

# Séances hebdomadaires de l'Académie d'Agriculture

*Nutrition, complémentarité et synergies entre les lipides  
d'origine animale et les lipides des végétaux*

## Choix alimentaires à adopter pour couvrir les besoins nutritionnels et focus sur les lipides

*17 Janvier 2024*

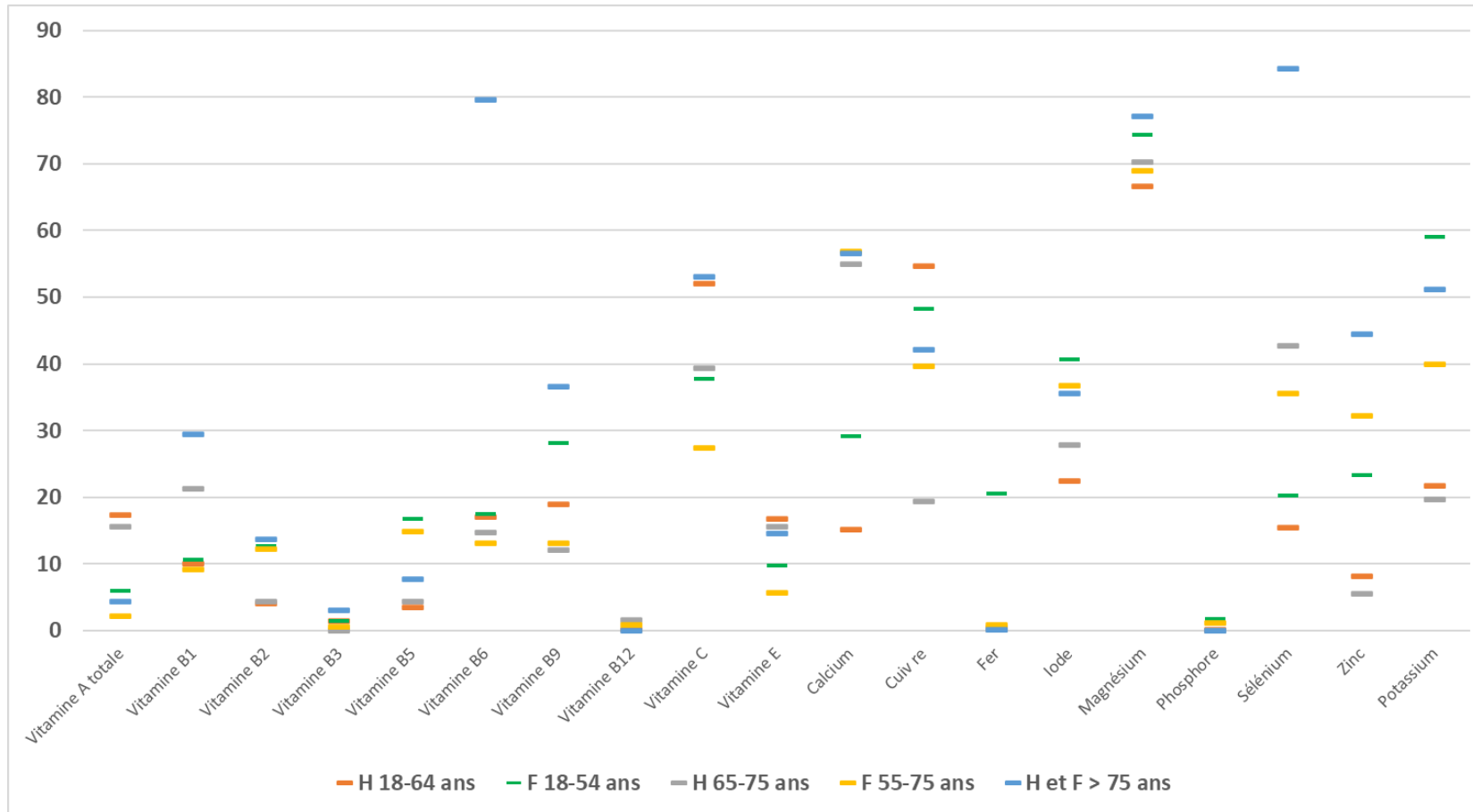
Florent Vieux, PhD

*florent.vieux@ms-nutrition.com*



# Contexte-Couverture des besoins nutritionnels

## Prévalence d'inadéquation en vitamines et minéraux chez les adultes (%)



**Concernant les lipides**, en France, la recommandation d'apports est de 35 à 40% de l'apport énergétique



« La limite haute de cette fourchette est dépassée en France par environ 43 % des adultes »

Site internet Anses

Source: avis Anses relatif à l'évaluation des apports en vitamines et minéraux issus de l'alimentation non enrichie, de l'alimentation enrichie et des compléments alimentaires dans la population française : estimation des apports usuels, des prévalences d'inadéquation et des risques de dépassement des limites de sécurité, 2015

-> La couverture des besoins nutritionnels est difficile. Elle nécessite des choix alimentaires réfléchis

# Contexte-Végétalisation

## Des informations scientifiques ...

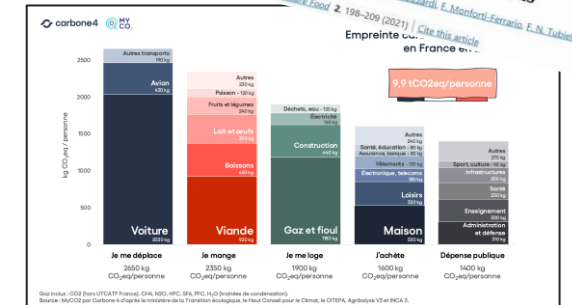
- L' alimentation représente ¼ à 1/3 des émissions de gaz à effet de serre
- ≈ 50-60% des émissions du secteur alimentaire proviennent de l'élevage

## ... aux décisions politiques

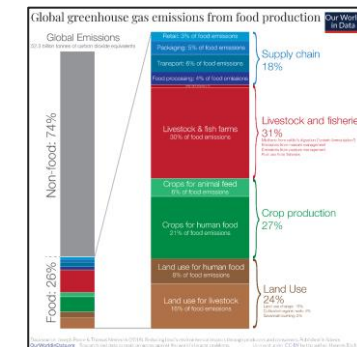


« La végétalisation de l'alimentation bonne pour la santé »

III.-**Au plus tard le 1er janvier 2023**, dès lors qu'ils proposent habituellement un choix multiple de menus, les gestionnaires, publics et privés, des services de restauration collective de l'Etat, de ses établissements publics et des entreprises publiques nationales sont tenus de **proposer quotidiennement le choix d'un menu végétarien.**



Carbon4



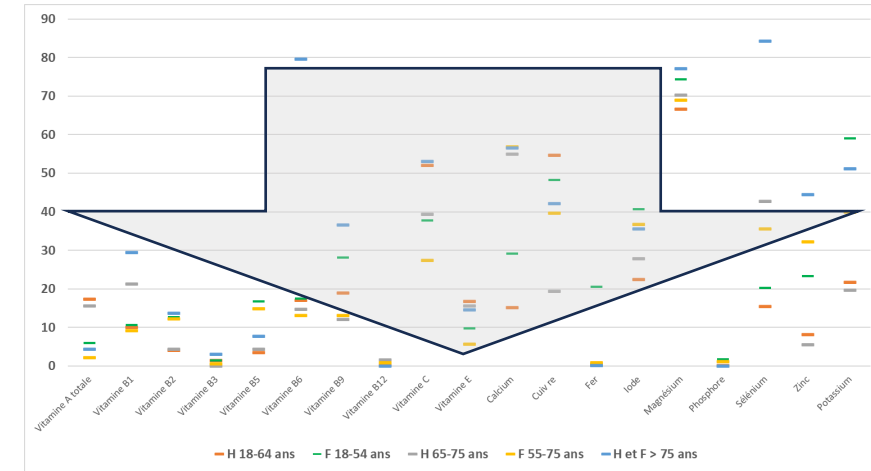
Ourworldindata

Article | Published 08 March 2021  
**Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions**  
M. Chappin, E. Solazzo, D. Guizzardi, E. Manfredi, Ferrario, F. N. Tubiello & A. Leip  
Nature Food 2, 198-209 (2021) | [View this article](#)

# Objectifs

- Quels choix alimentaires adopter pour couvrir l'ensemble de nos besoins nutritionnels simultanément
- Quels choix alimentaires adopter pour couvrir l'ensemble de nos besoins nutritionnels simultanément tout en végétalisant notre alimentation?

➔ **Focus lipides**

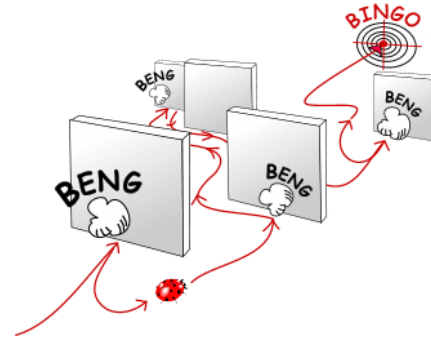


# La programmation linéaire a été créée pour résoudre un problème lié à la nutrition

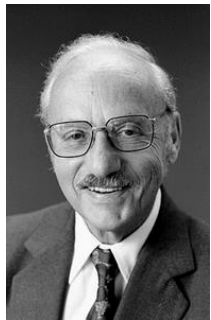


“Quelles quantités de 77 aliments devraient être mangées pour atteindre les recommandations portant sur 9 nutriments à prix minimum?”

*George Stigler, the cost of subsistence, 1945*



Stigler diet problem  
Use of trial and errors method  
**39.93\$/year**



*George Dantzig*

1947: découverte de l’algorithme du simplex et utilisation pour définir un régime le moins cher possible qui respecterait les besoins d’un GI



Application of the simplex algorithm to  
the Stigler diet problem (Laderman, 1948)  
**39.69\$/year**

# 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?

# 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 ?

# 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)

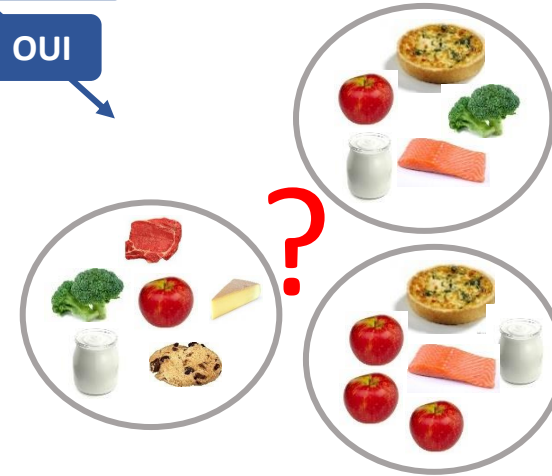
## 3. Fonction objectif → La QUESTION:

- 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:

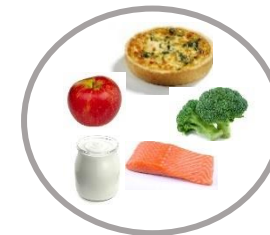
- Coût du régime minimum?

?

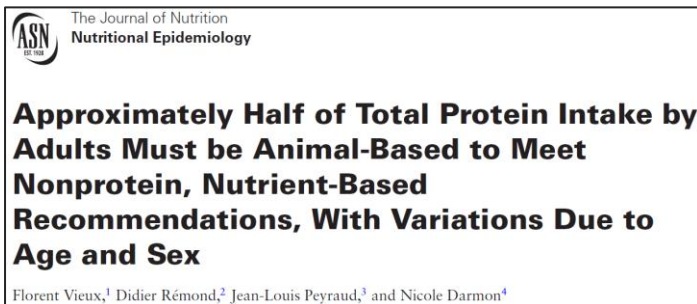
COMPATIBILITE ?

OUI

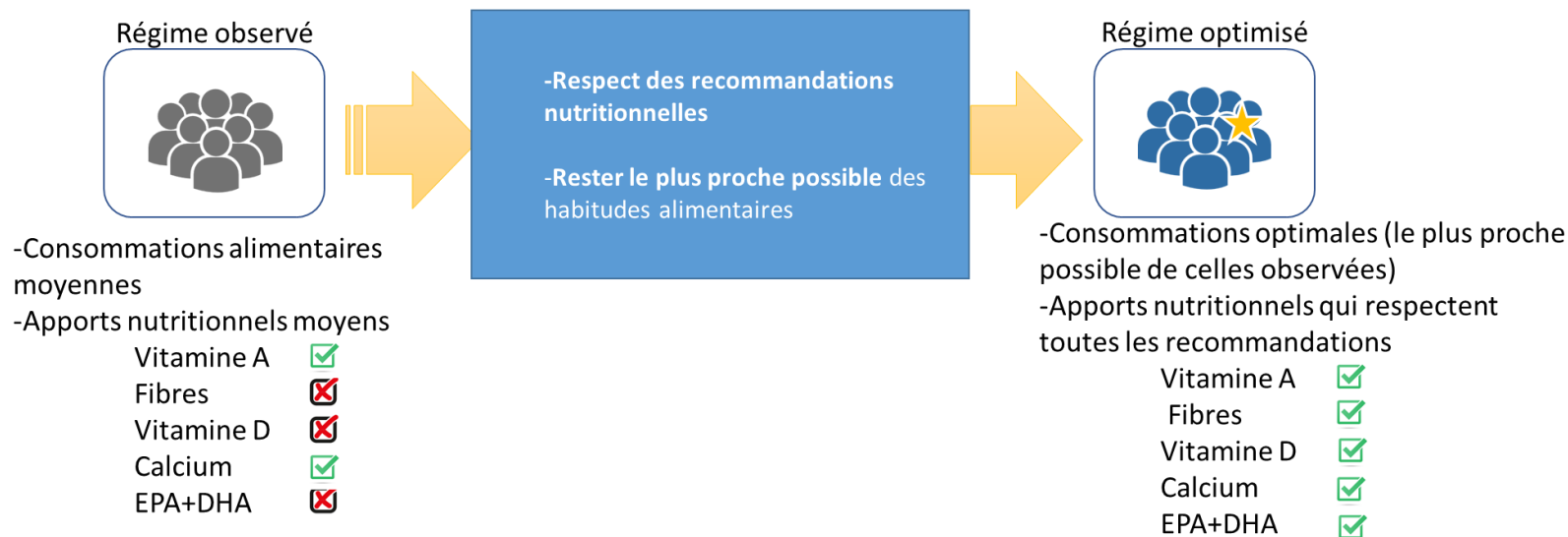
**OPTIMISATION:** sélection des aliments et quantités associées



# Application récente de l'approche d'optimisation



## Génération de régimes nutritionnellement adéquats éloignés le moins possible des habitudes alimentaires



# Application récente de l'approche d'optimisation

## 1. Variables → Liste d'ALIMENTS :



Liste de + de 200 aliments:

- Composition nutritionnelle
- Prix
- Consommation moyenne

## 2. Contraintes → les EXIGENCES du régime :

- Nutriments: Atteinte d'une 30<sup>aine</sup> recommandations nutritionnelles
- Aliments/groupe d'aliments: Quantités min & max
- Coût total

## 3. Fonction objectif → La QUESTION:

- Distance minimum aux consommations observées

# Application récente de l'approche d'optimisation à la question de la végétalisation

Dans 5 sous-populations caractérisées par des besoins nutritionnels différents:

5 régimes « observés »

Femmes <50 ans

Femmes 50-65 ans

Femmes > 65 ans

Hommes < 65 ans

Hommes > 65 ans

1. Variables → Liste d'ALIMENTS :



Liste de + de 200 aliments:

- Composition nutritionnelle
- Prix
- Consommation moyenne

2. Contraintes → les EXIGENCES du régime :

- Nutriments: Atteinte d'une 30<sup>aine</sup> recommandations nutritionnelles
- Aliments/groupe d'aliments: quantités min & max
- Coût total max

3. Fonction objectif → La QUESTION:

- Distance minimum aux consommations observées

5 régimes « optimisés »

Femmes <50 ans

Femmes 50-65 ans

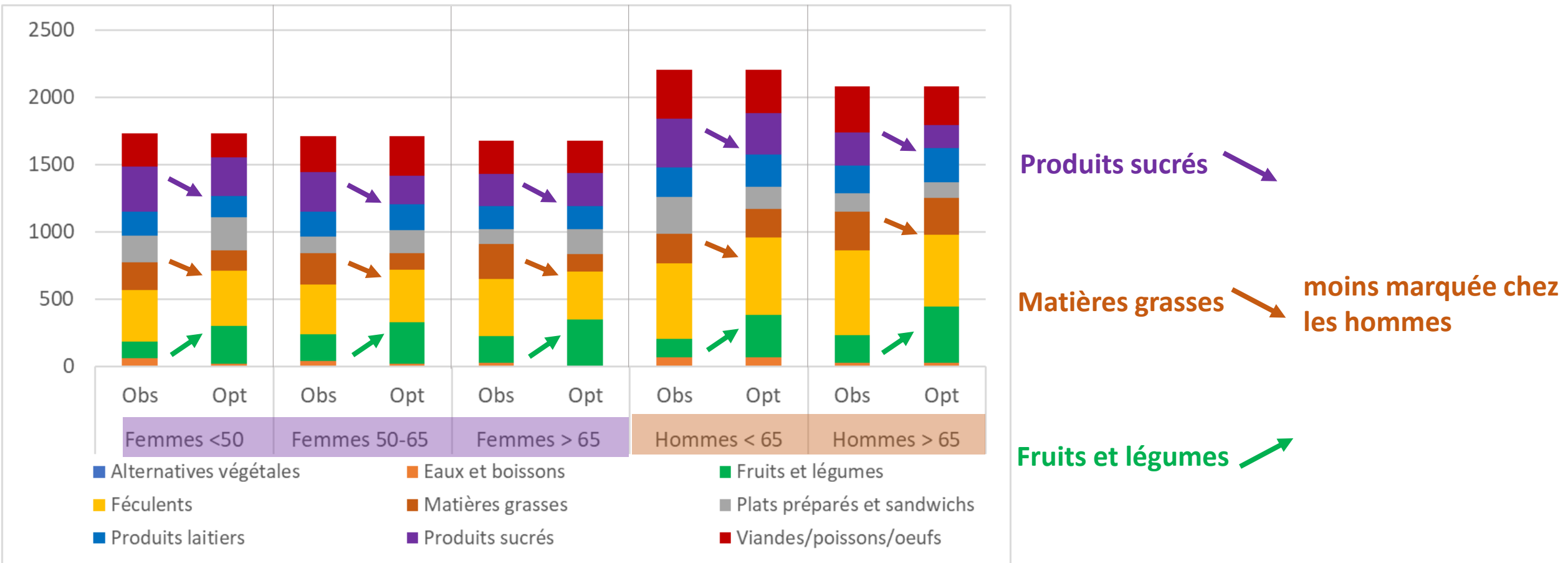
Femmes > 65 ans

Hommes < 65 ans

Hommes > 65 ans

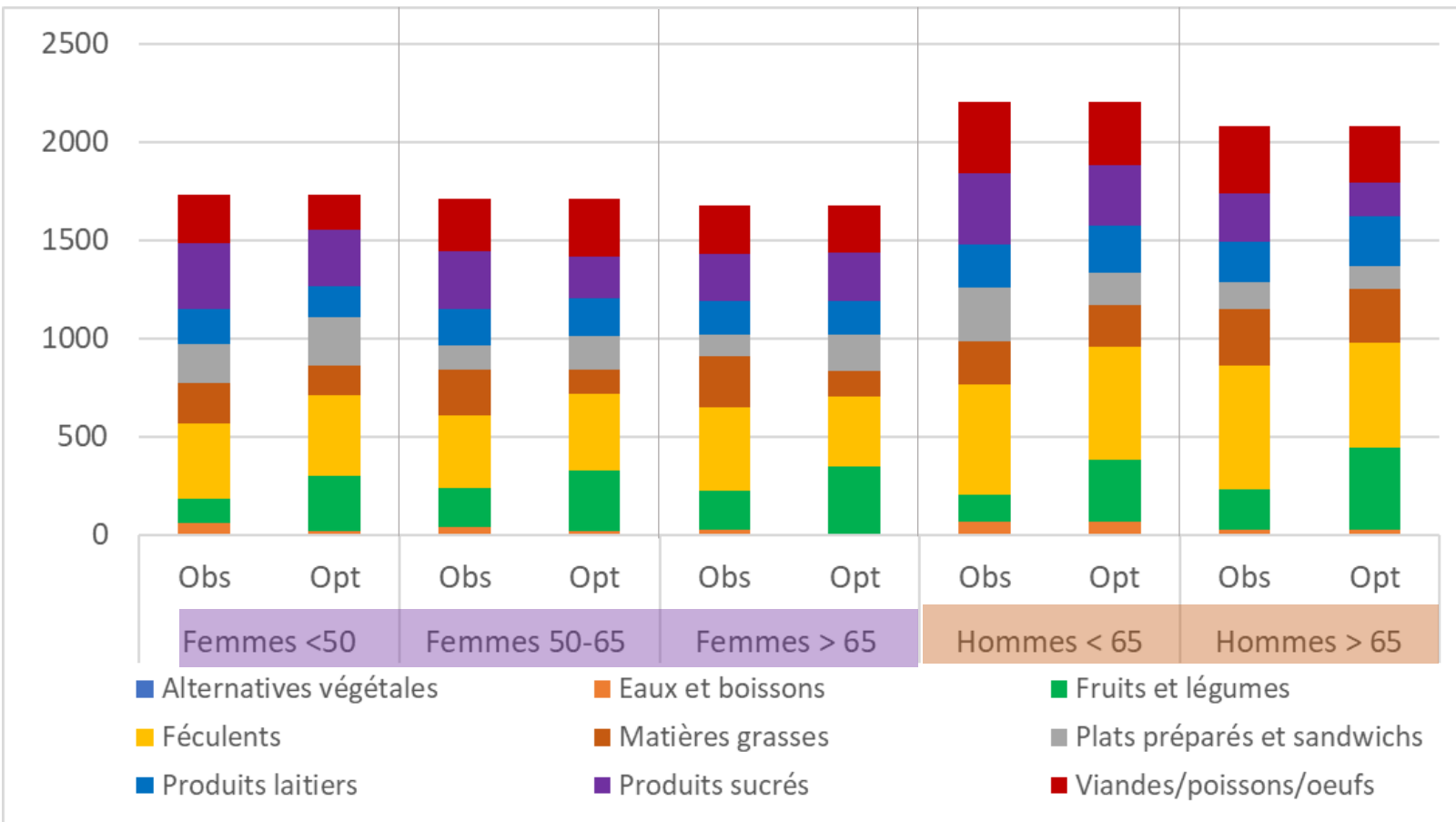


# Contributions des groupes alimentaires à l'énergie (kcal) dans les régimes observés et optimisés



Fruits et légumes augmentent alors que produits sucrés et matières grasses baissent mais l'ampleur de ces changements est hétérogène d'une sous population à l'autre

# Contributions des groupes alimentaires à l'énergie (kcal) dans les régimes observés et optimisés



**VOP** → sauf chez les femmes 50-65 et femmes >65

**Produits sucrés** →

**Produits Laitiers** → sauf chez les femmes <50

**Matières grasses** → moins marquée chez les hommes

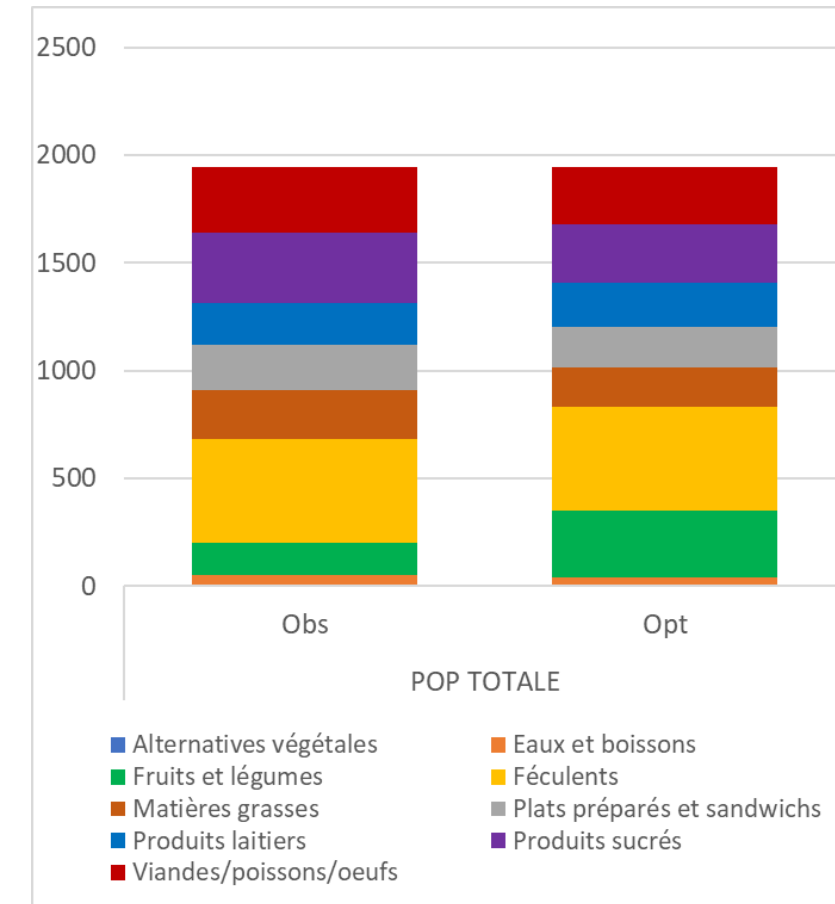
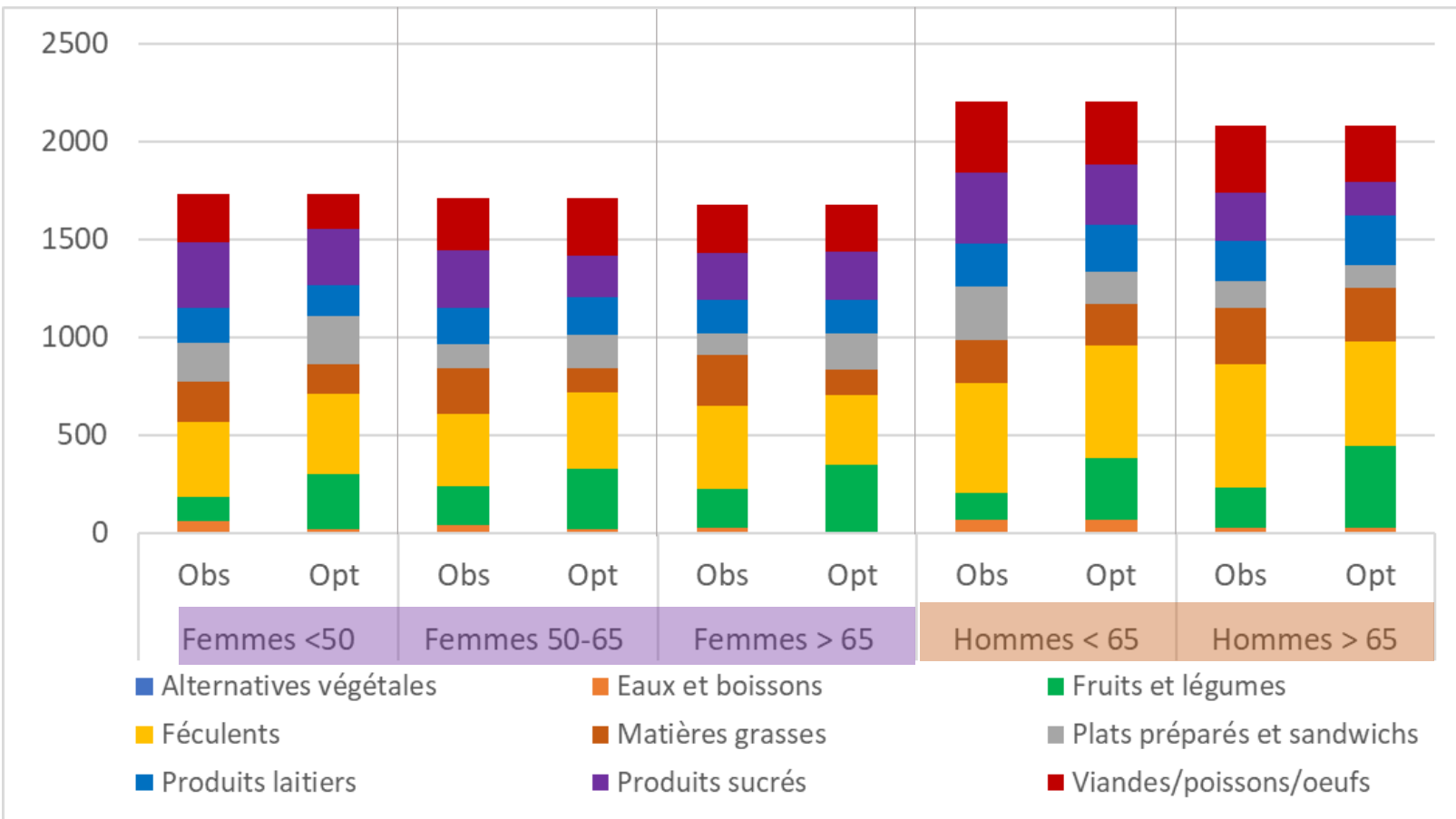
**Féculents** → sauf chez les >65

**Fruits et légumes** →

Fruits et légumes augmentent alors que produits sucrés et matières grasses baissent mais l'ampleur de ces changements est hétérogène d'une sous population à l'autre

Pour les autres groupes alimentaires, les directions peuvent changer d'une sous population à l'autre

# Contributions des groupes alimentaires à l'énergie (kcal) dans les régimes observés et optimisés



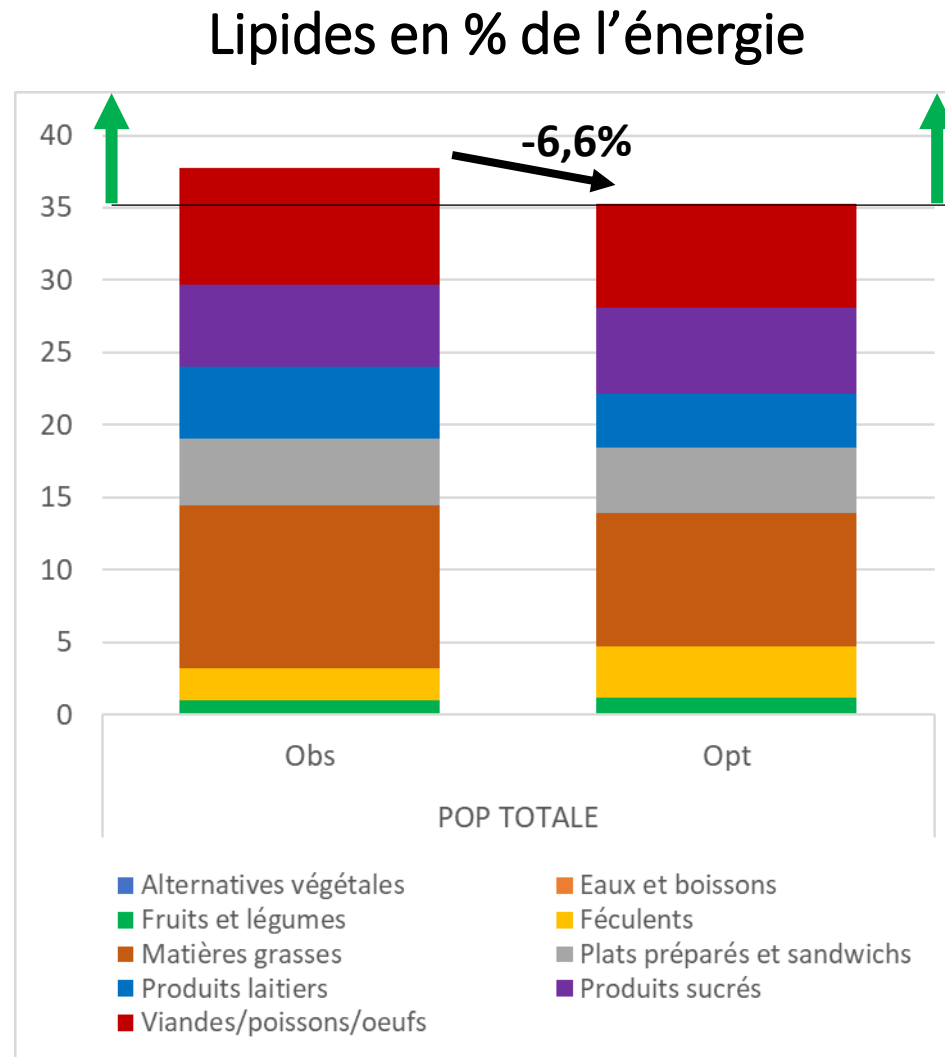
Fruits et légumes augmentent alors que produits sucrés et matières grasses baissent mais l'ampleur de ces changements est hétérogène d'une sous population à l'autre

Pour les autres groupes alimentaires, les directions peuvent changer d'une sous population à l'autre

Néanmoins, pour la suite, nous étudierons les résultats en regroupant les sous populations en une « population adulte totale »

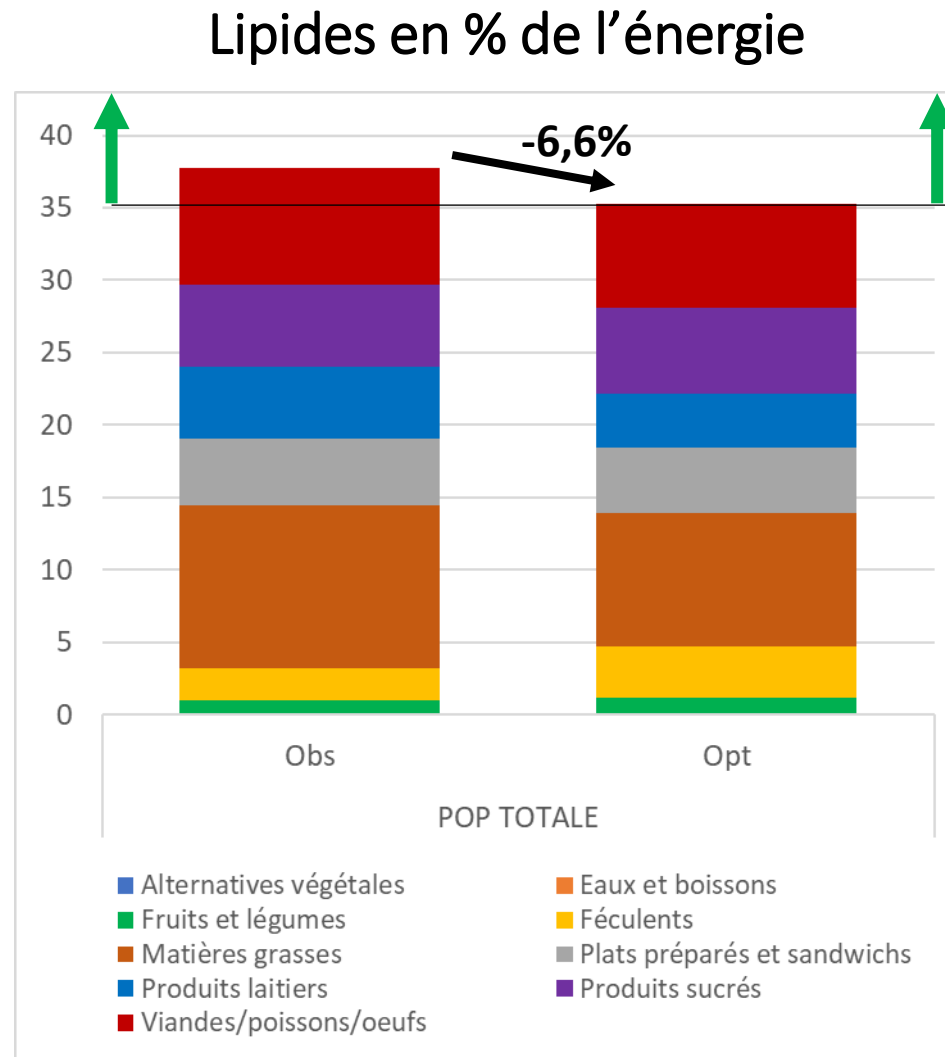


# Contributions des groupes alimentaires aux lipides (% Energie) dans les régimes observés et optimisés (on impose >35%E)



La teneur en lipides du régime optimisé est plus faible que celle du régime observé (valable dans toutes les sous populations)

# Contributions des groupes alimentaires aux lipides (% Energie) dans les régimes observés et optimisés (on impose >35%E)



**VOP: -11%**

**Produits sucrés: +6%**

**Produits Laitiers: -27%**

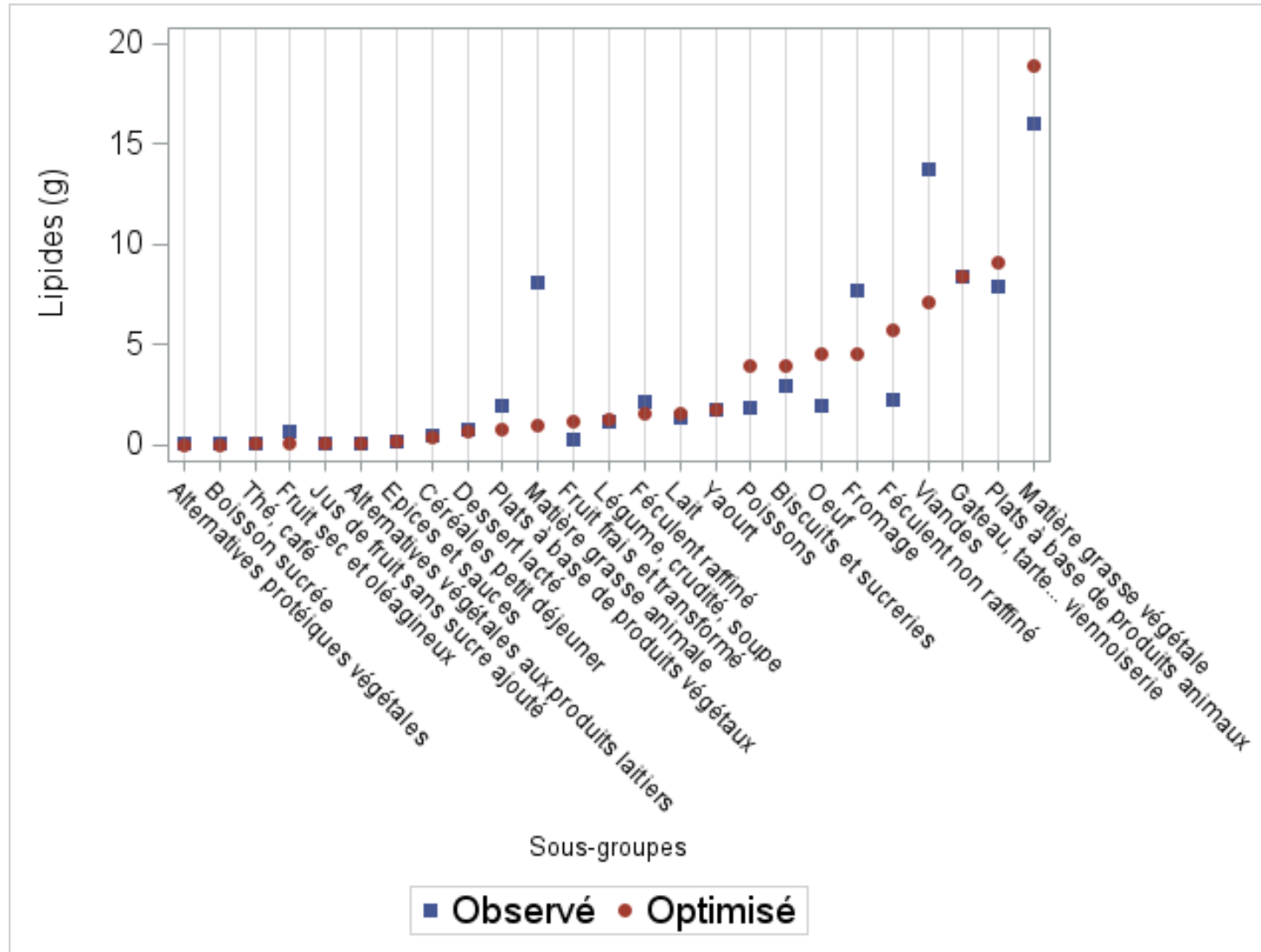
**Matières grasses: -18%**

**Féculents: +59%**

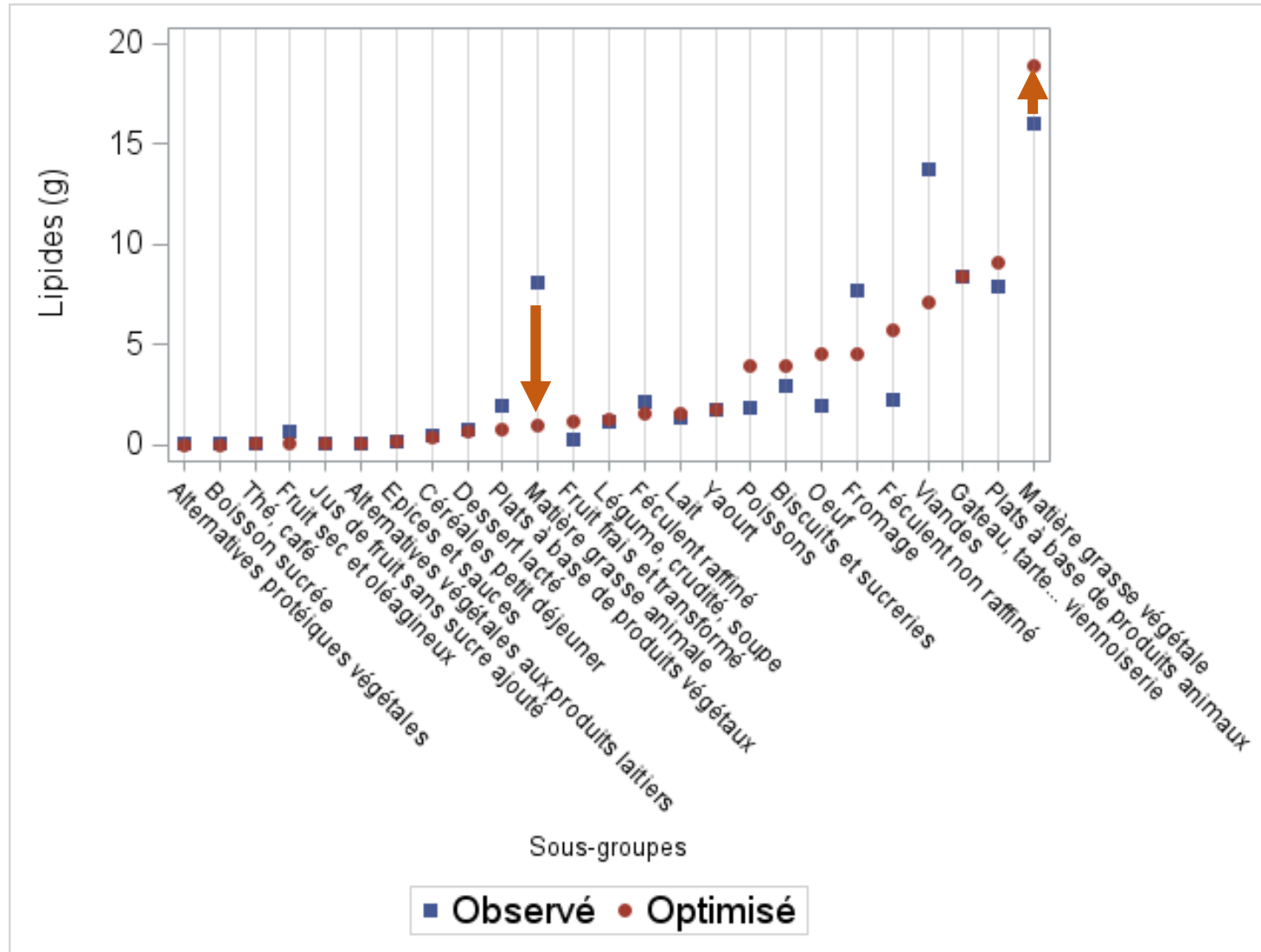
La teneur en lipides du régime optimisé est plus faible que celle du régime observé (valable dans toutes les sous populations)

Cette baisse de teneur en lipides s'explique par la baisse de la contribution des **matières grasses**, des **produits laitiers** et des **VOP**

# Contributions des sous-groupes alimentaires aux lipides (% Energie) dans les régimes observés et optimisés (on impose >35%E)



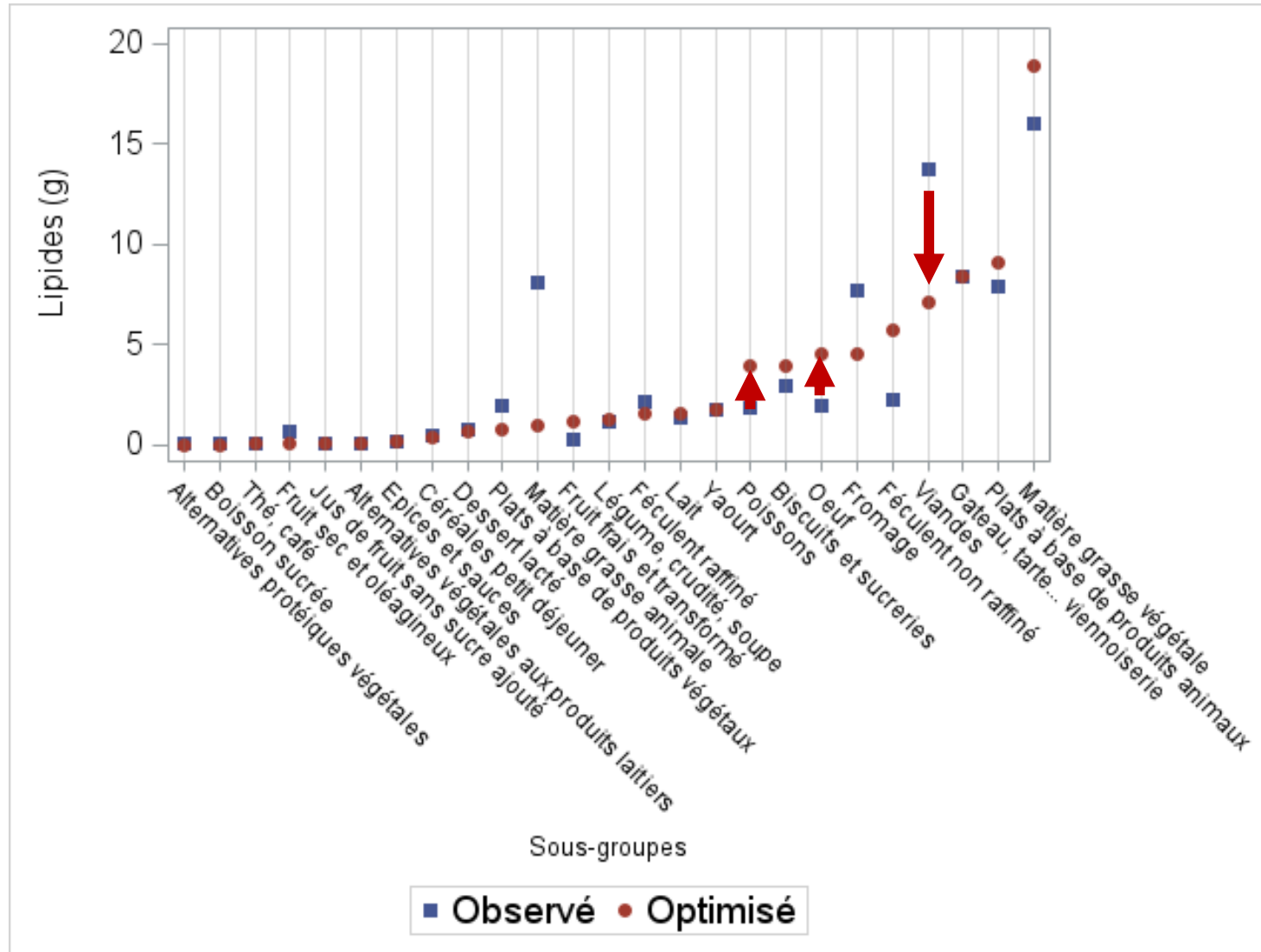
# Contributions des sous-groupes alimentaires aux lipides (% Energie) dans les régimes observés et optimisés (on impose >35%E)



**Matières grasses: -18%**  
MG animales: -88%  
MG végétales: +17%

Cependant, au sein des **Matières grasses**, la contribution des MG végétales augmente

# Contributions des sous-groupes alimentaires aux lipides (% Energie) dans les régimes observés et optimisés (on impose >35%E)

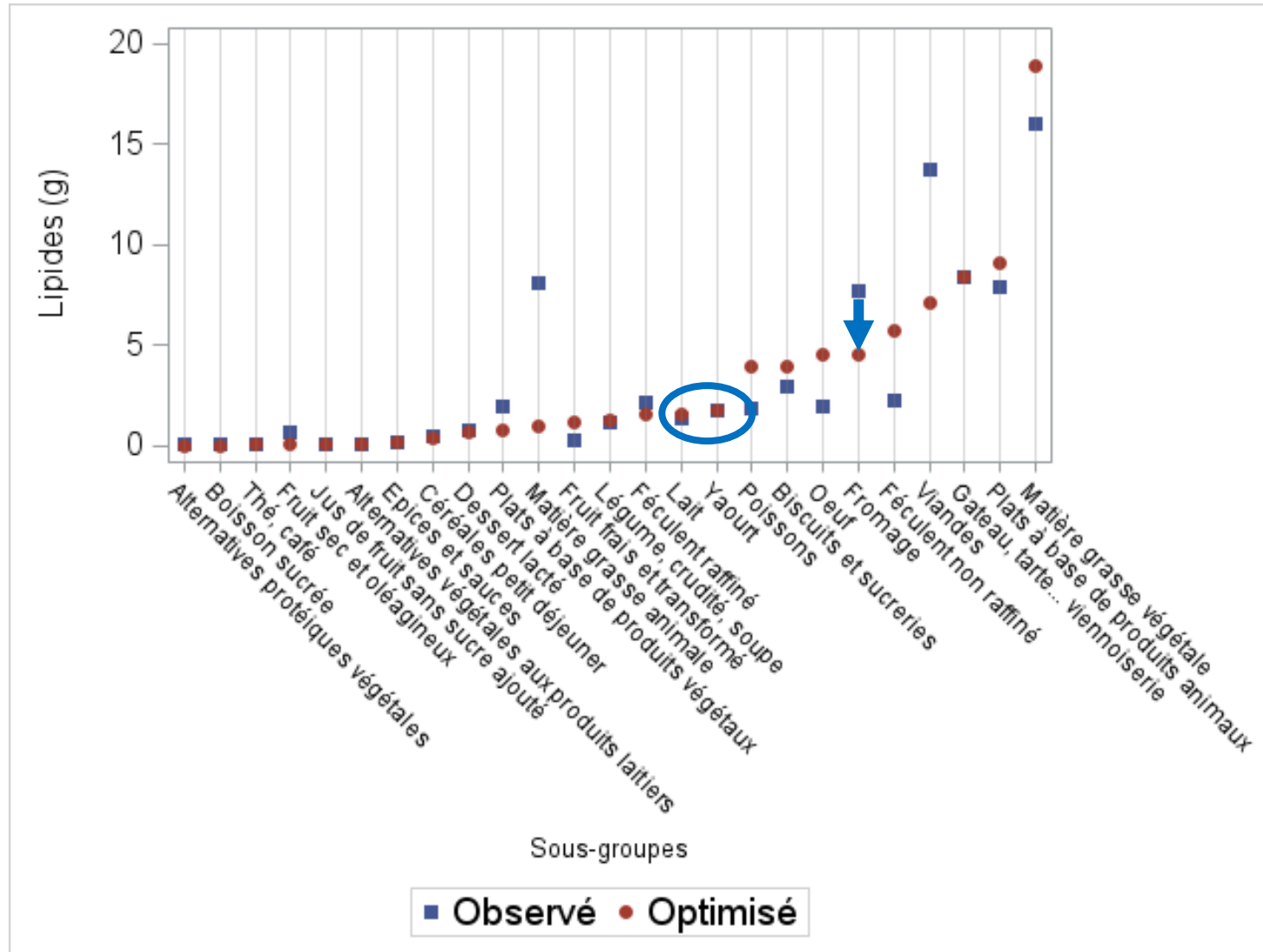


**Matières grasses: -18%**  
 MG animales: -88%  
 MG végétales: +17%

**VOP: -11%**  
 Viandes: -49%  
 Poissons: +115%  
 Œufs: +136%

Pendant, au sein des **Viandes, œufs, poissons**, la contribution des poissons et des oeufs augmente

# Contributions des sous-groupes alimentaires aux lipides (% Energie) dans les régimes observés et optimisés (on impose >35%E)



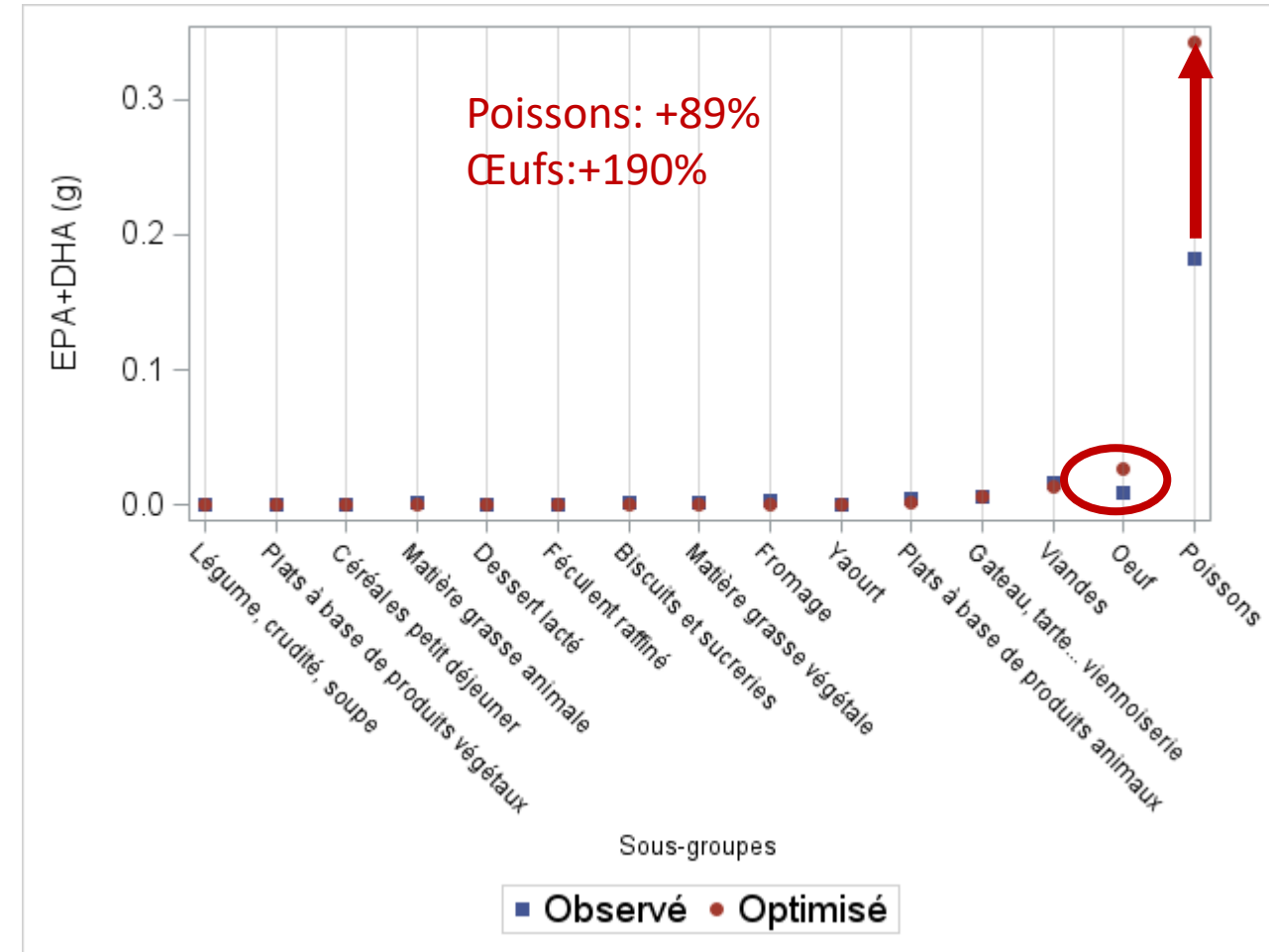
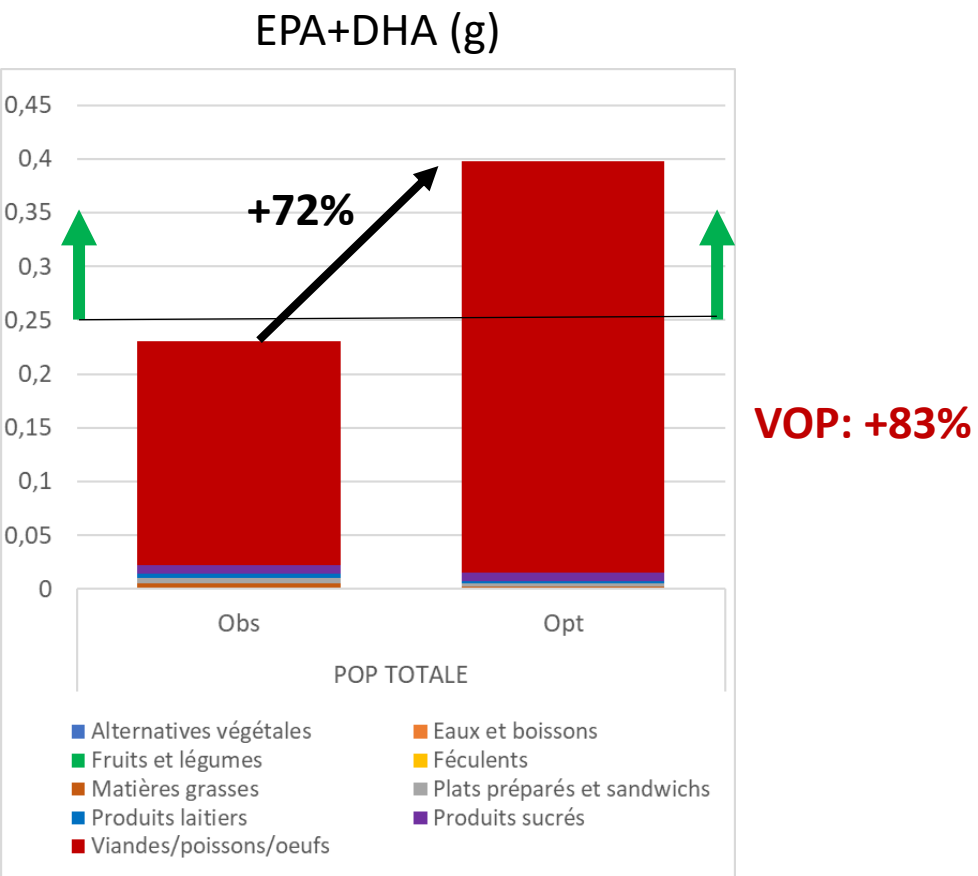
**Matières grasses: -18%**  
 MG animales: -88%  
 MG végétales: +17%

**VOP: -11%**  
 Viandes: -49%  
 Poissons: +115%  
 Œufs: +136%

**Produits Laitiers: -27%**  
 Fromage: -40%  
 Yaourt: stagne  
 Lait: +15%

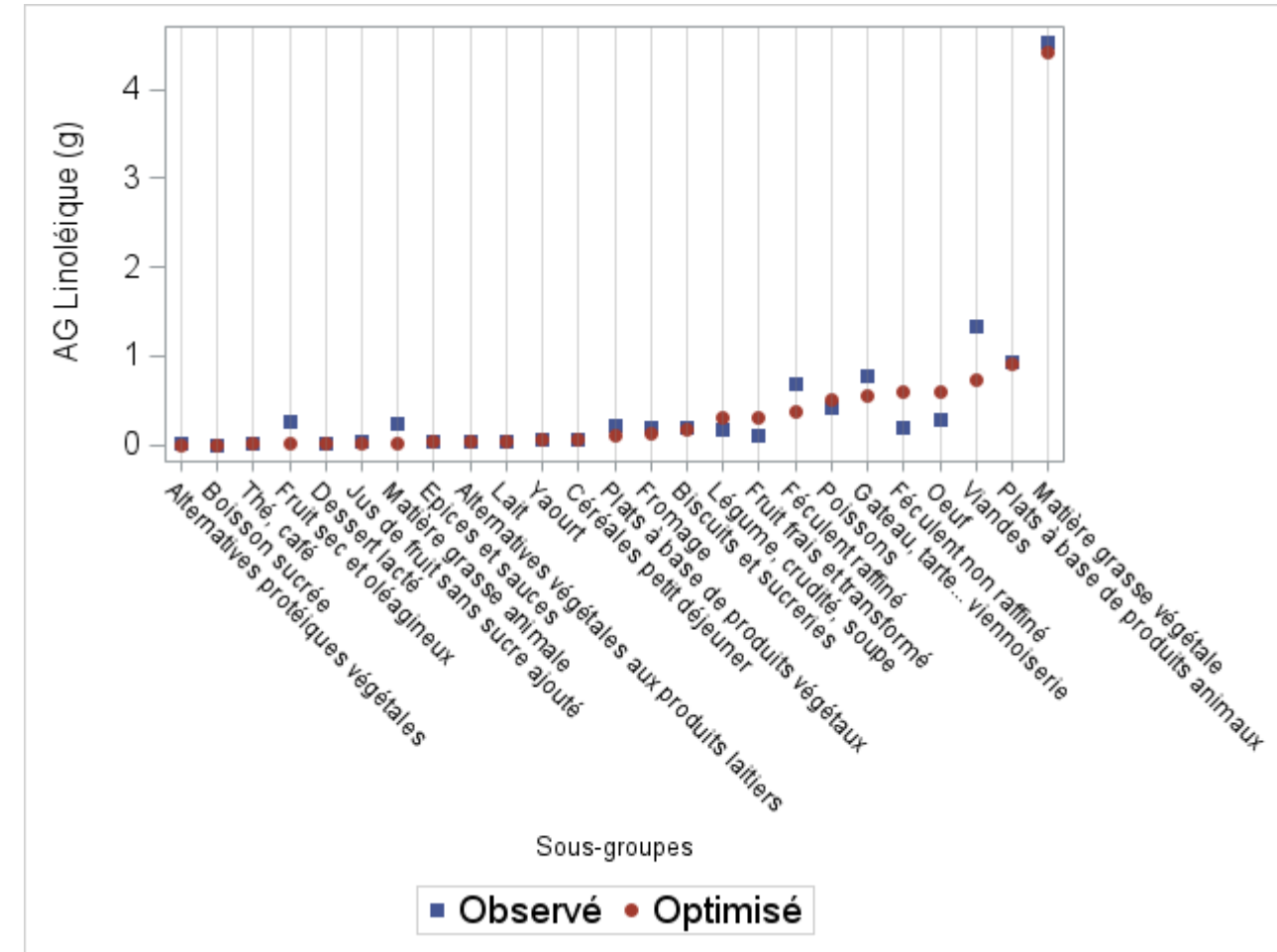
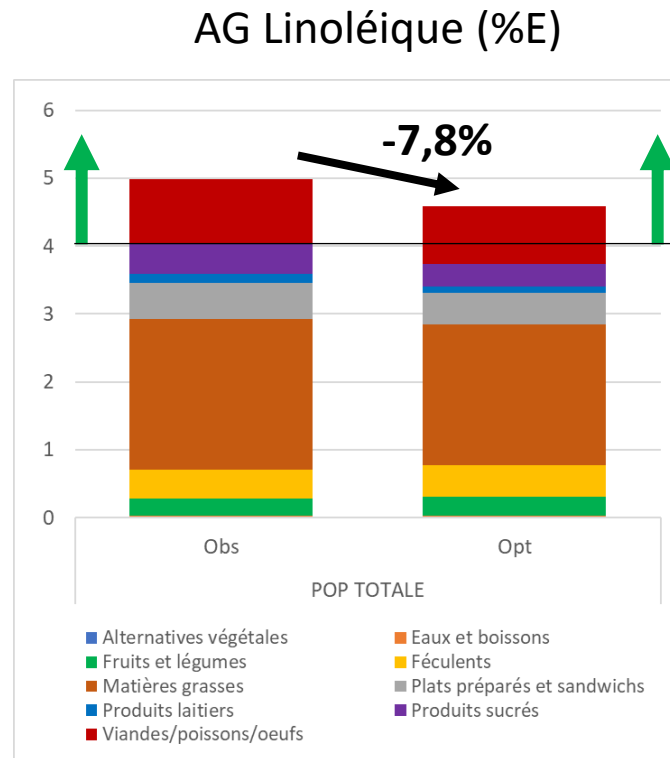
Cependant, au sein des **Produits laitiers**, la contribution du lait augmente

# Contributions des groupes et sous groupes aux teneurs en EPA+DHA (on impose >250mg/j) des régimes observés et optimisés



Le régime observé ne contient pas suffisamment de EPA+DHA. Le principal contributeur est le groupe Viandes, œufs, Poissons. L'augmentation de la contribution du poisson et des œufs permet de dépasser la contrainte appliquée dans le régime optimisé.

# Contributions des groupes et sous groupes aux teneurs en AG linoléique (on impose >4%E) des régimes observés et optimisés

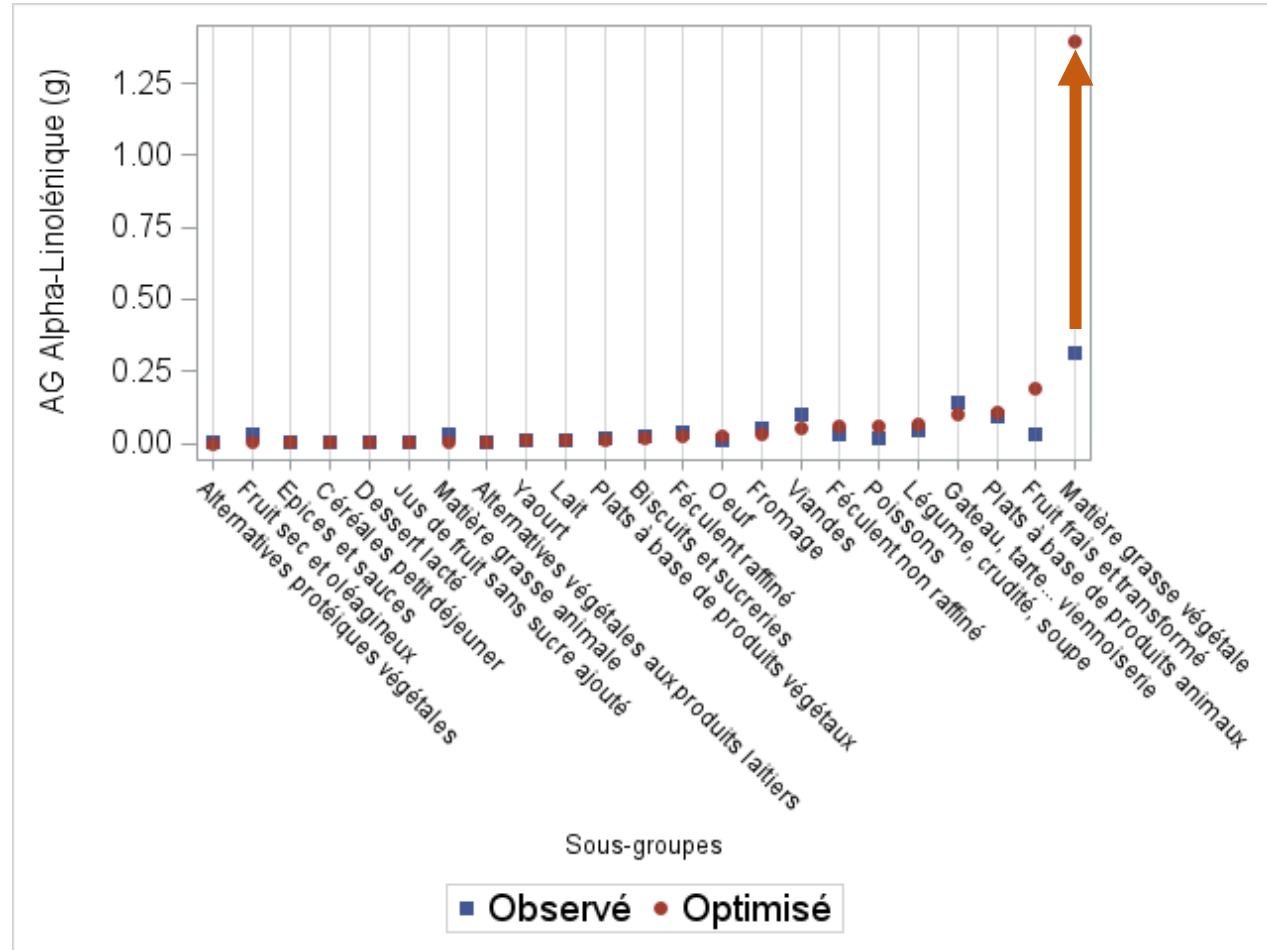
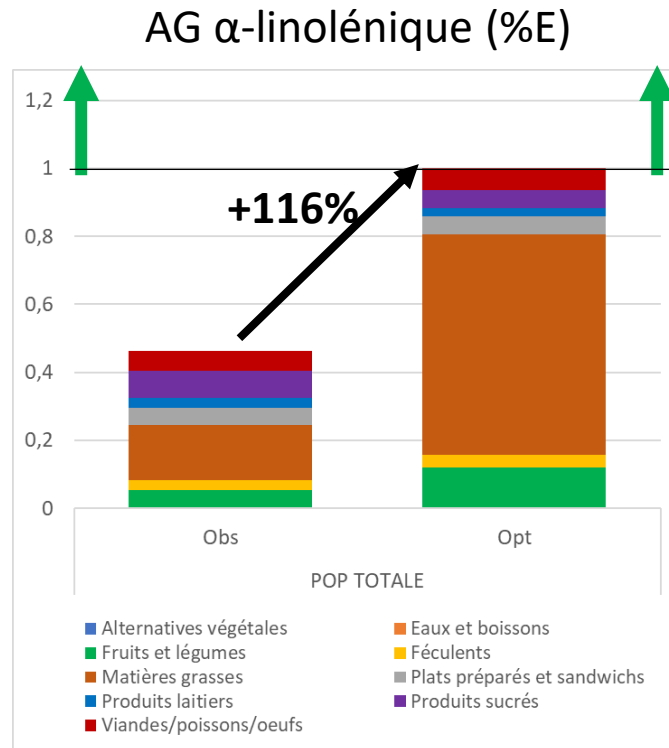


Le régime observé contient suffisamment d'AG Linoléique. Le principal contributeur est le groupe Matières grasses

Le respect de la contrainte sur cet AG n'influence pas les choix opérés par l'algorithme d'optimisation

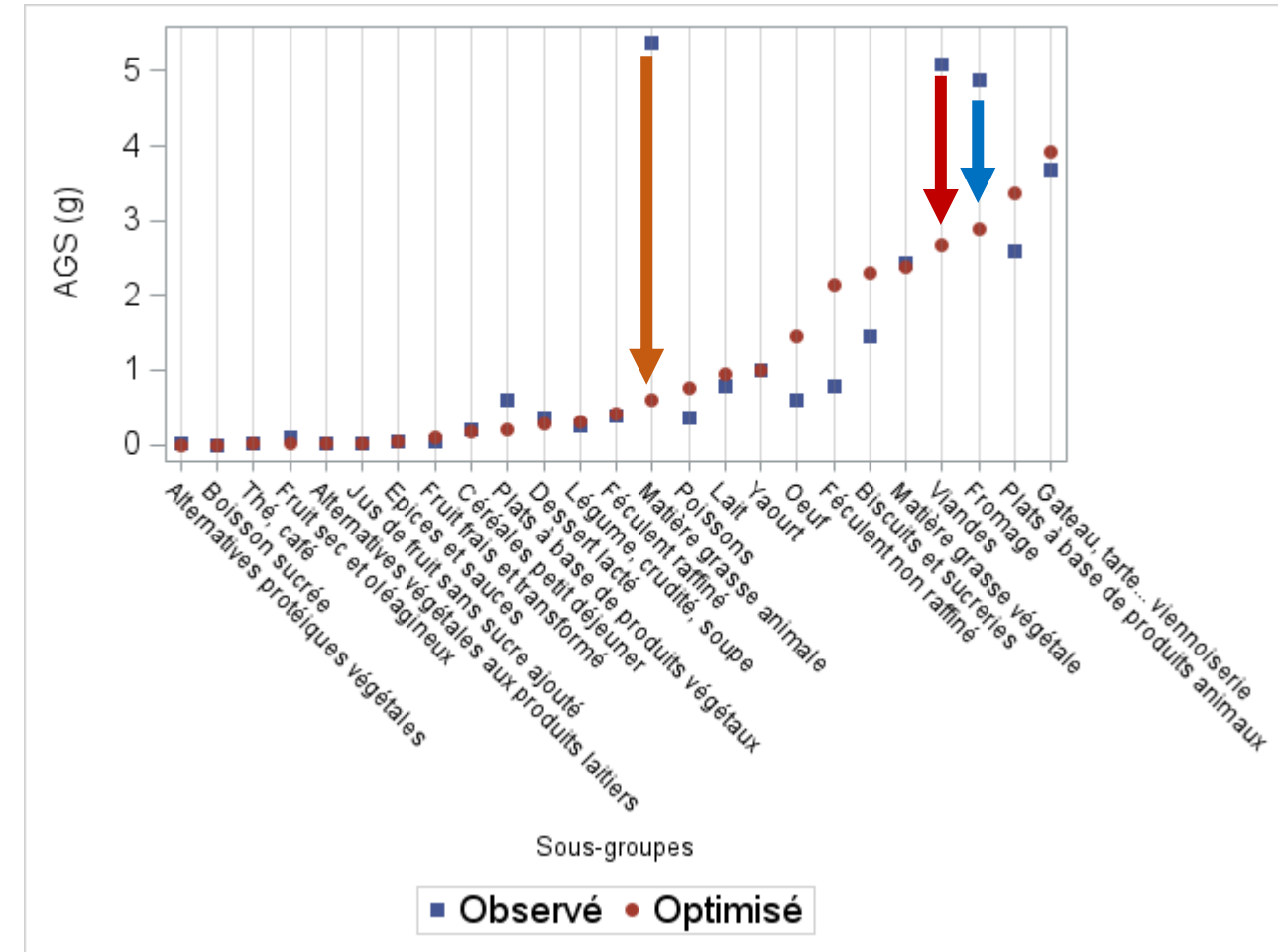
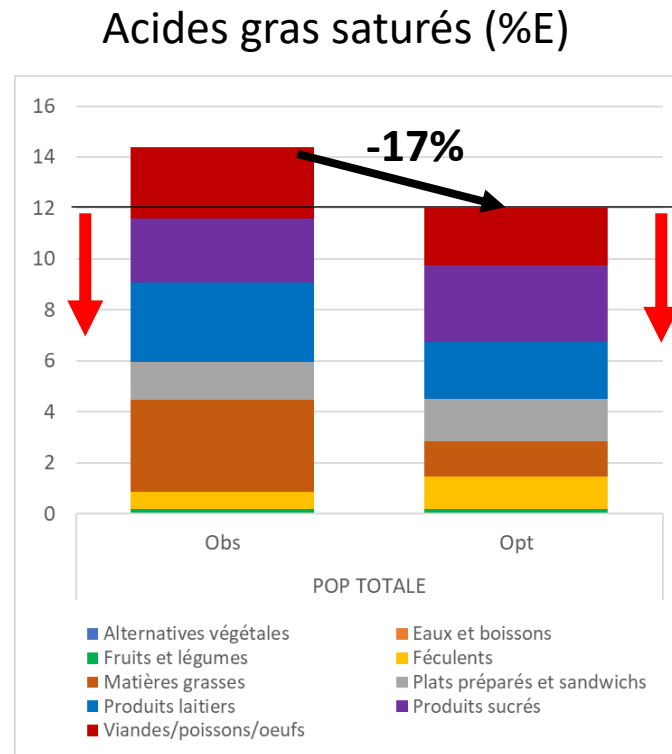


# Contributions des groupes et sous groupes aux teneurs en AG $\alpha$ -linoléinique (on impose $>1\%E$ ) des régimes observés et optimisés



Le régime observé ne contient pas suffisamment d'AG  $\alpha$ -linoléinique. Le principal contributeur est le groupe Matières grasses  
L'augmentation de la contribution des matières grasses végétales permet d'atteindre la contrainte imposée

# Contributions des groupes et sous groupes aux teneurs en AG saturés (on impose <12%E) des régimes observés et optimisés

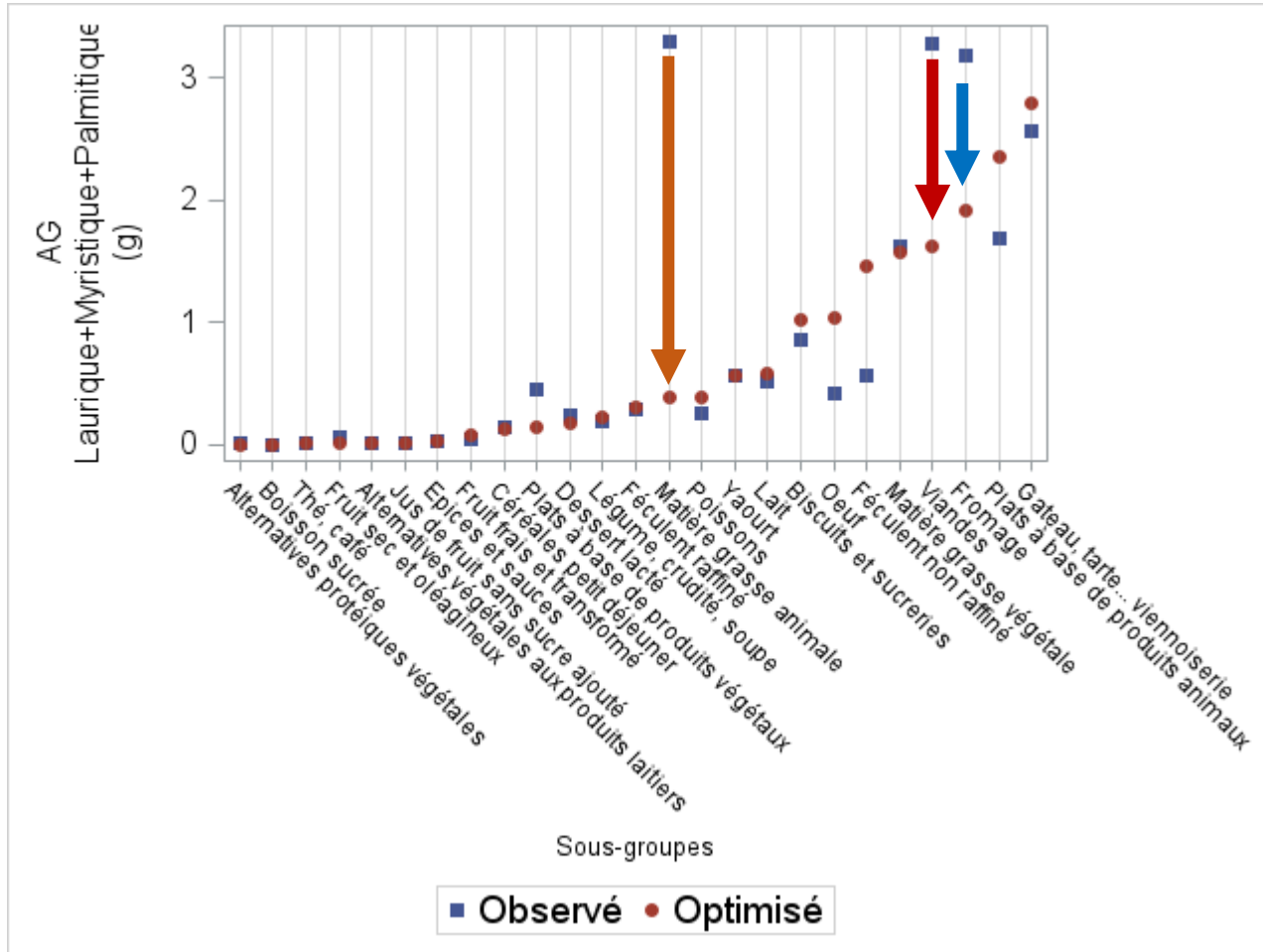
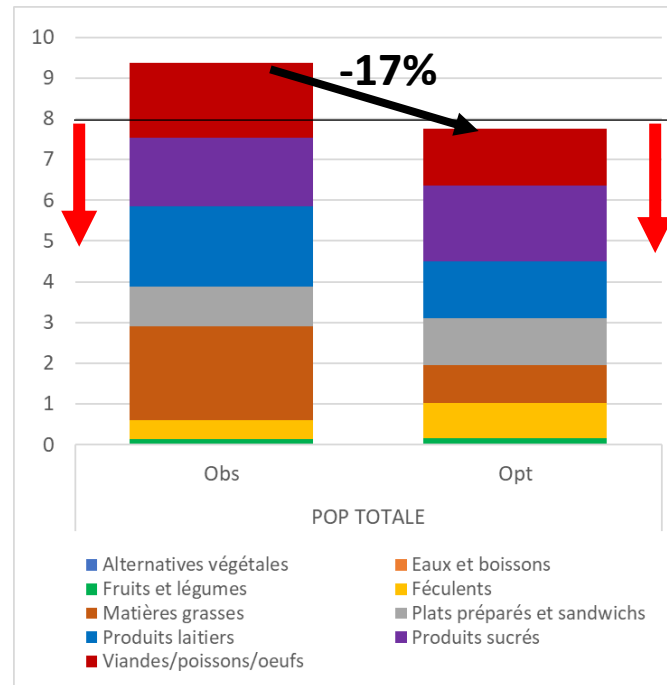


Le régime observé est en excès d'AG saturés. Le principal contributeur est le groupe Matières grasses

Le respect de la contrainte en AG saturés passe par une baisse des matières grasses animales, du fromage et des viandes

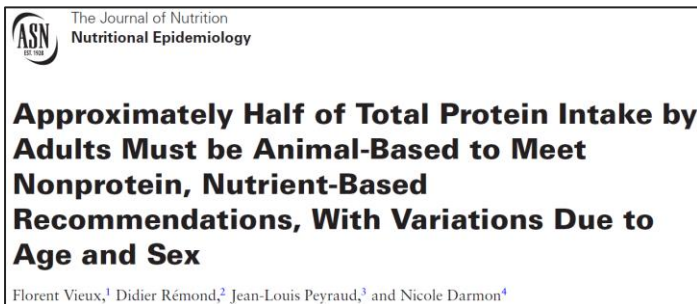
# Contributions des groupes et sous groupes aux teneurs en AG Laurique, Myristique & palmitique (on impose <8%E) des régimes observés et optimisés

AG Laurique Myristique et palmitique (%E)

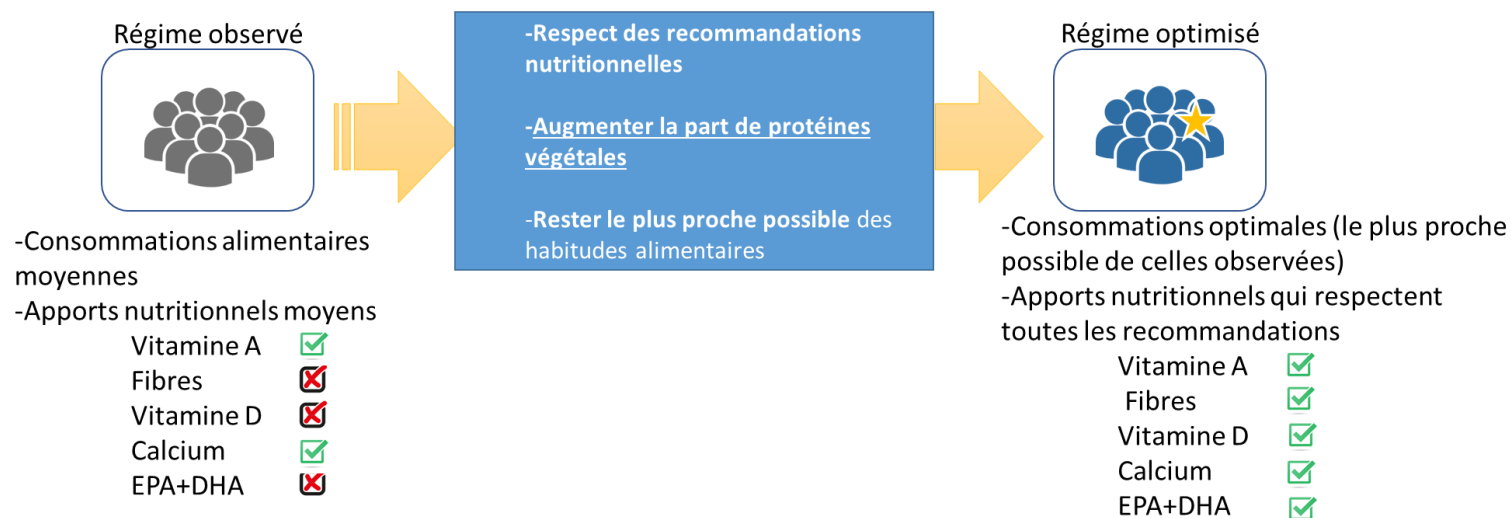


Le régime observé est en excès d'AG Laurique, Myristique & palmitique. Le principal contributeur est le groupe Matières grasses animales. Le respect de la contrainte passe par une baisse des matières grasses animales, du fromage et des viandes.

# Application récente de l'approche d'optimisation

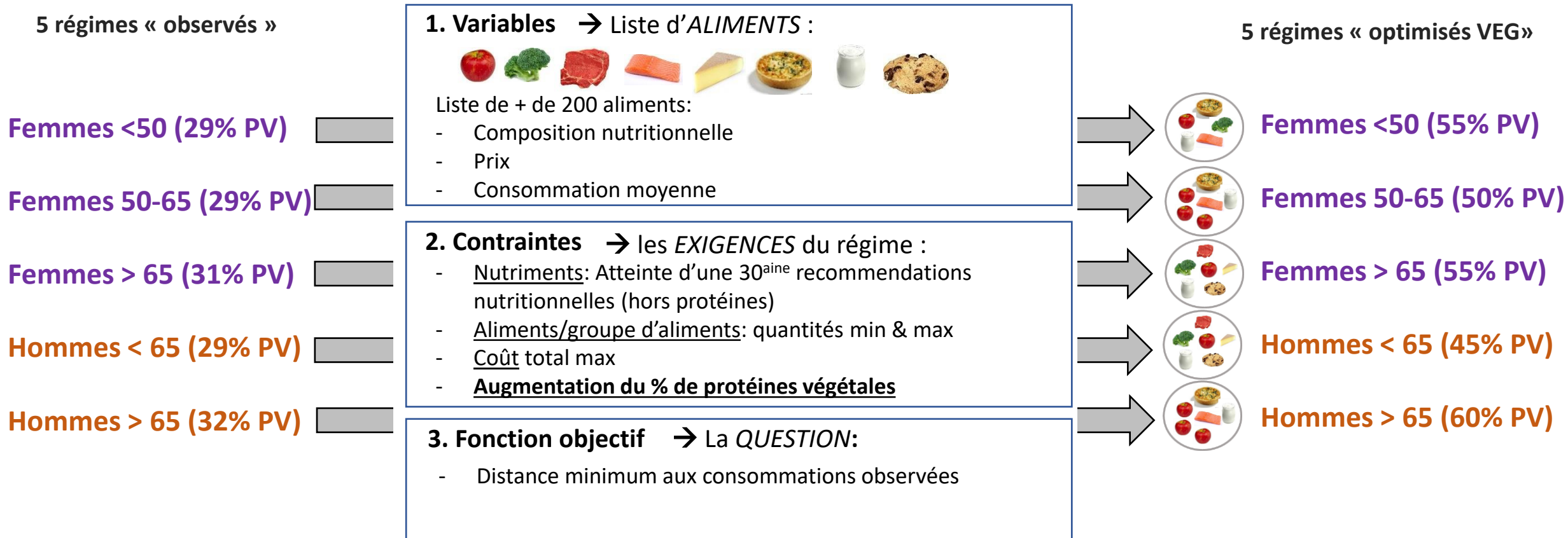


## Génération de régimes nutritionnellement adéquats éloignés le moins possible des habitudes alimentaires et contenant une plus grande part de protéines végétales

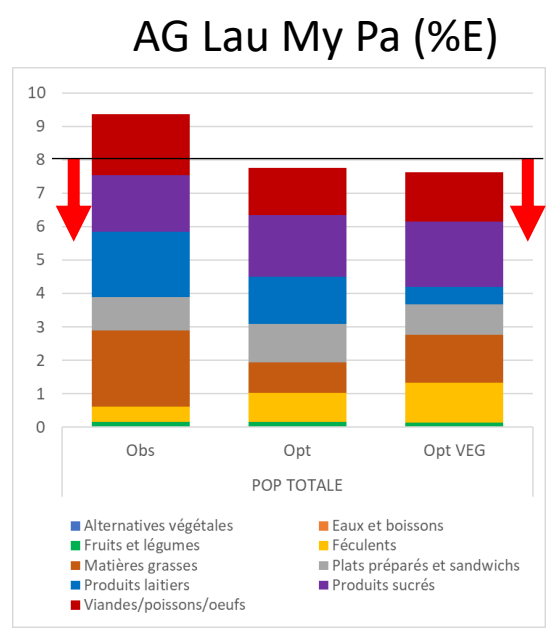
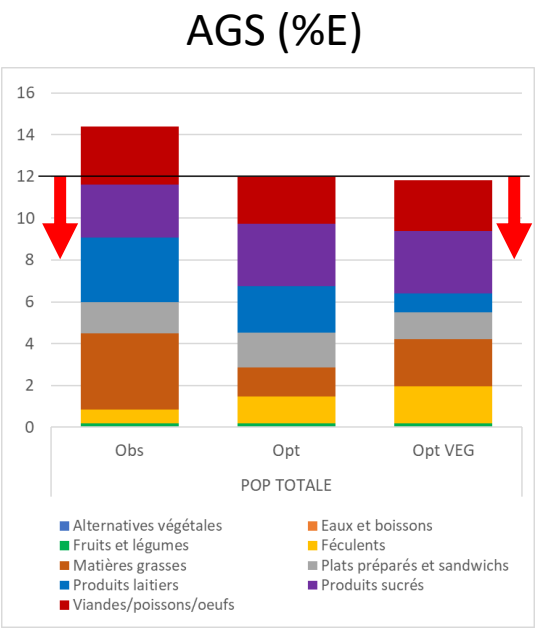
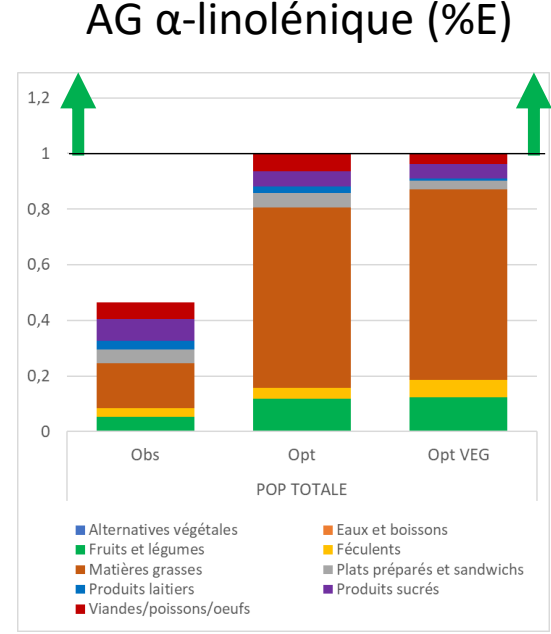
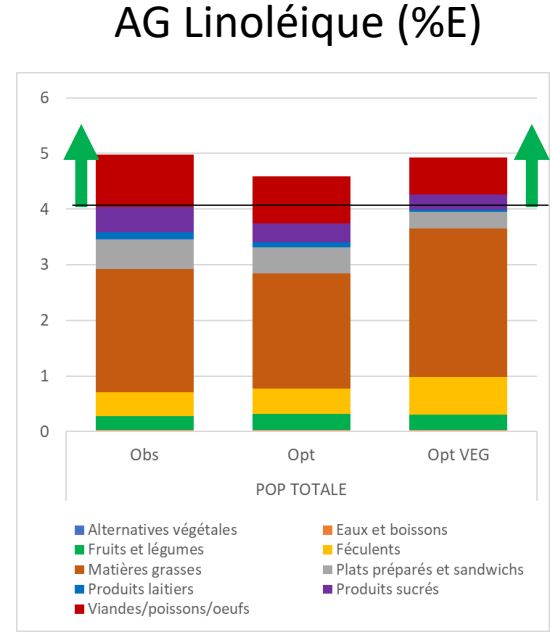
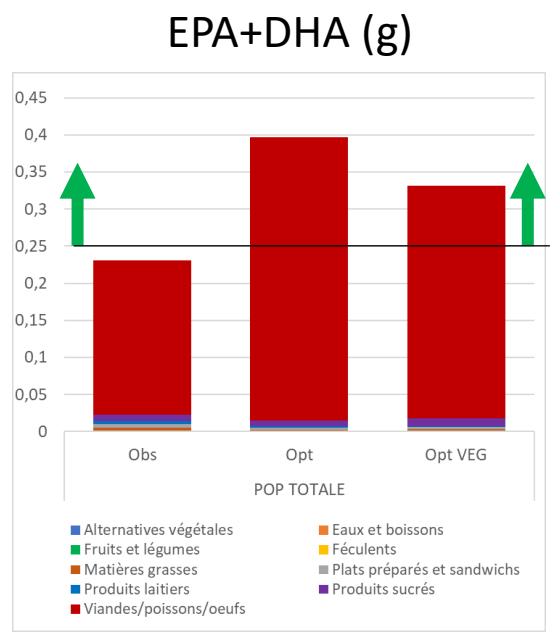
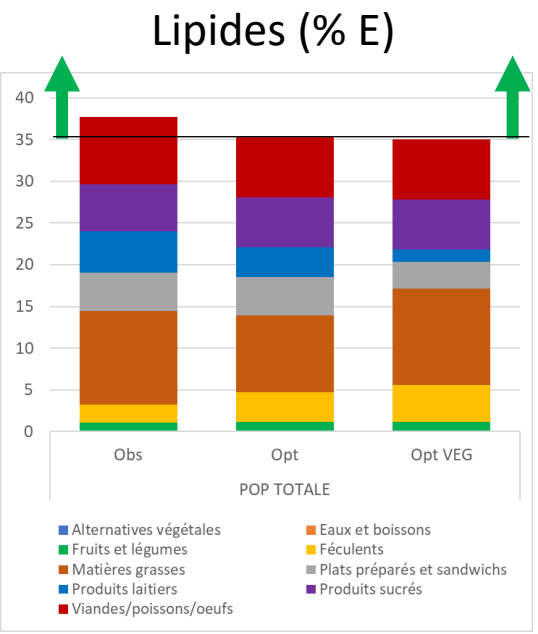


# Application récente de l'approche d'optimisation à la question de la végétalisation

Dans 5 sous-populations caractérisées par des besoins nutritionnels différents:



# Contributions des groupes aux teneurs en AG dans les régimes observés, optimisés et optimisés avec contrainte de végétalisation



Lipides totaux, AG α-linolénique demeurent des contraintes fortes

La contribution des MG (végétales) et féculents augmente au détriment de celle des produits laitiers

Aucun sous-groupe alimentaire n'est supprimé

# Conclusion

- Les changements alimentaires à opérer sont différents:
  - d'une sous population à l'autre car il existe une variabilité des besoins et des habitudes au sein de la population
  - au sein d'un même groupe alimentaire
- Les lipides totaux, les AGS, les AG  $\alpha$ -linoléique, (EPA et DHA) orientent les changements alimentaires à opérer (tout comme les fibres, le coût...)
- Lipides des **matières grasses végétales** (huile de colza), du **lait**, **des poissons et des œufs** sont à favoriser quand ceux des **matières grasses animales**, du **fromage** et de **la viande** sont à réduire (sans pour autant les supprimer)

# Informations supplémentaires

## Contraintes appliquées aux modèles (1)

	Women			Men	
Subpopulation	<50y	[50,65[	>=65y	<65y	>=65y
	=Observed	=Observed	=Observed	=Observed	=Observed
Energy (kcal/d)	(1731.6)	(1711.5)	(1675.4)	(2207.1)	(2082.8)
Carbohydrates (%E)	[40-55]				
Lipids (%E)	[35;40]				
LA(%E)	>4				
ALA(%E)	>1				
DHA+EPA (mg/d)	>250				
SFA (%E)	<12				
Lauric myristic palmitic (%E)	<8				
Total sugars (without lactose) (mg/d)	<100				
	< Observed	< Observed	< Observed	< Observed	< Observed
Sodium (mg/d)	(2613.0)	(<2624.7)	(<2689.1)	(<3459.9)	(<3575.5)
Na/K ratio (in molar terms)	<1				
Water (ml/d)	=2000			=2500	
Fiber (g/d)	>30				



# Informations supplémentaires

## Contraintes appliquées aux modèles (2)

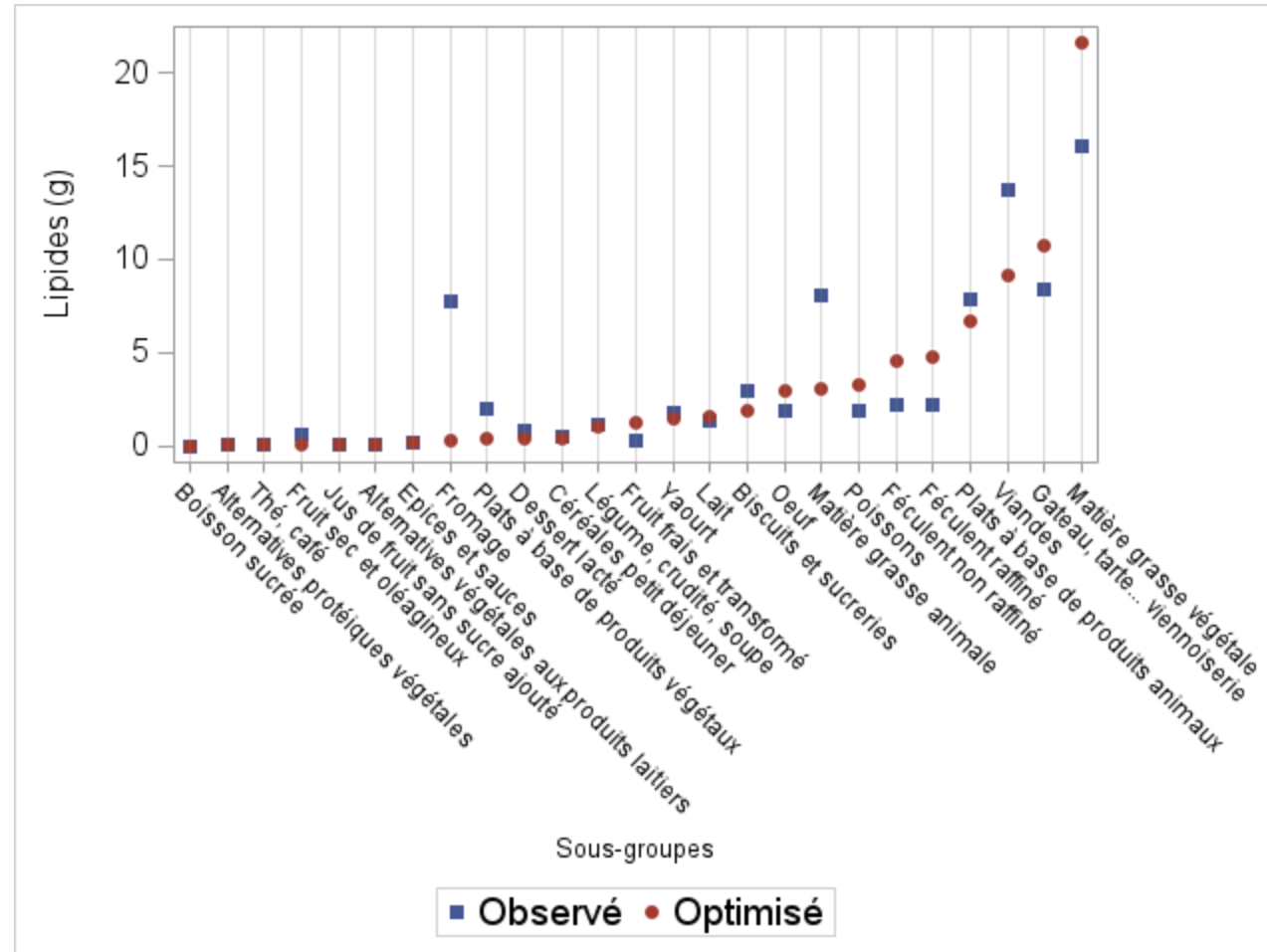
	Women			Men	
Subpopulation	<50y	[50,65[	>=65y	<65y	>=65y
Vitamin A (µg/d)	[650;3000]			[750;3000]	
Thiamin (mg/MJ)	>0.14	>0.1		>0.14	>0.1
Vitamin B12 (µg/d)	>4				
Riboflavin (mg/MJ)	>0.17				
Niacin	>1.6 mg NE/MJ <900mg/d				
Pantothenic (mg/d)	>4.7			>5.8	
Vitamin B6 (mg/d)	[1.5;25]	[1.6;25]		[1.8;25]	[1.7;25]
Folate (µg/d)	>330				
Vitamin C (mg/d)	>110				
Vitamin D (µg/d)	[5;50]				
Vitamin E (mg/d)	[9.9;300]			[10.5;300]	
Calcium (mg/d)	[959.41; 2500]	[950; 2500]		[957.87;2500]	[950; 2500]
Copper (mg/d)	[1;5]	[1.3;5]		[1.3;5]	[1.6;5]
Iron (mg/d)	>16 ou >11	>11			
Iodine (µg/d)	[150;600]				
Magnesium (mg/d)	>360			>420	
Phosphorus (mg/d)	>700	>550		>700	>550
Selenium (µg/d)	[70;300]				
	[7.5; 25]			[9.4; 25]	
Zinc (mg/d)	>0.0058* Phyt +5.8			>0.0077* Phyt +7.1	

# Informations supplémentaires

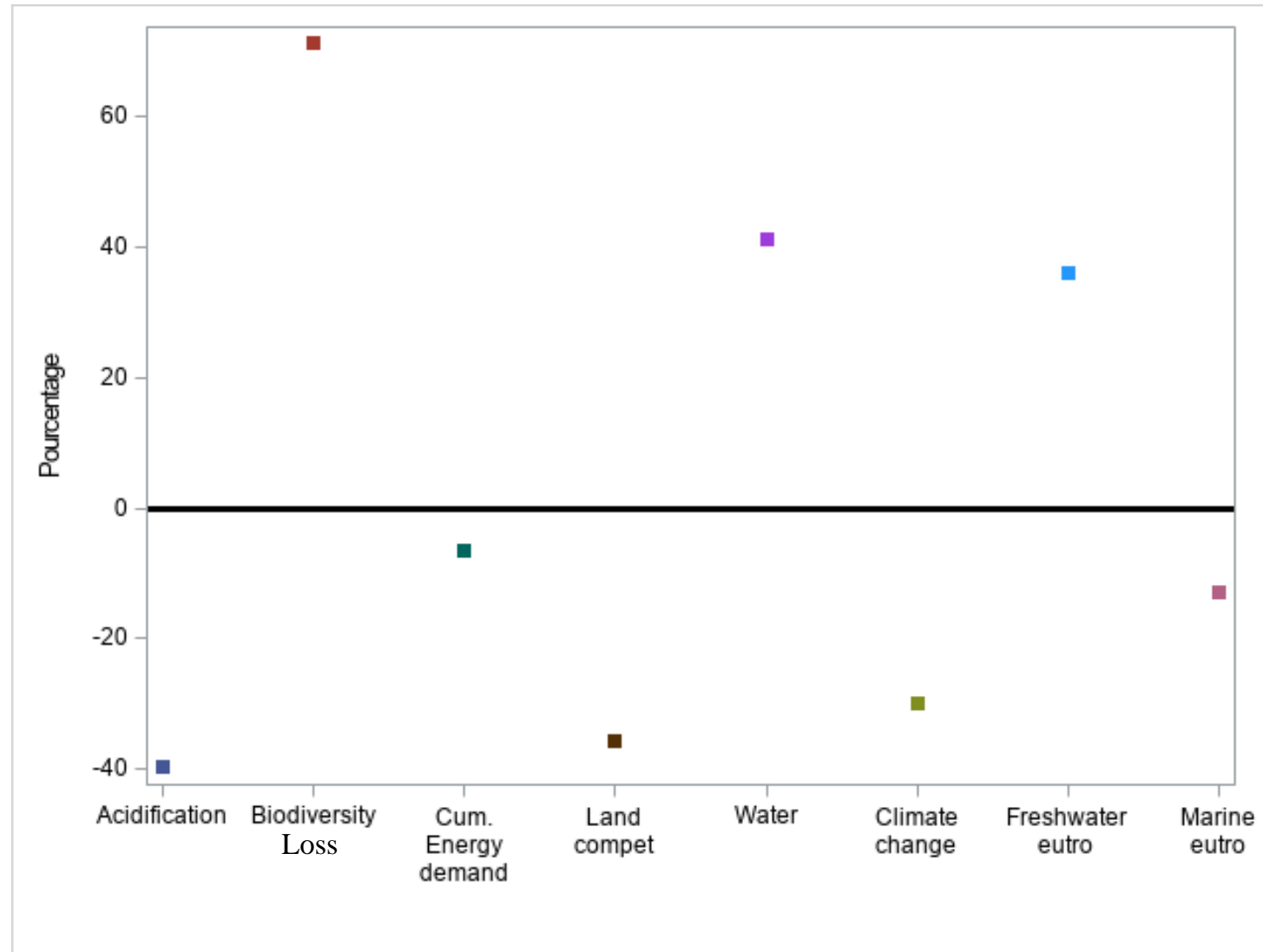
## Contraintes appliquées aux modèles (3)

	Women			Men	
Subpopulation	<50y	[50,65[	>=65y	<65y	>=65y
	< Observed	< Observed	< Observed	< Observed	< Observed
Diet cost (€/d)	(5.16)	(5.77)	(5.52)	(6.33)	(6.30)
Fish (g/d)	<28.57				
Quantity per food item	<p95 estimated among consumers only				
Fortified products	<Observed quantity				
<b>Additional constraints applied in models maximizing acceptability (MAX_ACC), not applied in MIN_PROT models</b>					
Quantity per food group	[p5;p95] estimated among all individuals, including non consumers				
Quantity per food subgroup	[p5;p95] estimated among all individuals, including non consumers				
Quantity per food category	[p5;p95] estimated among all individuals, including non consumers				
Plant to animal protein ratio	Gradually increase by 5% step				

# Informations supplémentaires



# Résultats - Variation (%), par rapport à l'observé, des impacts environnementaux (population totale)



- Diètes modélisées bénéfiques sur l'acidification, la demande en énergie, l'utilisation des sols, l'impact carbone et l'eutrophisation marine mais négatif sur la biodiversité, l'utilisation de l'eau et l'eutrophisation en eau douce

# Quelles méthodologies pour définir les choix alimentaires à opérer afin d'atteindre l'adéquation nutritionnelle?

## I. Scénario alimentaire



### Définition d'un scénario et analyse de son impact

*Exemple: Impact sur les apports nutritionnels d'une substitution progressive des produits animaux par des produits végétaux*

## II. Observationnelle



### Identification d'individus disposant d'une caractéristique d'intérêt et étude de leurs spécificités

*Exemple: Comparaison des apports nutritionnels entre végétariens et non végétariens*

## III. Optimisation

$$\begin{aligned} \min \sum_{j=1}^n c_j x_j &= Z \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &= b_i \quad , i = 1, \dots, m \\ x_j &\geq 0 \quad , j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

### Génération par optimisation d'un régime respectant un ensemble d'objectifs

*Exemple: Quantité minimale de produits animaux compatible avec l'adéquation nutritionnelle*

# Quelles méthodologies pour définir les choix alimentaires à opérer afin d'atteindre l'adéquation nutritionnelle?

## I. Scénario alimentaire



### Définition d'un scénario et analyse de son impact

*Exemple: Impact sur les apports nutritionnels d'une substitution progressive des produits animaux par des produits végétaux*

## II. Observationnelle



### Identification d'individus disposant d'une caractéristique d'intérêt et étude de leurs spécificités

*Exemple: Comparaison des apports nutritionnels entre végétariens et non végétariens*

## III. Optimisation

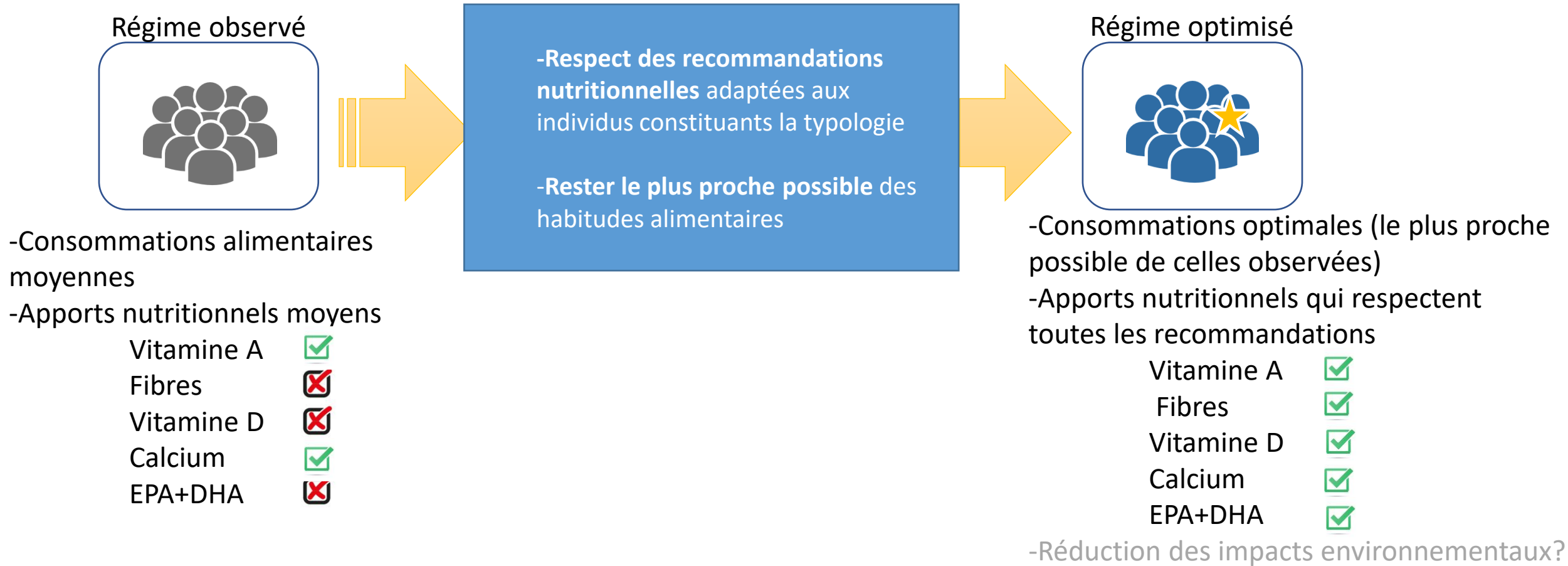
$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{j=1}^n c_j x_j = Z \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &= b_i \quad , i = 1, \dots, m \\ x_j &\geq 0 \quad , j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

### Génération par optimisation d'un régime respectant un ensemble d'objectifs

*Exemple: Quantité minimale de produits animaux compatible avec l'adéquation nutritionnelle*

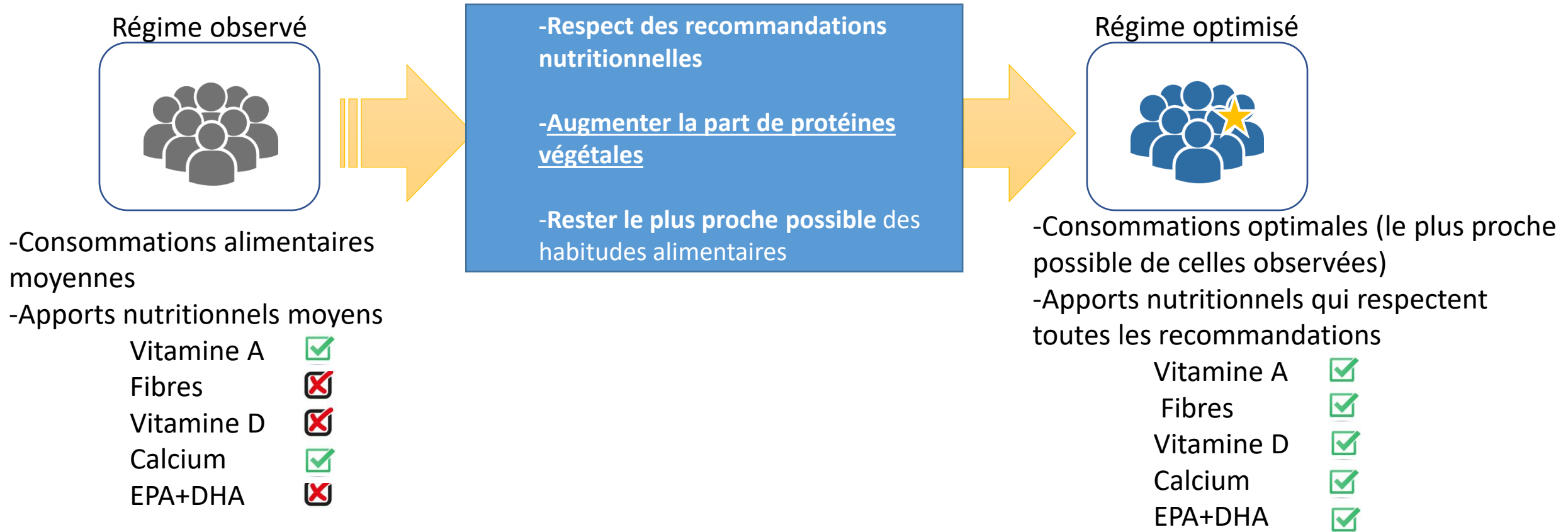
# Recommandations alimentaires adaptées

Pour chaque typologie définie précédemment:



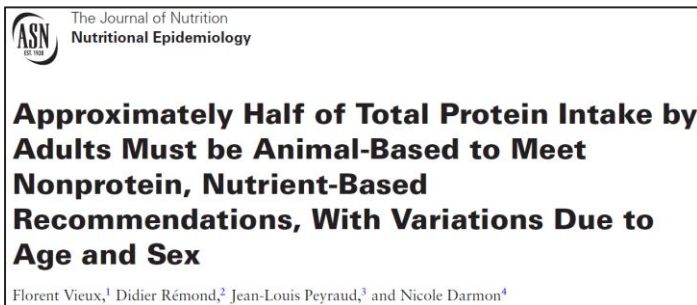
# Recommandations alimentaires adaptées

Pour chaque typologie définie précédemment:





# Application récente de l'approche d'optimisation



## Génération de régimes le plus proche possible des habitudes alimentaires mais nutritionnellement adéquat

