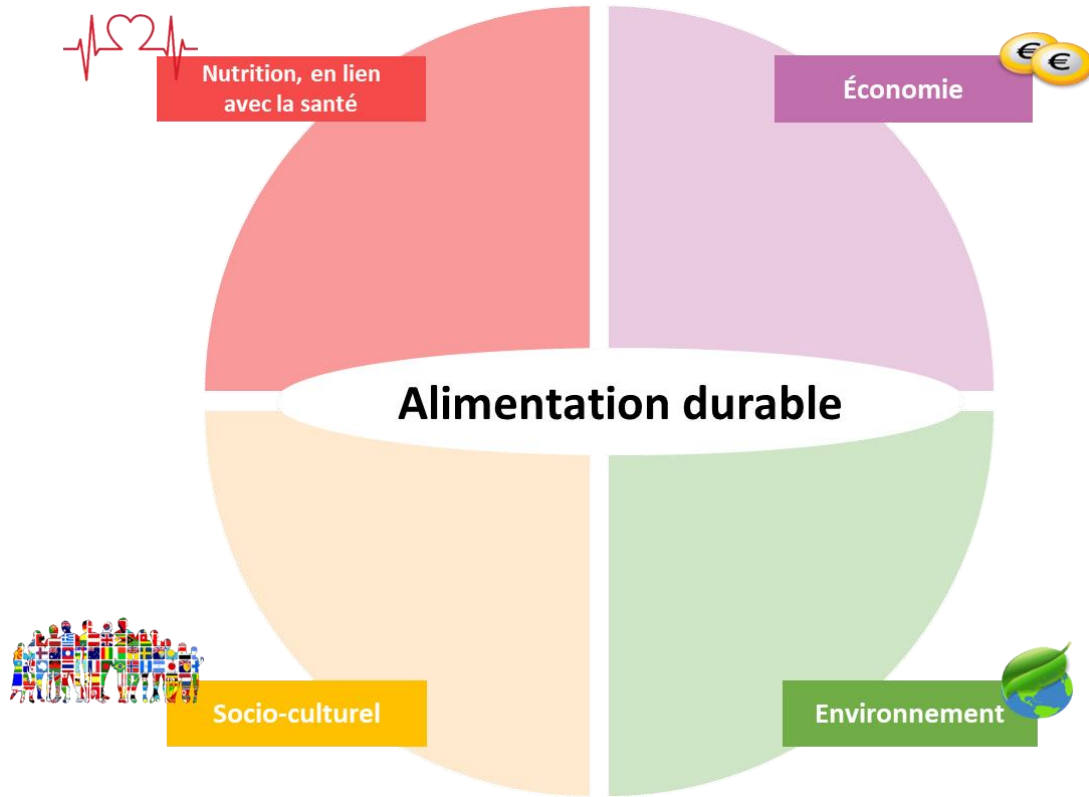
- Consommations alimentaires représentatives de la France
- Dernière étude de l'ANSES : INCA3 en 2015
- Table de composition nutritionnelle CIQUAL



¹<https://www.fao.org/ag/humannutrition/25916-0f23e974a12924600117086270a751f60.pdf>

²<https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/08116cce-1ad5-44cf-bd69-e453322013ef/content>

Alimentation Durable : données en France



Dimension Environnementale

- 15 métriques reliées à la base des aliments CIQUAL :



- Impact carbone
- Ressources en eau
- Utilisation des terres
- ...



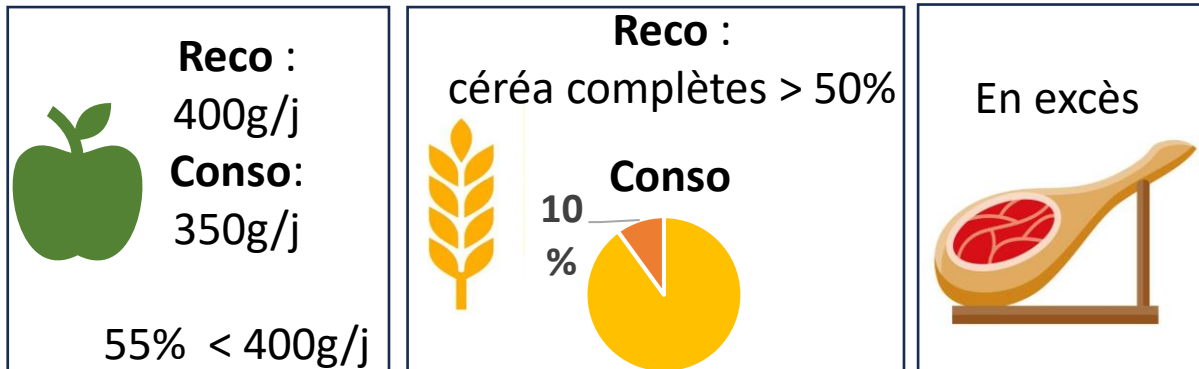
¹<https://www.fao.org/ag/humannutrition/25916-0f23e974a12924600117086270a751f60.pdf>

²<https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/08116cce-1ad5-44cf-bd69-e453322013ef/content>

Situation actuelle

Nutrition

- L'inadéquation aux recommandations nutritionnelles varie selon les nutriments et les classes d'âge dans la population française
- Repères de consommation du PNNS pas toujours respectés



Environnement

- L'alimentation représente 1/4 à 1/3 des émissions de gaz à effet de serre

Article | Published: 08 March 2021

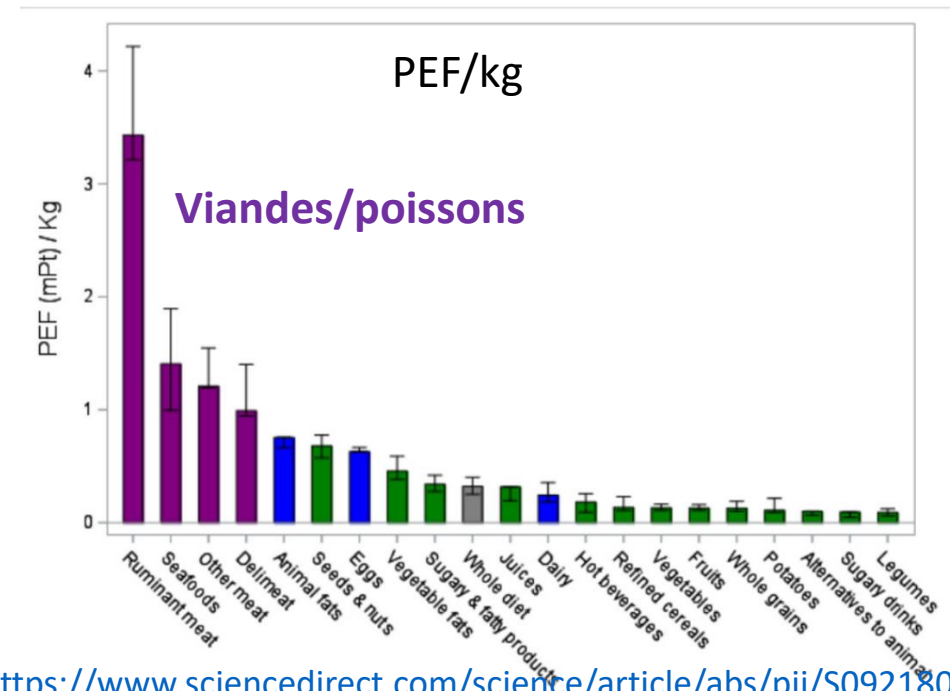
Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions

M. Crippa, E. Solazzo, D. Guizzardi, F. Monforti-Ferrario, F. N. Tubiello & A. Leip

Nature Food 2, 198–209 (2021) | Cite this article

- ≈ 50-60% des émissions du secteur alimentaire proviennent de l'élevage

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29853680/>



Problématique

**Simuler des choix alimentaires nutritionnellement adéquats,
qui réduisent l'impact environnemental et
qui restent culturellement acceptables**

Approche mathématique

**Optimisation multi-critères :
La programmation linéaire**



George Stigler, the cost of subsistence, 1945



**Inventeur de
l'algorithme**

George Dantzig, 1948 ⁸

Représentation de la résolution du problème soulevé par Stigler

1. Variables → Liste d'ALIMENTS :



Liste de 77 aliments:

- Composition et énergie et en 8 nutriments
- prix

2. Contraintes → les EXIGENCES du régime :

- Nutriments (atteinte des 9 recommandations nutritionnelles)

?

COMPATIBILITE ?

NON

INFAISABILITE: Variables
et/ou contraintes à modifier

Représentation de la résolution du problème soulevé par Stigler

1. Variables → Liste d'ALIMENTS :



Liste de 77 aliments:

- Composition et énergie et en 8 nutriments
- prix

2. Contraintes → les EXIGENCES du régime :

- Nutriments (atteinte des 9 recommandations nutritionnelles)

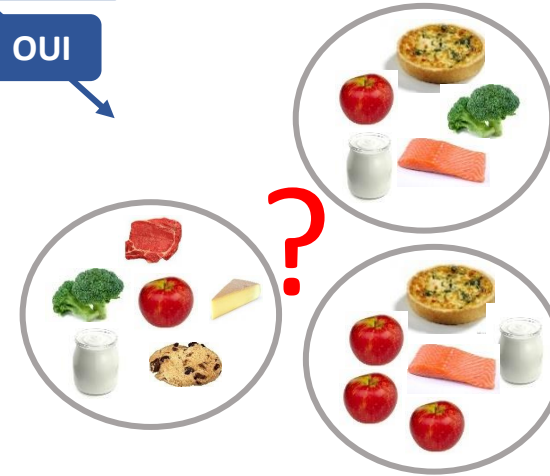
3. Fonction objectif → La QUESTION:

- Coût du régime minimum?

?

COMPATIBILITE ?

OUI



Représentation de la résolution du problème soulevé par Stigler

1. Variables → Liste d'ALIMENTS :



Liste de 77 aliments:

- Composition et énergie et en 8 nutriments
- prix

2. Contraintes → les EXIGENCES du régime :

- Nutriments (atteinte des 9 recommandations nutritionnelles)

3. Fonction objectif → La QUESTION:

- Coût du régime minimum?

?

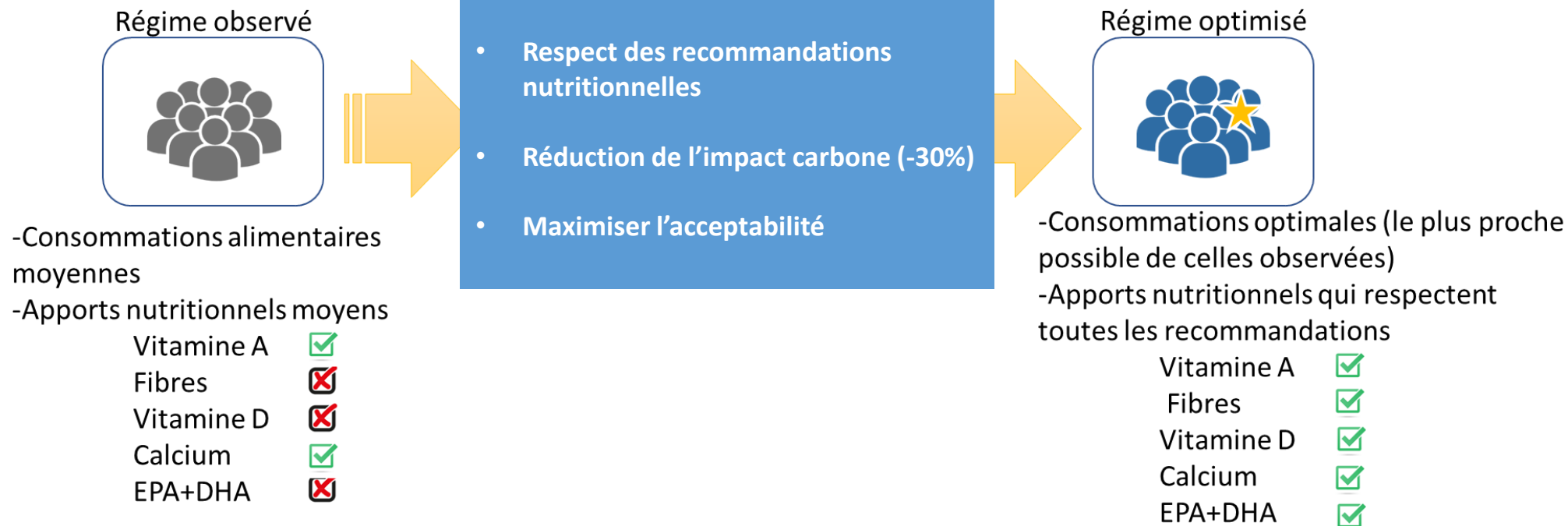
COMPATIBILITE ?

OUI

OPTIMISATION: sélection des aliments et quantités associées



Application à la problématique du régime durable



**Génération de régimes nutritionnellement adéquats
avec une réduction de l'impact carbone et
le plus proche possible des habitudes alimentaires**

Etude de la littérature : optimisation de régimes moyens

2016



> [Public Health Nutr.](#) 2016 Oct;19(14):2662-74. doi: 10.1017/S1368980016000653. Epub 2016 Apr 6.

How low can dietary greenhouse gas emissions be reduced without impairing nutritional adequacy, affordability and acceptability of the diet? A modelling study to guide sustainable food choices

Marlène Perignon¹, Gabriel Masset¹, Gaël Ferrari¹, Tangui Barré¹, Florent Vieux²,
Matthieu Maillot², Marie-Josèphe Amiot¹, Nicole Darmon¹

2018



> [Eur J Clin Nutr.](#) 2018 Jul;72(7):951-960. doi: 10.1038/s41430-017-0080-z. Epub 2018 Feb 5.

Dietary changes needed to improve diet sustainability: are they similar across Europe?

Florent Vieux¹, Marlène Perignon², Rozenn Gazan³, Nicole Darmon²

Modèle INDIGOO 1.0

Open Access Article

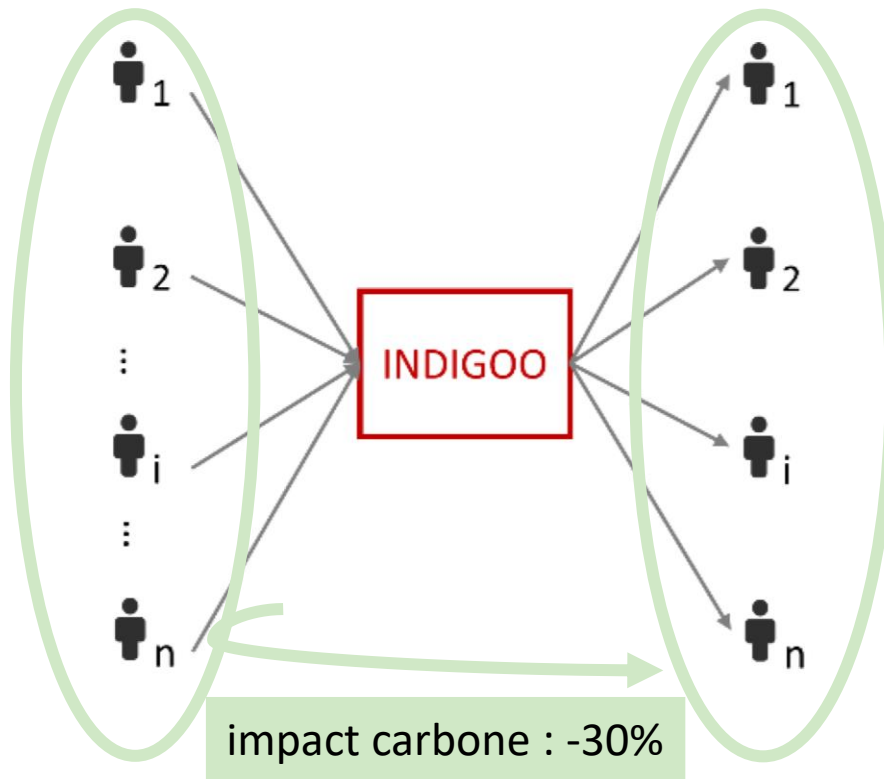
Diet Optimization for Sustainability: INDIGOO, an Innovative Multilevel Model Combining Individual and Population Objectives

by Audrey Rocabois, Orsolya Tompa, Florent Vieux , Matthieu Maillot  and Rozenn Gazan *  

<https://doi.org/10.3390/su141912667>

Observed diets

INDIGOO Optimized diets

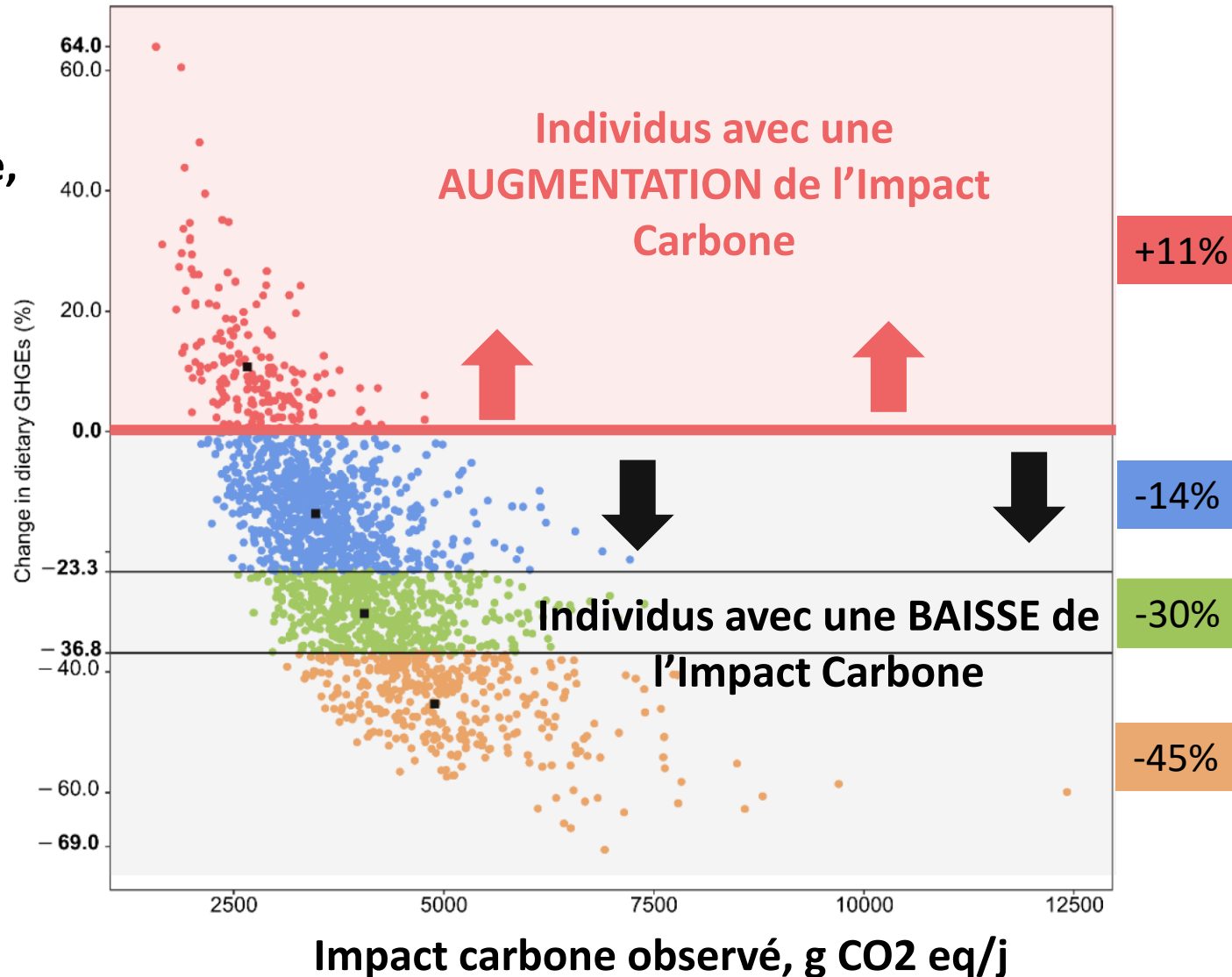


- Intégration de la variabilité inter-individuelle :
 - des choix alimentaires
 - des recommandations nutritionnelles françaises
- Comment se distribue la baisse de L'IC entre les individus ?
 - Quels sont les changements alimentaires et sont-ils identiques entre les individus?

- Eutrophisation marine et l'acidification de l'air : pas de dégradation
- ressources en eau et autres métriques → pas de contrainte

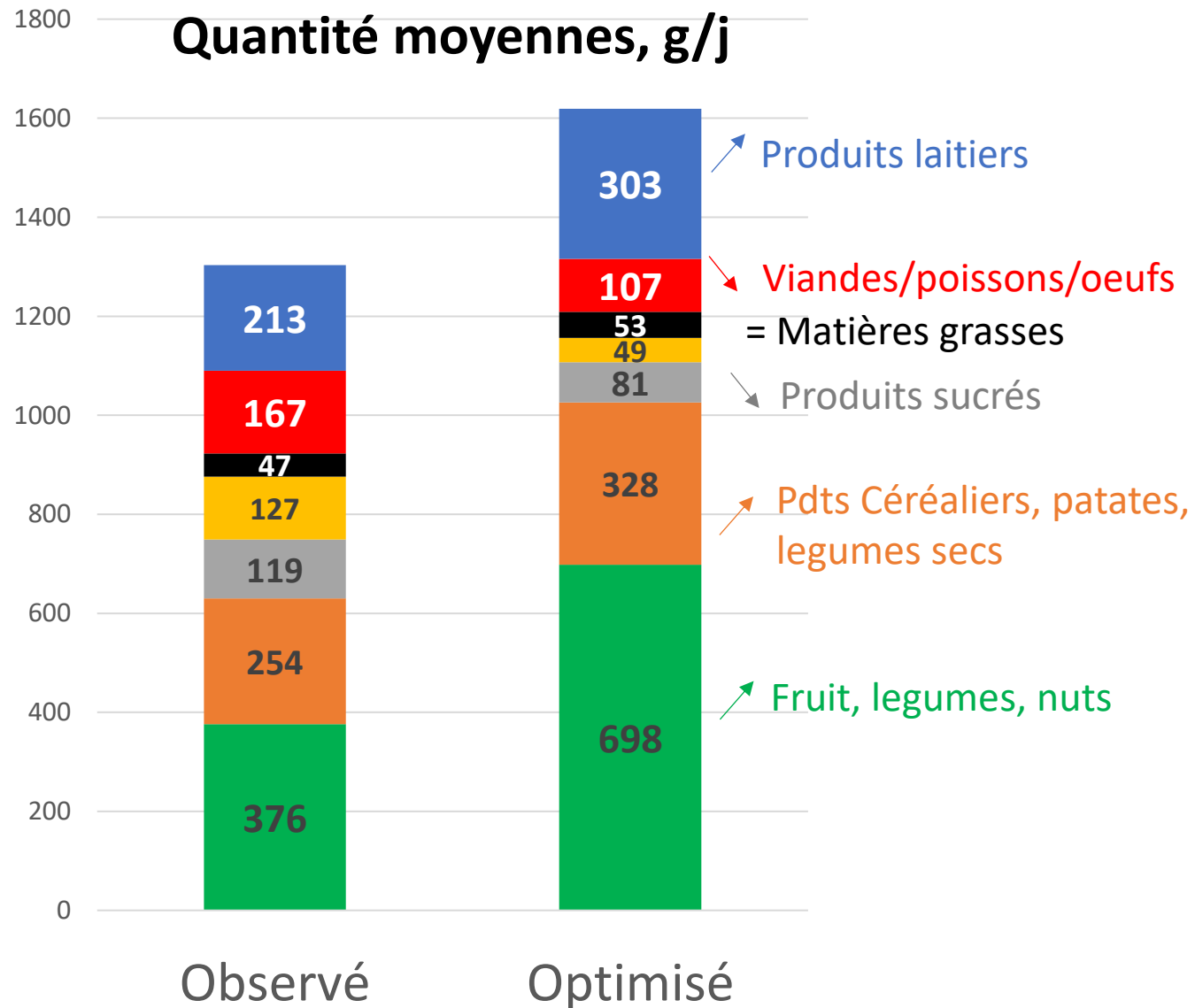
Modèle INDIGOO 1.0 : changement de l'impact carbone (IC) entre observé et optimisé

Variation
Impact carbone,
%



- La variation moyenne de l'IC est bien de - 30% mais elle varie selon les individus
- L'IC augmente pour 6% des individus

Modèle INDIGOO 1.0 : changements alimentaires (g/j), population totale

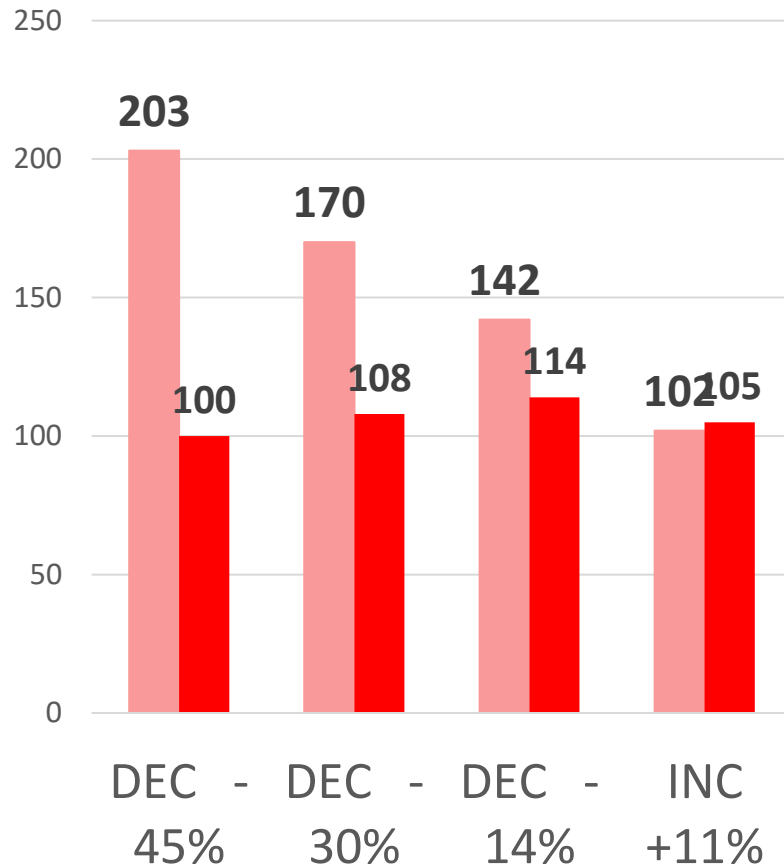


- Forte augmentation des produits végétaux (sauf les produits sucrés)
- Diminution des viandes, oeufs, poissons pour atteindre environ 1 portion par jour
- La matière grasse totale ne varie pas mais les huiles sont favorisées par rapport à la crème et au beurre
- Baisse des plats mixtes (surtout à base de viande)

Modèle INDIGOO 1.0 : changements alimentaires (g/j), par sous-pop

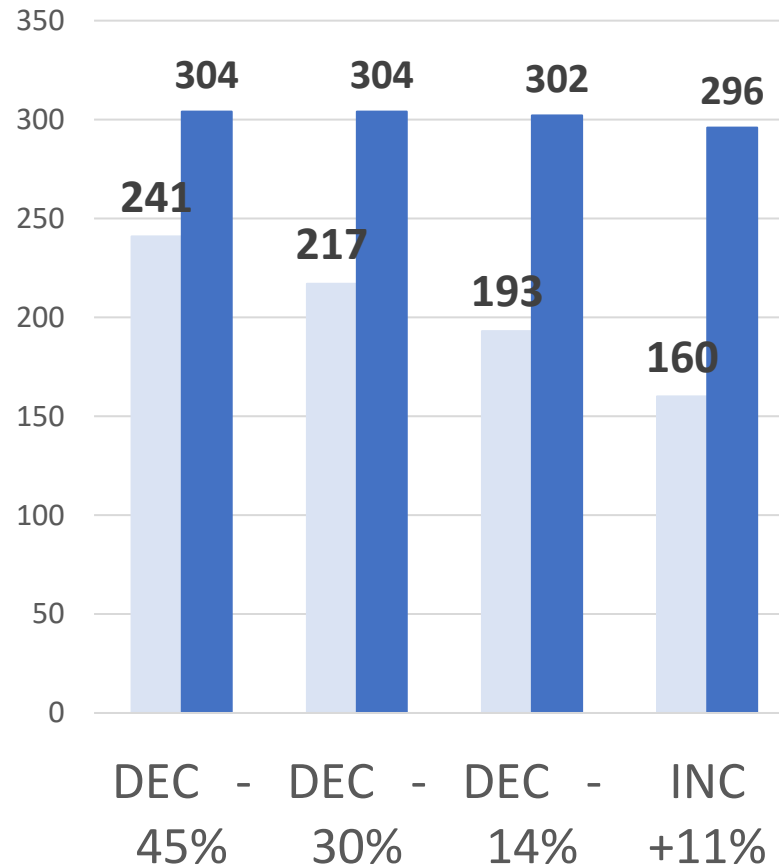
Viandes/poisson/oeufs, g/j

■ Observé ■ Durable



Produits laitiers, g/j

■ Observé ■ Durable

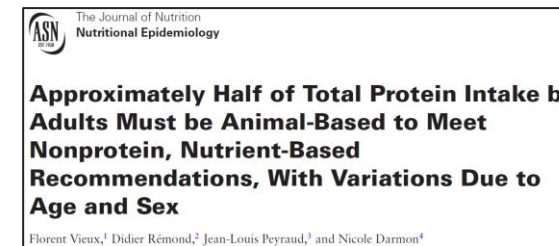


- Les viandes, poissons, oeufs ne baissent pas chez tout le monde ➔ panacher à 1 portion/j
- Les produits laitiers augmentent systématiquement pour atteindre 300g/j

Modèle INDIGOO 1.0 : changements alimentaires (g/j), en détails sur les produits animaux

- Stagnation du poisson : environ 30g/j (=210g/s) → Presque 2 portions de poissons gras pour respecter la recommandation en DHA+EPA à 500mg/j → non compatible avec les repères de Manger-Bouger
- Baisse des bovins (-35g/j = -245g/s) → quasi suppression
- Baisse du porc/poulet (-21g/j) → 238g/s dans le régime optimisé
- Baisse des charcuteries (-17g/j) → 56g/s dans le régime optimisé → en accord avec la limite de 150g de manger-bouger
- Stagnation des abats → 21g/s dans le régime optimisé
- Augmentation du lait (+90g/j) → 190g/j dans le régime optimisé
- Augmentation des yaourts (+19g/j) → 100g/j
- Baisse du fromage (-23g/j) → 11g/j dans le régime optimisé
- Baisse de la crème et du beurre
- Augmentation des œufs : +17g/j en Moyenne

Ratio protéines animales/végétales



<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36774117/>



5 régimes moyen « observés »

Femmes <50 (29% PV)

Femmes 50-65 (29% PV)

Femmes > 65 (31% PV)

Hommes < 65 (29% PV)

Hommes > 65 (32% PV)

5 régimes moyens « optimisés VEG »

Femmes <50 (55% PV)

Femmes 50-65 (50% PV)

Femmes > 65 (55% PV)

Hommes < 65 (45% PV)

Hommes > 65 (60% PV)

Au minimum 50% de protéines animales
sans l'utilisation de produits de substitution enrichis

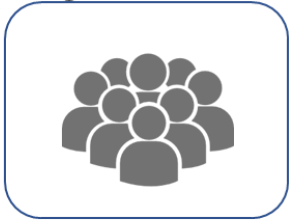
Scénario pour une révision du guide alimentaire français avec moins de viande



https://reseauactionclimat.org/wp-content/uploads/2024/02/rapport_rac-sfn_complet_vf.pdf



Régime observé



- Consommations alimentaires moyennes
- Apports nutritionnels moyens

Vitamine A	✓
Fibres	✗
Vitamine D	✗
Calcium	✓
EPA+DHA	✗

- Respect des recommandations nutritionnelles et des repères alimentaires actuels
- Viande : -50%
- Impact carbon -35%
- Maximiser l'acceptabilité

Régime optimisé



- Consommations optimales (le plus proche possible de celles observées)
- Apports nutritionnels qui respectent toutes les recommandations

Vitamine A	✓
Fibres	✓
Vitamine D	✓
Calcium	✓
EPA+DHA	✓

Scénario pour une révision du guide alimentaire français avec moins de viande

Repères de consommation utilisés en contraintes

Composante PNNS	Recommandation PNNS	Contrainte
Produits laitiers ¹	2 portions/j pour les adultes 2 à 3 portions/j pour les personnes de plus de 75 ans 3 portions/j pour les adolescents	Fromage ≤ 30 g Lait + produits laitiers frais + desserts lactés ≤ 125 g ou ≤ 250 g, selon les modèles
Fruits & légumes	Au moins 5 par jour (portion = 80 à 100 g)	≥ 400 g/j
Légumineuses	Au moins 2 fois par semaine (soit 57 g/j, si portion=200 g)	≥ 57 g/j
Jus de fruits	Pas plus d'1 verre par jour	≤ 125 g/j
Fruits séchés	Consommation occasionnelle	≤ 15 g/j
Fruits à coque	Une petite poignée par jour	≥ 15 g/j
Produits céréaliers complets	Privilégier les produits céréaliers complets, au moins un produit céréalier complet par jour	Produits céréaliers complets ≥ 50 % du total (produits céréaliers raffinés + produits céréaliers complets)
Œufs	Pas de recommandation PNNS	≤ 30 g/j
Poisson gras	1 poisson gras par semaine	≤ 15 g/j
Poisson maigre	1 poisson maigre par semaine	≤ 15 g/j
Total viandes (hors charcuterie) ²		= observé/2
Volaille ²	Privilégier la volaille	= 50 % du total (volaille+porc+ruminant)
Viande hors volaille (porc+ruminant) ²	500 g par semaine maximum (soit 71 g/j maximum)	= 50 % du total (volaille+porc+ruminant) avec porc et ruminants dans les mêmes proportions que dans la diète observée
Abats, lapin, gibier ²		= observé/2
Charcuteries ²	150 g par semaine maximum (soit 21 g/j maximum) Privilégier le jambon blanc	Total charcuteries ≤ observé/2 Jambon blanc = 50 % de 50 % de la quantité totale observée de charcuteries
Produits sucrés	Limiter la consommation	La limitation est assurée par une contrainte sur les sucres libres et par le respect de l'ensemble de toutes les autres contraintes nutritionnelles

2 ou 3 portions par jour

1 poisson gras par semaine

1 poisson maigre par semaine

Toutes les viandes réduites de moitié par rapport à l'observé (dont la charcuterie, sauf la volaille) >50% de volaille

Scénario pour une révision du guide alimentaire français avec moins de viande

Recommandations nutritionnelles françaises

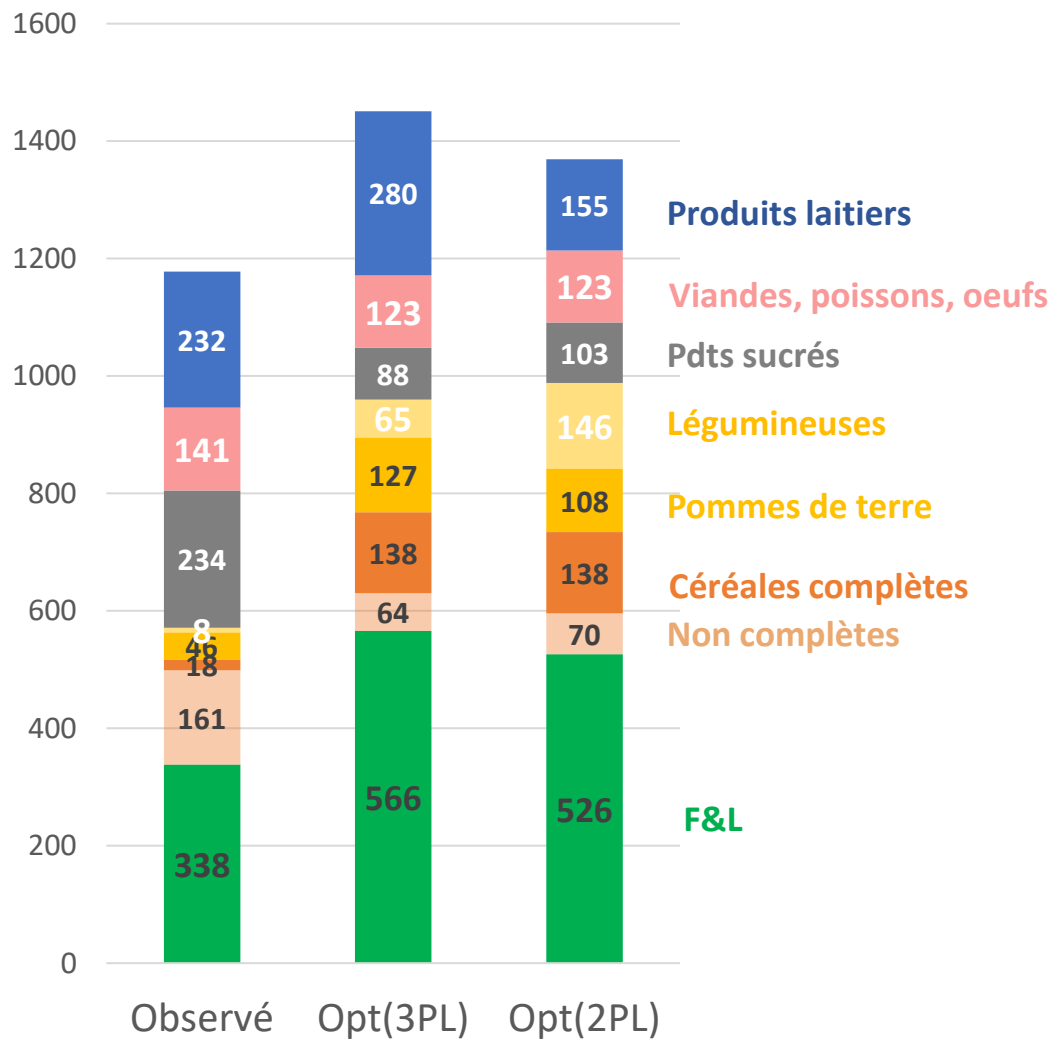
Nutriment	Contrainte imposée	Cible souhaitée
Fibres	≥ 25 g/j	≥ 30 g/j (AS)
Protéines	[10 – 20] % AET	
Glucides	[40 – 55] % AET	
Lipides	[35 – 40] % AET	
Acides gras saturés (AGS) totaux	≤ 12 % AET	
AGS athérogènes (laurique + myristique + palmitique)	≤ 8 % AET	
EPA+DHA	≥ 250 mg/j	≥ 500 mg/j (AS)
AG linoléique	≥ 4 % AET	
AG α-linolénique	≥ 1 % AET	
Sucres libres	≤ 10 % AET (recommandation OMS)	

Nutriment	Contrainte imposée	Cible souhaitée
Calcium		≥ 750 mg/j (BNM)
Cuivre	≥ 1,9 µg/j (AS) <5 µg/j (LSS)	
Fer	≥ 7 mg/j (BNM femmes)	≥ 11 mg/j (RNP femmes avec pertes normales en fer)
Iode		≥ 150 µg/j (AS)
Potassium	≥ 3500 mg/j (AS)	
Magnésium	≥ 380 mg/j (AS)	
Manganèse	≥ 2,8 mg/j (AS)	
Sodium	≥ 1500 mg/j (AS)	≤ 2300 mg/j (LSS)
Phosphore	≥ 550 mg/j (AS)	
Sélénium	≥ 70 µg/j (AS) < 300 µg/j (LSS)	
Zinc	≥ 9,3 mg/j (BNM pour un apport de phytates de 600 mg/j chez les hommes)	≥ 11,7 mg/j (RNP pour un apport de phytates de 600 mg/j chez les hommes)

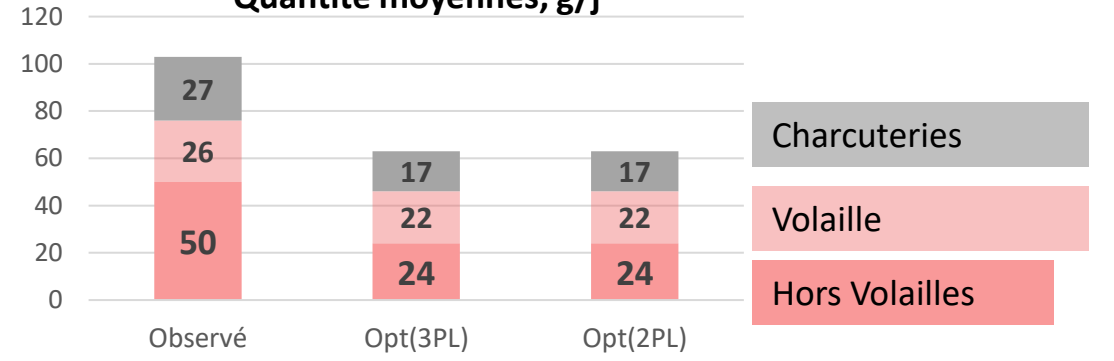
Les contraintes imposées correspondent à la recommandation de l'Anses

Scénario pour une révision du guide alimentaire français avec moins de viande

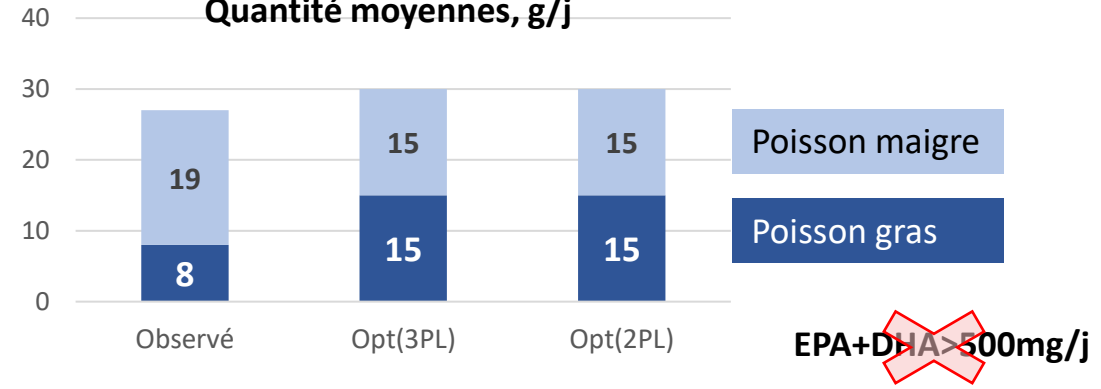
Quantité moyennes, g/j



Quantité moyennes, g/j

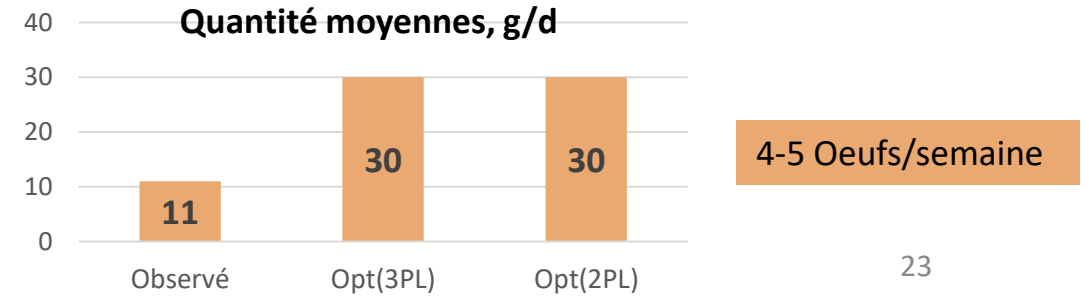


Quantité moyennes, g/j



~~EPA+DHA > 500mg/j~~

Quantité moyennes, g/d



Résumé / discussion

- Un régime plus durable (adeq nutritionnelle et réduction impact env) nécessite un rééquilibrage entre les produits végétaux et animaux
- La part des protéines animales peut diminuer jusqu'à 50% environ
- Produits animaux : baisse des viandes et des MGs animales, augmentation des poissons et augmentation des produits laitiers (surtout du lait mais baisse fromage)
- La recommandation en protéine totale est facilement atteinte
- Les recommandations en lipides françaises sont différentes des autres pays : + de lipides totaux, + d'EPA/DHA, plus spécifiques sur les acides gras saturés
- La reco en EPA+DHA n'est pas compatible avec les repères de consommation actuels
- Simulations réalisés en maximisant l'acceptabilité et avec une offre alimentaire sans produits végétaux de substitution enrichis en micronutriments. Pas de prise en compte d'aliments nouveaux ou spéciaux (algues, insects)

Limites / discussion

- Toutes les métriques environnementales ne sont pas contraintes à la réduction
 - les ressources en eau augmentent en raison de l'augmentation des Fruits et légumes
- Les métriques environnementales actuelles pénalisent beaucoup les bovins, alors que la biodiversité semble positivement impactée par cet élevage
- Végétalisation de l'alimentation donc attention à la biodisponibilité des micronutriments fer, zinc, calcium
- Les changements alimentaires doivent être mis en regard du système de production en France qui est riche et varié ➔ production de bovin et de lait
- Sous une hypothèse de souveraineté pour la production de viande et de lait, les changements alimentaires sont-ils réalistes?
 - Baisse de viande de bovin et du beurre/crème mais augmentation des produits laitiers
 - Baisse de la viande mais maintient des abats
 - Equilibre entre charcuterie et viande fraîche
- Poissons et recommandations nutritionnelles? Comment faire? Intégrer de nouveaux aliments comme les algues
- Améliorer la qualité nutritionnelle de l'offre (ex: bleu blanc coeur)

Merci pour votre attention

