

---

# Étude des expositions des populations aux pyréthriinoïdes

## Étude de cas : Exposition à la perméthrine

---

Auto-saisine « 2015-SA-0203 Exposition agrégée »

# **RAPPORT** **d'appui scientifique et technique**

Septembre 2018

## Mots clés

---

Perméthrine, exposition agrégée, aliment, air et poussières sédimentés, pesticides, DCCA, modèle PBPK

Permethrin, aggregate exposure, diet, air and settled dust, pesticides, DCCA, PBPK model

## Présentation des intervenants

**PRÉAMBULE** : Les experts, membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

### RELECTEURS

---

M. Bruno LE BIZEC - Professeur des universités - compétences en chimie analytique  
Mme Nicole HAGEN-PICARD - Professeur des universités - compétences en toxicologie  
M. Jacques BELEGAUD – Professeur honoraire – compétences en toxicologie

### COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

---

- CES « Évaluation des risques physico-chimiques liés aux aliments » (2015-2018)

#### Président

M. Cyril FEIDT – Professeur des universités – compétences en transfert des contaminants

#### Membres

M. Claude ATGIE – Professeur des universités – compétences en toxicologie  
M. Pierre-Marie BADOT - Professeur des universités – compétences en transfert des contaminants  
M. Jacques BELEGAUD – Professeur honoraire – compétences en toxicologie  
Mme Valérie CAMEL - Professeur des universités – compétences en chimie analytique  
Mme Martine CLAUW - Professeur des universités - compétences en toxicologie  
M. Guillaume DUFLOS- Responsable de laboratoire - compétences en chimie analytique  
Mme Camille DUMAT - Professeur des universités – compétences en chimie analytique  
M. Jérôme GAY-QUEHEILLARD - Maître de conférence des universités - compétences en impacts digestifs et métabolisme  
M. Thierry GUERIN – Directeur de recherche – compétences en chimie analytique  
Mme Nicole HAGEN-PICARD - Professeur des universités - compétences en toxicologie  
Mme Laila LAKHAL - Ingénieur animateur de projets - compétences en toxicologie  
M. Claude LAMBRE - Retraité - compétences en toxicologie  
M. Bruno LE BIZEC - Professeur des universités - compétences en chimie analytique  
Mme Raphaële LE GARREC - Maître de conférence des universités - compétences en toxicologie  
M. Eric MARCHIONI - Professeur des universités - compétences en chimie analytique  
M. César MATTEI - Maître de conférence des universités - compétences en toxicologie  
Mme Sakina MHAOUTY-KODJA - Directeur de recherche - compétences en toxicologie  
M. Fabrice NESSLANY - Directeur de laboratoire - compétences en toxicologie  
M. Alain-Claude ROUDOT - Professeur des universités - compétences en modélisation mathématique  
Mme Karine TACK - Responsable de laboratoire - compétences en chimie analytique  
Mme Paule VASSEUR - Professeur émérite - compétences en toxicologie

M. Eric VERDON - Responsable de laboratoire - compétences en chimie analytique

M. Jean-Paul VERNOUX - Professeur émérite - compétences en toxicologie

## **PARTICIPATION ANSES**

---

### **Coordination scientifique**

Mme Virginie DESVIGNES – Chargée de projet – Anses

### **Contribution scientifique**

Mme Marie Hermant – Stagiaire

M. Laurent Bodin – Chef de projet – Anses

M. Keyvin Darney – Stagiaire

### **Secrétariat administratif**

M. Régis MOLINET – Anses

## SOMMAIRE

<b>Présentation des intervenants.....</b>	<b>3</b>
<b>Sigles et abréviations .....</b>	<b>8</b>
<b>Liste des tables .....</b>	<b>10</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>13</b>
<b>Liste des équations.....</b>	<b>13</b>
<b>1 Contexte, objet et modalités de réalisation des travaux.....</b>	<b>15</b>
1.1 Contexte.....	15
1.2 Objet de l'auto-saisine .....	15
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	16
<b>2 Introduction .....</b>	<b>17</b>
<b>3 Les pyréthrinoïdes .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Généralités.....</b>	<b>21</b>
3.1.1 Cadre réglementaire .....	21
3.1.2 Mécanisme d'action et toxicologie .....	22
3.1.3 Les pyréthrinoïdes dans l'environnement.....	23
3.1.4 Exposition aux pyréthrinoïdes.....	24
<b>3.2 La perméthrine .....</b>	<b>25</b>
3.2.1 Identification de la substance .....	25
3.2.2 Propriétés physico-chimiques .....	25
3.2.3 Aspects règlementaires .....	25
3.2.4 Devenir dans l'environnement .....	26
3.2.5 Métabolisme de la perméthrine et cinétique .....	27
3.2.6 Toxicité de la perméthrine.....	28
<b>4 Méthode d'évaluation des expositions .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Introduction .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 Les données .....</b>	<b>30</b>
4.2.1 Les données de contamination environnementales .....	30
4.2.2 La population d'étude.....	35
<b>4.3 Traitement et analyses statistiques des données.....</b>	<b>38</b>
4.3.1 Traitement des données censurées .....	38
4.3.2 Estimations des moyennes de consommation .....	39
4.3.3 Estimations des expositions .....	40
4.3.4 Le modèle PBPK.....	48

4.3.5	Statistiques de description et multivariées.....	57
<b>5</b>	<b>Résultats.....</b>	<b>61</b>
<b>5.1</b>	<b>Présentation de la population .....</b>	<b>61</b>
5.1.1	Caractéristiques anthropométriques et sociodémographiques .....	61
5.1.2	Description des usages des pesticides dans la population .....	63
<b>5.2</b>	<b>Description des consommations alimentaires de la population.....</b>	<b>64</b>
5.2.1	Consommation des groupes d'aliments selon le sexe et l'âge .....	64
5.2.2	Consommation alimentaire selon les grandes régions .....	69
5.2.3	Consommation alimentaire selon les périodes de recrutement.....	69
<b>5.3</b>	<b>Exposition de la population à la perméthrine .....</b>	<b>76</b>
5.3.1	Exposition alimentaire à la perméthrine.....	76
5.3.2	Exposition environnementale.....	84
5.3.3	Modélisation de la concentration en <i>cis-</i> et <i>trans</i> -DCCA.....	90
<b>5.4</b>	<b>Analyse des sources d'incertitude .....</b>	<b>98</b>
<b>6</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>101</b>
<b>6.1</b>	<b>Mise en place d'une méthode de calcul des expositions externes et interne.....</b>	<b>101</b>
6.1.1	Exposition alimentaire.....	101
6.1.2	Expositions environnementales .....	102
6.1.3	Modèle PBPK.....	102
<b>6.2</b>	<b>Limites et préconisations méthodologiques.....</b>	<b>104</b>
6.2.1	Exposition alimentaire .....	104
6.2.2	Expositions environnementales .....	105
6.2.3	Modèle PBPK.....	108
<b>7</b>	<b>Conclusion et perspectives .....</b>	<b>110</b>
<b>8</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>112</b>
<b>Annexe 1</b>	<b>: Auto-saisine .....</b>	<b>119</b>
<b>Annexe 2</b>	<b>: Revue bibliographique des données de contamination.....</b>	<b>121</b>
<b>Annexe 3</b>	<b>: Limites analytiques dans les aliments .....</b>	<b>135</b>
<b>Annexe 4</b>	<b>: Plan de sondage de l'ENNS.....</b>	<b>136</b>
<b>Annexe 5</b>	<b>: Table de correspondance entre les aliments ENNS et INCA2 .....</b>	<b>137</b>
<b>Annexe 6</b>	<b>: Les paramètres de l'estimation de l'exposition .....</b>	<b>171</b>
<b>Annexe 7</b>	<b>: Code du modèle PBPK calibré .....</b>	<b>174</b>

<b>Annexe 8 : Consommations moyennes des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe .....</b>	<b>183</b>
<b>Annexe 9 : Consommation moyenne des 43 groupes d'aliments en Ile de France.....</b>	<b>191</b>
<b>Annexe 10 : Analyse de sensibilité de l'exposition .....</b>	<b>193</b>
<b>Annexe 11 : Impact de la forme des distributions de contamination sur l'exposition environnementale .....</b>	<b>195</b>

## Sigles et abréviations

<b>3-PBA</b>	Acide 3-phénoxybenzoïque
<b>AASQA</b>	Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air
<b>ADME</b>	Absorption, distribution, métabolisme et excrétion
<b>ARfD</b>	Acute reference dose
<b>ASE</b>	Accelerated solvent extraction
<b>ATSDR</b>	Agency for toxic substance and disease registry
<b>BET</b>	Budget espace-temps
<b>BfR</b>	Institut fédéral allemand d'évaluation du risque
<b>Br<sub>2</sub>CA</b>	Acide 3-(2,2-dibromovinyl)-2,2-diméthylcyclopropane-1-carboxylique
<b>CIRC (IARC)</b>	Centre international de recherche sur le cancer (International agency for research on cancer)
<b>COSV</b>	Composés organiques semi-volatils
<b>Cr</b>	Créatinine
<b>CS</b>	Choréoathétose et salivation
<b>DCCA</b>	Acide 3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-diméthylcyclopropane-carboxylique
<b>DDT</b>	Dichlorodiphényltrichloroéthane
<b>DGAL</b>	Direction générale de l'alimentation
<b>DGCCRF</b>	Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
<b>DGEC</b>	Direction générale de l'énergie et du climat
<b>DGPR</b>	Direction générale de la prévention des risques
<b>DGS</b>	Direction générale de la santé
<b>DGT</b>	Direction générale du travail
<b>DJA</b>	Dose journalière admissible
<b>EAT</b>	Étude de l'alimentation totale
<b>EFH</b>	Exposure factor handbook
<b>EFSA</b>	European food safety authority
<b>ELFE</b>	Etude longitudinale française depuis l'enfance
<b>ENNS</b>	Étude nationale nutrition santé
<b>ERP</b>	Établissement recevant du public
<b>EXPOLIS</b>	Air pollution exposure in european cities: the EXPOLIS Study
<b>FAO</b>	Food and agricultural organization of the United Nations
<b>FQ</b>	Fréquence de quantification
<b>GC/MS</b>	Gas chromatography mass spectrometry
<b>INCA 2</b>	Étude individuelle nationale sur les consommations alimentaires
<b>IMC</b>	Indice de masse corporelle
<b>INSEE</b>	Institut national de la statistique et des études économiques

<b>InVS</b>	Institut national de veille sanitaire, nouvellement Santé Publique France
<b>JMPR</b>	Joint meeting on pesticide residues (FAO/WHO)
<b>LMR</b>	Limites maximales de résidus
<b>LOAEL</b>	Lowest observed adverse effect level
<b>LOD</b>	Limite de détection
<b>LOQ</b>	Limite de quantification
<b>MET</b>	Metabolic equivalent of task
<b>NHAPS</b>	National human activity pattern survey
<b>NOAEL</b>	No –observable adverse effect level
<b>NSC</b>	Normal sensibility coefficient
<b>OMS (WHO)</b>	Organisation mondiale de la santé (World health organization)
<b>OQAI</b>	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
<b>PBPK</b>	pharmacocinétique basé sur la physiologie
<b>PCS</b>	Profession et catégorie socioprofessionnelle
<b>PLE</b>	Pressurized liquid extraction
<b>PM10</b>	Particules de taille médiane inférieure à 10 µm
<b>PSPC</b>	Plan de surveillance et plan de contrôle
<b>PUF</b>	Polyurethane foam filter
<b>QFF</b>	Quartz fiber filter
<b>SPF</b>	Santé publique france
<b>T</b>	Tremblement
<b>TD</b>	Thermal desorption
<b>UP</b>	Unité primaire
<b>US-EPA</b>	Agence de protection de l'environnement des États-Unis
<b>VTR</b>	Valeur toxicologique de référence
<b>XAD-2</b>	Resine foam

## Liste des tables

Table 1 : Données de concentrations urinaires de pyréthriinoïdes mesurées en France et à l'étranger (1) ...	17
Table 2 : Données de concentrations urinaires de pyréthriinoïdes mesurées en France et à l'étranger (2) ...	18
Table 3 : Données d'exposition aux pyréthriinoïdes en France et aux Etats-Unis.....	19
Table 4 : Identité de la perméthrine.....	25
Table 5 : Propriétés physico-chimiques <sup>a</sup> .....	26
Table 6 : Description des méthodes employées par Air PACA (2012) et Blanchard et al. (2014) pour leurs mesures de contamination par la perméthrine de l'air intérieur, l'air extérieur et les poussières sédimentées.....	33
Table 7 : Description des données de contamination par la perméthrine de l'air intérieur, l'air extérieur et les poussières sédimentées issues d'Air PACA (2012) et de Blanchard et al. (2014).....	33
Table 8 : Données de contamination en perméthrine provenant des plans de surveillance et de contrôle des aliments.....	35
Table 9 : Effectif de l'échantillon selon le type de recueil alimentaire .....	36
Table 10 : Distribution des expositions internes de DCCA (n=219) en µg/g créatinine .....	37
Table 11 : Bilan des variables utilisées pour le calcul des expositions (1).....	44
Table 12 : Bilan des variables utilisées pour le calcul des expositions (2).....	46
Table 13 : Paramètres physiologiques moyens utilisés dans le modèle PBPK de la perméthrine chez l'Homme (Brown <i>et al.</i> 1997) .....	55
Table 14 : Paramètres du modèle PBPK propres à la perméthrine .....	56
Table 15 : Description des caractéristiques anthropométriques disponibles des 6 volontaires de l'étude .....	59
Table 16 : Proportion de la population par classes d'âge.....	61
Table 17 : Caractéristiques démographiques de la population adultes ENNS (Fréry 2013) (1).....	62
Table 18 : Caractéristiques démographiques de la population adultes ENNS (Fréry 2013) (2) .....	63
Table 19 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon le sexe (1).....	65
Table 20 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon le sexe (2).....	66
Table 21 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon le sexe (3).....	67
Table 22 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon les gradients Nord-Sud et Est-Ouest (1) .....	70
Table 23 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon les gradients Nord-Sud et Est-Ouest (2) .....	71
Table 24 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon les gradients Nord-Sud et Est-Ouest (3) .....	72
Table 25 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon la période de recrutement des individus dans l'étude, ajustée sur l'âge le sexe (1) .....	73
Table 26 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon la période de recrutement des individus dans l'étude, ajustée sur l'âge le sexe (2) .....	74
Table 27 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon la période de recrutement des individus dans l'étude, ajustée sur l'âge le sexe (3) .....	75
Table 28 : Centiles des expositions alimentaires à la perméthrine .....	77
Table 29 : Description de l'exposition alimentaire moyenne dans la population générale.....	79
Table 30 : Denrées les plus contributrices selon le scénario « bas » .....	80
Table 31 : Denrées les plus contributrices selon les scénarios « haut » et « intermédiaire » .....	81
Table 32 : Exposition alimentaire selon les denrées contributrices et les classes d'âge .....	82

Table 33 : Exposition moyenne par classes d'âge due aux denrées les plus contributrices selon les scénarios « intermédiaire » et « haut » .....	83
Table 34 : Distribution des expositions environnementales à la perméthrine (ng/kg pc/j) de la population adulte ENNS .....	85
Table 35: Comparaison des niveaux d'exposition environnementale (ng/kg pc/j) selon les caractéristiques socio-démographiques et physiologiques de la population ENNS (1).....	87
Table 36: Comparaison des niveaux d'exposition environnementale (ng/kg pc/j) selon les caractéristiques socio-démographiques et physiologiques de la population ENNS (2).....	88
Table 37 : Imprégnation des individus en fonction de la saisonnalité .....	89
Table 38: Distribution des concentrations urinaires en <i>cis</i> - et <i>trans</i> -DCCA simulées avant calibrage (scénarios) et mesurées (ENNS) (n=219). .....	91
Table 39: Paramètres du modèle calibré.....	93
Table 40: Distribution des concentrations urinaires en <i>cis</i> - et <i>trans</i> -DCCA simulées après calibrage (scénarios) et mesurées (ENNS) chez les hommes.....	96
Table 41: Distribution des concentrations urinaires en <i>cis</i> - et <i>trans</i> -DCCA simulées après calibrage (scénarios) et mesurées (ENNS) chez les femmes.....	97
Table 42 : Part de l'imprégnation représentée par les différentes sources et voies d'exposition selon les différents scénarios.....	98
Table 43 : Sources d'incertitudes identifiées lors de l'évaluation de l'exposition de la population aux pyréthrinoïdes (1).....	98
Table 44 : Sources d'incertitudes identifiées lors de l'évaluation de l'exposition de la population aux pyréthrinoïdes (2).....	99
Table 45 : Sources d'incertitudes identifiées lors de l'évaluation de l'exposition de la population aux pyréthrinoïdes (3).....	100
Table 46 : Liste des mots- clés utilisés pour la revue bibliographique menée en mai 2014 dans le moteur de recherche Scopus (1).....	122
Table 47 : Liste des mots- clés utilisés pour la revue bibliographique menée en mai 2014 dans le moteur de recherche Scopus (2).....	123
Table 48 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (1).....	124
Table 49 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (2).....	125
Table 50 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (3).....	126
Table 51 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (4).....	126
Table 52 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (5).....	128
Table 53 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (6).....	129
Table 54 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (7).....	130
Table 55 : Identification des études qui remplissent ces critères (marquées d'une croix). Les données sélectionnées sont finalement issues des études d'Air PACA (2012) (référence n°3) et de Blanchard et al. (2014) (référence n°14) (cf. texte pour les détails). .....	134
Table 56 : Description des variables de stratification .....	136
Table 57 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (1) .....	137
Table 58 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (2) .....	138
Table 59 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (3) .....	139
Table 60 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (4) .....	140
Table 61 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (5) .....	141
Table 62 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (6) .....	142
Table 63 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (7) .....	143
Table 64 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (8) .....	144
Table 65 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (9) .....	145
Table 66 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (10) .....	146

Table 67 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (11) .....	147
Table 68 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (12) .....	148
Table 69 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (13) .....	149
Table 70 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (14) .....	150
Table 71 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (15) .....	151
Table 72 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (16) .....	152
Table 73 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (17) .....	153
Table 74 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (18) .....	154
Table 75 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (19) .....	155
Table 76 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (20) .....	156
Table 77 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (21) .....	157
Table 78 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (22) .....	158
Table 79 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (23) .....	159
Table 80 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (24) .....	160
Table 81 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (25) .....	161
Table 82 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (26) .....	162
Table 83 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (27) .....	163
Table 84 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (28) .....	164
Table 85 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (29) .....	165
Table 86 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (30) .....	166
Table 87 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (31) .....	167
Table 88 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (32) .....	168
Table 89 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (33) .....	169
Table 90 : Proportion de temps passé à l'intérieur ( $p_j$ ) pour chacune des activités $j$ décrites par l'enquête « Emploi du Temps » de l'Insee (2009-2010).....	171
Table 91 : Répartition de la population selon l'âge, le sexe et le niveau d'éducation .....	172
Table 92 : Description des termes $c$ , $d$ et $e$ de l'équation de Henry (2005) permettant le calcul du taux métabolique de base des individus.....	172
Table 93 : Description des termes $a_0$ , $a_1$ et $a_2$ de l'équation de Gehan & George (1970) .....	172
Table 94: Distributions des valeurs de volume respiratoire, de surface corporelle et de temps passé à l'intérieur et à l'extérieur pour la population ENNS .....	173
Table 95 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (1) .....	183
Table 96 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (2) .....	184
Table 97 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (3) .....	185
Table 98 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (4) .....	186
Table 99 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (5) .....	187
Table 100 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (6) .....	188
Table 101 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (7) .....	189
Table 102 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (8) .....	190
Table 103 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments en Ile de France (1).....	191
Table 104 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments en Ile de France (2).....	192
Table 105 : Description des variations apportées aux valeurs des paramètres d'entrée pour l'analyse de sensibilité (1).....	193
Table 106 : Description des variations apportées aux valeurs des paramètres d'entrée pour l'analyse de sensibilité (2).....	194

Table 107 : Description des distributions d'exposition avant (distributions initiales en grisé) et après les variations appliquées sur les paramètres (1).....	195
Table 108 : Description des distributions d'exposition avant (distributions initiales en grisé) et après les variations appliquées sur les paramètres (2).....	196

## Liste des figures

Figure 1 : Structures chimiques développées (a) d'un pyréthrianoïde de type I et (b) d'un pyréthrianoïde de type II.....	21
Figure 2 : Effet des pyréthrianoïdes sur l'excitabilité neuronale (d'après Schafer et al, 2005).....	22
Figure 3 : La perméthrine.....	25
Figure 4 : Représentation simplifiée de la métabolisation de phase I de la <i>cis</i> -perméthrine et <i>trans</i> -perméthrine en ses métabolites les plus fréquemment dosés en biosurveillance : <i>cis</i> - et <i>trans</i> -DCCA et 3-PBA (d'après Willemin et al., 2015).....	27
Figure 5 : Structures chimiques développées des 4 stéréo-isomères de la perméthrine.....	28
Figure 6 : Schéma global de la méthode.....	31
Figure 7 : Présentation des données censurées relatives aux denrées.....	38
Figure 8 : Récapitulatif de l'utilisation des données.....	45
Figure 9 : Schéma d'un compartiment à débit limité (a) et d'un compartiment à diffusion limitée (b).....	49
Figure 10 : Modèle PBPK de la perméthrine, exposition agrégée chez l'Homme.....	54
Figure 11 : Contribution des groupes d'aliments à la ration journalière en fonction de l'âge (hommes et femmes).....	68
Figure 12 : Distribution de l'exposition alimentaire de la population selon le scénario « bas ».....	76
Figure 13 : Distribution de l'exposition alimentaire de la population selon le scénario « intermédiaire ».....	77
Figure 14 : Distribution de l'exposition alimentaire de la population selon le scénario « haut ».....	77
Figure 15 : Exposition alimentaire selon les 3 scénarios.....	78
Figure 16 : Distributions des concentrations en perméthrine dans (a) la phase particulaire de l'air intérieur, (b) les poussières sédimentées et (c) l'air extérieur (n =396).....	84
Figure 17 : Distributions des expositions par contact cutané avec les poussières selon l'hypothèse appliquée à la distribution des concentrations en perméthrine dans les poussières.....	86
Figure 18 : Analyses de sensibilité (Coefficients de corrélation des rangs de Spearman).....	90
Figure 19 : Excrétion urinaire en <i>cis</i> -DCCA (à gauche) et <i>trans</i> -DCCA (à droite) simulée selon les 3 scénarios d'exposition et mesurée lors de l'ENNS (valeurs extrêmes exclues).....	91
Figure 20 : Coefficients de sensibilité des paramètres du modèle à l'équilibre pour l'excrétion urinaire de DCCA.....	92
Figure 21 : Simulation de l'excrétion urinaire de <i>cis</i> -DCCA et <i>trans</i> -DCCA cumulée (IC 95%) chez les hommes et chez les femmes, respectivement avant (A, C) et après calibrage (B, D).....	94
Figure 22 : Excrétion urinaire de <i>cis</i> -DCCA et <i>trans</i> -DCCA simulée après calibrage et observées lors de l'ENNS (valeurs extrêmes exclues)......	95

## Liste des équations

Équation 1 : Calcul de la consommation journalière moyenne.....	39
Équation 2 : Calcul de l'exposition alimentaire.....	40

Équation 3 : Calcul du taux métabolique de base .....	41
Équation 4 : Calcul du volume respiratoire .....	42
Équation 5 : Calcul de la surface corporelle .....	42
Équation 6 : Calcul du temps passé en milieu intérieur .....	43
Équation 7 : Calcul du temps passé en milieu extérieur .....	43
Équation 8 : Calcul de l'exposition par inhalation .....	46
Équation 9 : Exposition par ingestion de poussières .....	47
Équation 10 : Exposition cutanée aux poussières .....	47
Équation 11 : Exposition cutanée via l'air .....	47
Équation 12 : Calcul du débit sanguin dans un compartiment à diffusion limitée .....	49
Équation 13 : Estimation du débit sanguin dans un compartiment à débit limité .....	50
Équation 14 : Estimation de la concentration sanguine en perméthrine (sortie des poumons) .....	51
Équation 15 : Quantité de perméthrine absorbée par la peau .....	51
Équation 16 : Absorption de la perméthrine par voie orale .....	52
Équation 17 : Métabolisme hépatique de la perméthrine .....	53
Équation 18 : Taux d'excrétion urinaire du DCCA .....	53

# 1 Contexte, objet et modalités de réalisation des travaux

## 1.1 Contexte

Dans le cadre de l'Enquête Nationale Nutrition Santé (ENNS), l'Institut de Veille Sanitaire (InVS, devenu Santé publique France en 2016) a mesuré les concentrations urinaires des métabolites de pyréthrinoïdes au sein de la population générale française. Cette étude concluait que les concentrations urinaires de tous les métabolites mesurés des pyréthrinoïdes<sup>1</sup> étaient plus élevées que celles observées dans les populations nord-américaine, canadienne et allemande (Fréry *et al.* 2013). Cette constatation a également été faite plus récemment dans l'étude ELFE (Etude longitudinale française depuis l'enfance) qui concluait que les niveaux des métabolites de pyréthrinoïdes mesurés chez les femmes enceintes étaient plus élevés que ceux mesurés dans la population nord-américaine (Dereumeaux *et al.* 2016).

Différentes pistes ont été envisagées pour expliquer cette imprégnation plus élevée, mise en évidence dans l'ENNS, comme la contribution de l'exposition environnementale ou la consommation d'aliments contributeurs à l'exposition. La comparaison des niveaux d'exposition alimentaire entre la France et les États-Unis, au moyen de l'Étude d'Alimentation Totale 2 (ANSES 2011) et d'une étude de repas dupliqué américaine (Riederer *et al.* 2010), montre des résultats légèrement supérieurs aux États-Unis pour certains pyréthrinoïdes (la deltaméthrine, la cyperméthrine, la perméthrine et la cyfluthrine). Comment explique-t-on alors ce résultat inverse ? Quelles sont les voies et sources d'exposition aux pyréthrinoïdes et est-il possible d'estimer la part de chacune à l'imprégnation de la population française ? Tels sont les enjeux, d'ordre méthodologique, de la présente étude.

Il convient de rappeler que les pyréthrinoïdes sont des insecticides qui, compte tenu de leurs usages (domestiques et agricoles) et de leurs applications (aérosols, pulvérisation, fumigation), entraînent une exposition par l'inhalation d'air intérieur (par exemple lors d'un usage d'aérosols ou de fumigènes), par l'inhalation d'air ambiant après l'application de produits dans les jardins ou dans une zone agricole, par l'ingestion de poussières, par le contact cutané à l'air ainsi qu'aux poussières, mais également par la consommation de produits alimentaires contenant des résidus de ces produits. L'exposition à ces substances est donc multi-sources et multivoies. L'estimation de cette exposition et l'évaluation des sources et voies d'exposition constituent le travail d'investigation que propose le présent rapport.

## 1.2 Objet de l'auto-saisine

Cette auto-saisine (*cf.* Annexe 1) s'inscrit dans la thématique « Méthodologie de l'évaluation de l'exposition agrégée et combinée de l'Homme aux substances chimiques en vue d'une évaluation des risques sanitaires » du programme de travail 2015 de l'Anses (fiche 561).

Elle poursuit les objectifs suivants :

---

<sup>1</sup> Notamment au 3-PBA (Acide 3-phénoxybenzoïque), au DCCA (Acide 3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane-carboxylique), au F-PBA (Acide 4-fluoro-3-phénoxybenzoïque) et au Br2CA (Acide 3-(2,2-dibromovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane-1-carboxylique)

- Développer des méthodologies d'évaluation des expositions externes en population générale, en considérant les différentes sources (alimentaires et environnementales) et voies d'exposition (ingestion, inhalation, contact cutané) ;
- Étudier un lien entre l'exposition externe calculée et l'imprégnation mesurée dans les urines, si les données le permettent ;
- Étudier la part respective des différentes sources et voies d'exposition à l'imprégnation et proposer des recommandations ciblées visant à réduire les expositions externes et à améliorer les connaissances.

Ces travaux porteront sur la famille des pyréthrinoïdes avec une étude de cas sur la perméthrine au vu des données disponibles, provenant d'études réalisées par l'Anses ou par d'autres instituts et de la littérature.

Ce travail ne constitue pas une expertise en évaluation des risques sanitaires sur la perméthrine dans les aliments ou dans l'environnement mais un travail de développement d'une méthode générique d'évaluation des expositions, à partir de données associées à une situation réelle (cas de la perméthrine). A ce titre, elle n'est pas destinée à servir de base à la formulation de recommandations sur la situation d'exposition objet de l'étude.

### 1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

Ce rapport a été élaboré en interne à l'Anses puis présenté aux membres du CES Évaluation des Risques Chimiques dans les Aliments (ERCA) le 11 mai 2017. Lors de cette séance, trois relecteurs ont été nommés, Nicole Hagen Picard, Jacques Bélegaud ainsi que Bruno Le Bizec (relecteur principal), afin de consolider le présent rapport.

Ce travail a été présenté aux experts du CES « Valeur Sanitaire de Référence » et du CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens », respectivement, le 21 juin et le 13 septembre 2018. Les commentaires émis lors de ces deux séances ont été intégrés à ce rapport.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les coordinateurs et les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont rendues publiques *via* le site internet de l'Anses ([www.anses.fr](http://www.anses.fr)).

## 2 Introduction

Le volet environnemental de l'ENNS porte sur la surveillance biologique de l'exposition de la population aux substances chimiques. Les résultats de cette étude montrent des niveaux de concentrations urinaires des métabolites de pyréthrinoïdes plus élevés que ceux observés dans les populations nord-américaines et allemande (Table 1 et Table 2).

**Table 1 : Données de concentrations urinaires de pyréthrinoïdes mesurées en France et à l'étranger (1)**

Auteur référence Année de l'étude Pays Type de population	Effectif (n)	Métabolite	LOD (µg/l)	>LOD (%)	LOQ (µg/l)	>LOQ (%)	P50 (µg/l)	P95 (µg/l)	Max (µg/l)
(Fréry <i>et al.</i> 2013) 2006/2007 France Population générale adulte	396	3-PBA	0,03		0,1	98,5	0,65	4,36	
		Br2Ca	0,03		0,1	83,1	0,35	2,18	
		<i>cis</i> -DCCA	0,03		0,1	56,1	0,13	1,42	
		<i>trans</i> -DCCA	0,03		0,1	86,1	0,31	2,64	
		F-PBA	0,03		0,1	29,8	<LOQ	0,82	
(Butte, Walker, et Heinzow 1998) 1995/1996 Allemagne Population générale adulte	254	3-PBA			0,2		<LOQ	0,57	15,6
		<i>cis/trans</i> -DCCA			0,2		<LOQ	0,51	11,6
(Hardt, Heudorf, et Angerer 1999) 1997/1998 Allemagne Population adulte	54	Br2Ca			0,1	9	<LOQ	0,1	0,5
		<i>cis</i> -DCCA			0,2	9	<LOQ	0,6	1,6
		<i>trans</i> -DCCA			0,2	89	0,4	0,9	3,8
		F-PBA			0,2	0	<LOQ	<LOQ	<LOQ
(Schettgen <i>et al.</i> 2002) 2002 Allemagne Population adulte	46	3-PBA			0,05	70	0,16	0,97	1,7
		Br2Ca			0,05	13	<LOQ	0,17	0,4
		<i>cis</i> -DCCA			0,05	52	0,06	0,29	1,5
		<i>trans</i> -DCCA			0,05	72	0,11	0,64	3,5
		F-PBA			0,05	4	<LOQ		0,2
(Egerer <i>et al.</i> 2004) 2003/2004 Allemagne Population adulte	211	3-PBA			0,02	67	0,04	0,51	3,52
		Br2Ca			0,02	28	<LOQ	0,14	1,2
		<i>cis</i> -DCCA			0,03	40	<LOQ	0,16	2,35
		<i>trans</i> -DCCA			0,03	47	<LOQ	0,37	3,85
(Barr <i>et al.</i> 2010) 2001-2002	3046	3-PBA	0,1	75,4			0,29	3,35	
	3031	<i>cis</i> -DCCA	0,1	32,4			<LOD	0,9	

Etats-Unis (NHANES) Population générale <sup>a</sup>	3046	<i>trans</i> -DCCA	0,4	26,4			<LOD	2,62	
---	------	--------------------	-----	------	--	--	------	------	--

<sup>a</sup> Population générale américaine : Individus âgés de 6 à plus de 60 ans

Ces mêmes tendances ont également été observées plus récemment dans la cohorte ELFE (Table 2). ELFE a pour but d'identifier les différents facteurs (environnementaux, familiaux, relatifs aux conditions de vie, etc.) qui peuvent avoir une influence sur le développement physique et psychologique de l'enfant. Dans ce cadre, des données d'imprégnation ont été recueillies chez la femme enceinte et chez le nouveau-né à la naissance puis à différents pas de temps.

**Table 2 : Données de concentrations urinaires de pyréthrinoïdes mesurées en France et à l'étranger (2)**

Auteur, référence Année de l'étude Pays Type de population	Effectif (n)	Métabolite	LOD (µg/l)	>LOD (%)	LOQ (µg/l)	>LOQ (%)	P50 (µg/l)	P95 (µg/l)	Max (µg/l)
(Fortin <i>et al.</i> 2008) <sup>b</sup> 2005 Québec, Canada Population générale adulte	120	PBA	0,013	72	0,043		0,19	4,18	20
		Br2Ca	0,006	7	0,02		<LOD	0,14	0,27
		<i>cis</i> -DCCA	0,0072	71	0,024		0,1	1,51	4,3
		<i>trans</i> -DCCA	0,0096	75	0,032		0,24	3,82	25
		F-PBA	0,0053	7	0,018		<LOD	0,03	0,1
(Health Canada 2010) 2007-2009 Canada Population générale <sup>c</sup>	5450	3-PBA	0,01	99,4			0,23	2,96	
	5022	Br2Ca	0,006	49,6			<LOD	0,1	
	5431	<i>cis</i> -DCCA	0,007	98,4			0,07	0,94	
	5457	<i>trans</i> -DCCA	0,01	99,6			0,17	2,53	
	5224	F-PBA	0,008	43,5			<LOD	0,08	
(Dereumeaux <i>et al.</i> 2016) 2011 France Femmes enceintes	1077	3-PBA	0,004		0,014	99,7	0,36	1,89	
	1077	Br2Ca	0,005		0,016	99,6	0,23	1,38	
	1056	<i>cis</i> -DCCA	0,005		0,011	99,8	0,16	0,91	
	1077	<i>trans</i> -DCCA	0,003		0,019	99,3	0,26	2,29	
	1059	F-PBA	0,005		0,015	5,7	<LOQ	0,02	
(Castorina <i>et al.</i> 2010) 1999-2000 Etats-Unis Femmes enceintes	538	3-PBA	0,1	21,4			<LOD	0,9	222,6
		<i>cis</i> -DCCA					<LOD	0,3	162,8
		<i>trans</i> -DCCA					<LOD	0,9	397,5
		F-PBA					<LOD	<LOD	75,2

<sup>b</sup> Données provenant des échantillons collectés à partir de 18h jusqu'à 6h du matin incluant les premières urines du matin.

<sup>c</sup> Population générale canadienne : Individus âgés de 6 à 79 ans

L'Anses dispose d'études sur l'exposition par voie alimentaire à certains pyréthrinoïdes comme l'étude de l'alimentation total 2 (ANSES 2011) ou des résultats des plans de surveillance et des plans de contrôles (ANSES 2014). Néanmoins ces études n'avaient pas permis d'expliquer pourquoi les concentrations urinaires étaient plus élevées dans la population française. La Table 3 présente les données d'expositions estimées dans l'EAT2 et dans deux études américaines. Les pyréthrinoïdes sont très peu détectés dans l'EAT2. Les valeurs d'exposition estimées selon le scénario haut (UB, upper bound) peuvent apparaître plus élevées, mais elles sont dues au remplacement des valeurs non détectées par les limites analytiques. Dans les études américaines,

la fréquence de détection est plus élevée. Dans l'étude de (Riederer *et al.* 2010), les limites analytiques sont très proches de celles de l'EAT2. On peut donc supposer que la contamination des aliments était plus élevée et donc plus facilement détectable. Dans l'étude de (Morgan *et al.* 2016), les limites analytiques sont bien plus faibles. Cette diminution est certainement liée à l'amélioration des techniques analytiques mais l'étendue de contamination reste du même ordre de grandeur que celle provenant de l'EAT2 (excepté pour la deltaméthrine). A notre connaissance, il n'existe pas encore de données publiées concernant l'exposition aux pyréthrinoïdes au Canada et en Allemagne.

**Table 3 : Données d'exposition aux pyréthrinoïdes en France et aux Etats-Unis**

Auteur, référence	Substances	N	LOD (µg/kg)	> LOD (%)	Exposition moyenne en µg/kg pc/j			P95 en µg/kg pc/j		Max en µg/kg pc/j
					LB	MB	UB	LB	UB	
(ANSES 2011) EAT2 France	Perméthrine	132	3-100	0,14	0		0,4	0	0,7	
	Cyperméthrine	132	5-25	0	0		0,246	0	0,5	
	Cyfluthrine	111	5-20	0,19	0		0,3	0	0,43	
	Deltaméthrine	194	3-100	0	0		0,28	0	0,48	
(Riederer <i>et al.</i> 2010) Etats-Unis	Perméthrine	84	21-460	46-40		0,11				
	Cyperméthrine	84	9,1-264,9	63-70		0,17				
	Cyfluthrine	84	13-170	37-81		0,16				
	Deltaméthrine	84	6,9-130,7	20-35		0,11				
(Morgan <i>et al.</i> 2016) Etats-Unis	Perméthrine	780	0,1	19-21						2,12
	Cyperméthrine	781	0,3	7						0,39
	Cyfluthrine	781	1	1						0,27
	Deltaméthrine	778	0,05	17						0,003

Aucun dépassement des LMR (limite maximale des résidus) n'a été mis en évidence pour les pyréthrinoïdes détectés dans l'EAT2. De plus, L'EAT2 et l'étude des plans de surveillance et des plans de contrôles (ANSES 2014) ont conduit à considérer que l'exposition alimentaire n'était pas préoccupante. En effet, l'exposition au 95<sup>ème</sup> centile estimée en hypothèse haute (c'est-à-dire en remplaçant des valeurs non détectées/quantifiées par la limite analytique la plus haute) de la population française à la perméthrine, la cyfluthrine et la cyperméthrine correspond respectivement à 1,4% de la DJA (Dose Journalière Admissible, DJA=0,05 mg/kg pc/j), 14,4% de la DJA (0,003 mg/kg pc/j) et à 1% de la DJA (0,05 mg/kg pc/j).

Différentes pistes ont donc été envisagées pour expliquer cette imprégnation plus élevée mise en évidence dans l'ENNS, notamment la contribution de l'exposition environnementale. Les aliments n'étant pas la seule source d'exposition à ces substances, d'autres sources ont été investiguées comme l'air et les poussières entraînant alors la considération d'autres voies d'exposition comme l'inhalation et l'exposition par contact cutané. Etant dans un contexte multi-sources et multivoies d'exposition, l'estimation de l'exposition agrégée aux pyréthrinoïdes semblait être un travail tout à fait indiqué. Des travaux de ce type ont déjà été initiés à l'Anses, notamment sur le bisphénol A. Le rapport « Evaluation des risques du bisphénol A (BPA) pour la santé humaine » représente un jalon important à l'Anses pour l'évaluation des risques et la réglementation des substances émergentes (ANSES 2013). Dans ce travail, l'ensemble des sources et voies d'expositions au BPA documentées ont été prises en compte. Des doses internes ont également été calculées à l'aide d'un facteur de biodisponibilité. Le choix de la valeur de biodisponibilité tant pour l'exposition orale

que cutanée a un impact important sur l'estimations des doses d'exposition au BPA non conjugué et par conséquent sur les résultats de l'évaluation des risques. Le collectif d'experts, assurant le suivi de cette saisine, a insisté sur la nécessité de mieux caractériser le devenir de cette substance notamment en intégrant une modélisation pharmacocinétique physiologique (PBPK).

Le présent rapport propose, dans l'optique d'améliorer la robustesse de la démarche précédente, une méthode de modélisation de l'exposition agrégée intégrant l'utilisation d'un modèle PBPK et du niveau le plus fin des données individuelles. Au vu des résultats observés dans l'ENNS et de la disponibilité des données dans la littérature, l'illustration de cette méthode s'est faite au travers de l'étude de la famille des pyréthrinoïdes. L'étude de cas présentée dans ce travail porte plus précisément sur l'exposition de la population à la perméthrine.

L'ENNS est composée de différents volets, un volet alimentaire permettant de décrire les apports alimentaires, l'état nutritionnel et l'activité physique de la population et un volet environnemental portant sur la surveillance biologique de l'exposition de la population aux substances chimiques de l'environnement. L'ENNS est donc une ressource pertinente pour le présent travail dans la mesure où l'on dispose de données anthropométriques, de données de surveillance biologique, d'un questionnaire alimentaire fréquentiel ainsi que de 3 rappels de 24h permettant d'évaluer la consommation alimentaire de chacun des individus. C'est la raison pour laquelle l'Anses a répondu, en 2013, à un appel à projets d'analyse des données de l'ENNS en vue d'estimer l'exposition agrégée de la population française aux pyréthrinoïdes. L'ensemble des données disponibles dans cette étude ne suffit pas tout à fait pour évaluer l'exposition agrégée à la perméthrine. Afin d'estimer l'exposition environnementale, des données sur le budget espace-temps des individus sont nécessaires comme par exemple le temps passé dans les différents microenvironnements. L'enquête « Emploi du temps » menée par l'Insee (INSEE 2012) fournit ce type d'information. Le calcul de l'exposition externe résulte du croisement des données « comportementales » avec des données de contaminations des milieux investigués. Plusieurs sources de données (Air PACA 2012), (Blanchard *et al.* 2014) et (PSPC 2007-2013) ont été utilisées comme données de contamination de l'air, des poussières et des aliments. Les expositions alimentaires et environnementales ont ainsi pu être estimées. Le calcul de l'exposition agrégée à la perméthrine constitue alors la donnée d'entrée du modèle PBPK. Le modèle PBPK permet d'estimer les concentrations urinaires et d'apprécier la contribution de chacune des sources et voies à l'imprégnation. L'intégration d'un module PBPK à la démarche méthodologique permet de simuler les imprégnations selon des hypothèses formulées lors du calcul de l'exposition agrégée externe. Ces doses internes estimées peuvent être confrontées aux données d'imprégnation mesurées et ainsi situer l'imprégnation de la population au travers des différents scénarii d'exposition. Cette mise en perspectives des données de concentrations urinaires permet de raffiner les scénarii d'exposition ou de se rapprocher de scénarii plus réalistes en termes d'hypothèses de calculs.

Les données de surveillance biologique des pyréthrinoïdes n'étaient disponibles que pour les adultes. C'est la raison pour laquelle la population des enfants n'a pas pu être prise en compte, bien que les enfants représentent une population potentiellement plus sensible que les adultes. La méthode que nous proposons dans ce travail est générique et pourra s'appliquer à d'autres substances mais aussi d'autres populations plus sensibles, comme les enfants, en adaptant l'estimation de l'exposition à certaines de leurs spécificités ou activités.

## 3 Les pyréthrinoïdes

### 3.1 Généralités

Les pyréthrinoïdes sont des dérivés synthétiques des pyréthrines, substances chimiques naturellement présentes dans certaines espèces de chrysanthèmes. Ils ont été introduits sur le marché au milieu des années 1970 en remplacement des pesticides organophosphorés. Les pyréthrinoïdes constituent aujourd'hui la famille d'insecticides la plus utilisée, tant en usages agricoles que domestiques (Fréry *et al.* 2013). Ils sont utilisés pour le traitement des cultures (céréales, fruits, légumes, vignes...), pour les applications domestiques (désinsectisation à large spectre, protection du bois...) et pour les traitements antiparasitaires à usage humain et vétérinaire. Du fait de leur utilisation routinière, les pyréthrinoïdes figurent parmi les substances chimiques les plus fréquemment retrouvées dans les logements (Bouvier *et al.* 2006).

La famille des pyréthrinoïdes compte près d'un millier de molécules réparties en deux groupes selon que la molécule possède (type II) ou non (type I) un groupe carbonitrile (ou cyano) (Figure 1). Parmi les 15 molécules les plus couramment utilisées, on peut citer la perméthrine, la cyfluthrine, la deltaméthrine, la cyperméthrine et la tétraméthrine. Il existe plusieurs isomères (2 à 8) de chacun des principaux composés présents sur le marché. Les mélanges commerciaux sont généralement composés d'un mélange de ces différents isomères qui présentent des propriétés insecticides et toxicologiques différentes.

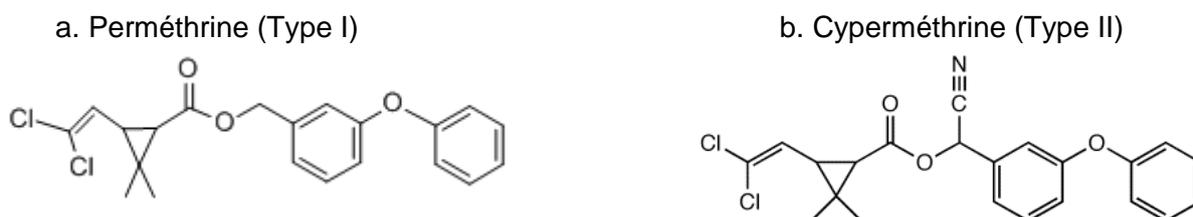


Figure 1 : Structures chimiques développées (a) d'un pyréthrinoïde de type I et (b) d'un pyréthrinoïde de type II

#### 3.1.1 Cadre réglementaire

Les pyréthrinoïdes, et plus largement les pesticides, relèvent de quatre réglementations européennes distinctes en fonction de l'usage auquel ils sont destinés. On distingue :

- Les substances et produits phytopharmaceutiques (règlement (CE) n°1107/2009) utilisés principalement par les professionnels du secteur agricole, par les professionnels en charge de l'entretien des espaces verts et par les jardiniers amateurs ;
- Certaines substances et certains produits biocides (règlement (CE) n°528/2012) utilisés dans les secteurs professionnels ou dans le cadre d'utilisations domestiques ;
- Les antiparasitaires à usage humain (directive n°2004/27/CE) destinés au traitement des parasitoses externes humaines ;
- Les antiparasitaires à usage vétérinaire (directive n°2004/28/CE) destinés au traitement des parasitoses externes des animaux domestiques et de rente.

Les teneurs maximales de contamination des aliments et de l'eau par les résidus de pesticides sont fixées par la réglementation européenne. Le règlement (CE) n°396/2005 définit les limites maximales de résidus (LMR) de pesticides dans les produits d'origine animale ou végétale destinés à la consommation humaine. Cette LMR est, par exemple, fixée pour la perméthrine à

0,05 mg/kg pour les fruits, les légumes, les légumes secs, la plupart des graines et fruits oléagineux, les céréales, les plantes sucrières et les denrées d'origine animale, tandis qu'elle est fixée à 0,1 mg/kg pour le café, le thé, les herbes à infusions, les épices, le houblon et certaines graines et fruits oléagineux (carthame, bourrache, cameline, ricin...) (European Commission 2008). Le Code de la santé publique, en application des directives européennes 98/83/CE et 75/440/CE, fixe les limites de qualité pour les pesticides dans les eaux brutes et dans l'eau destinée à la consommation humaine, respectivement, à 1 µg/L et 0,1 µg/L par substance individualisée et à 5 µg/L et 0,5 µg/L pour le total des pesticides quantifiés.

Il n'existe en revanche aucune réglementation européenne ou nationale régissant les seuils de contamination de l'air par les pesticides ni d'obligation de surveillance des pesticides dans l'air. Devant cette absence de norme, les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) ont dressé des listes régionales de molécules à surveiller. L'Anses a été saisie en 2014 par les ministères en charge de l'environnement (DGEC, DGPR), de la santé (DGS, DGT) et de l'agriculture (DGAL) afin d'émettre des recommandations en vue de la mise en place d'une surveillance nationale des pesticides dans l'air ambiant. Cet avis a été rendu le 19 octobre 2017 et le comité d'experts spécialisés a notamment identifié la cyperméthrine et la bifenthrine, comme hautement prioritaires pour une surveillance dans l'air ambiant en Métropole (ANSES 2017).

### 3.1.2 Mécanisme d'action et toxicologie

Le principal mécanisme d'action des pyréthrinoïdes, chez les insectes comme chez les mammifères, implique la perturbation des canaux sodium voltage dépendants (Figure 2). Les pyréthrinoïdes entraînent une ouverture des canaux sodium à de plus faibles dépolarisations du potentiel de membrane et demeurent ouverts plus longtemps (Shafer, Meyer, et Crofton 2005). Ces canaux régulent la perméabilité transitoire des membranes cellulaires au sodium associée à la production de potentiels d'action dans les nerfs des vertébrés et invertébrés et dans les muscles squelettiques et cardiaques des vertébrés (Soderlund *et al.* 2002). Le délai de fermeture est plus long lors de l'exposition à un pyréthrinoïde de Type II (>> 200 ms) résultant en un bloc de potentiels d'action d'amplitudes différentes. Ce délai est considérablement plus court pour les pyréthrinoïdes de Type I (20 ms) et provoque le déclenchement répétitif de potentiels d'action identiques (US-EPA 2011b).

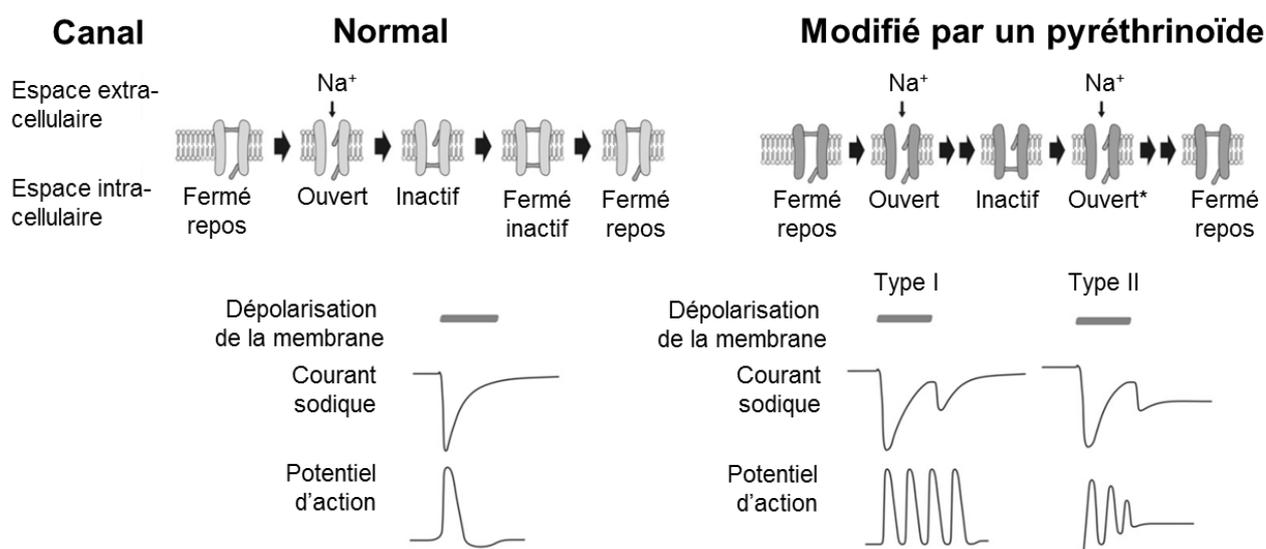


Figure 2 : Effet des pyréthrinoïdes sur l'excitabilité neuronale (d'après Schafer et al, 2005)

Les pyréthrinoïdes de Type I induisent potentiellement chez l'animal de laboratoire de l'agressivité, une hyperexcitabilité, de légers tremblements, une prostration accompagnée de tremblements du corps, une augmentation de la température corporelle, le coma puis la mort. Cette réponse est qualifiée de syndrome T du fait des tremblements induits. Les pyréthrinoïdes de Type II entraînent une salivation, une hyperexcitabilité, des mouvements anormaux des membres inférieurs, des tremblements du corps, une choréoathétose (impression de mouvement de reptation), un coma puis la mort de l'animal de laboratoire. On parle ici de syndrome CS pour choréoathétose et salivation. Les syndromes T et CS sont considérés comme les réponses à une exposition aiguë par voie orale aux pyréthrinoïdes et sont dose dépendants. Une exposition cutanée résultera en une paresthésie (fourmillements), des sensations de picotement ou de brûlure (US-EPA 2007).

Les pyréthrinoïdes présentent une toxicité aiguë avérée pour l'Homme, généralement après un contact direct avec une préparation concentrée (ATSDR 2003). Les effets d'une exposition cutanée résultent d'un abaissement du seuil de stimulation des récepteurs sensitifs, entraînant leur décharge répétitive (e.g. fourmillements, engourdissement, irritations...). Ils sont généralement localisés aux zones d'exposition, sans gravité et réversibles. Les effets d'une exposition aiguë par inhalation sont également réversibles et sans gravité à des concentrations de l'ordre de quelques  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dans l'air (e.g. étourdissements, nausées, maux de tête...). Des effets neurologiques sévères (e.g. difficultés respiratoires, troubles du comportement...) ont néanmoins été observés chez les rats à des concentrations plus élevées, de l'ordre du  $\text{mg}/\text{m}^3$  (ATSDR 2003).

Bien que leur toxicité chronique soit moins connue, des effets cancérogènes et de perturbations endocriniennes sont suspectées pour certaines molécules. Des études menées sur les rats ou les souris montrent un effet de l'exposition orale aux pyréthrinoïdes sur les concentrations circulantes d'hormones sexuelles, induisant une altération de la qualité du sperme et de la fertilité (ATSDR 2003). D'autres études menées sur la population générale montrent une association entre l'excrétion urinaire de métabolites de pyréthrinoïdes et une altération de la qualité du sperme et/ou des concentrations circulantes en hormones sexuelles et thyroïdiennes chez les individus de sexe masculin (Ji *et al.* 2011, Meeker, Barr, et Hauser 2009). De plus, plusieurs publications rapportent des effets génotoxiques sur les spermatozoïdes associés à une exposition professionnelle aux pyréthrinoïdes, en particulier au fenvalérate (Bian *et al.* 2004, Xia *et al.* 2004). La perméthrine et la resméthrine ont été classées comme probablement cancérogènes pour l'Homme par l'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis (US-EPA) en 2006. Les données sont considérées comme insuffisantes pour le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) qui a classé la deltaméthrine, le fenvalérate et la perméthrine dans le groupe 3 (i.e. inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'Homme).

À notre connaissance, il n'existe pas de valeur toxicologique de référence (VTR) par voie inhalatoire et par voie cutanée pour toutes les substances de la famille des pyréthrinoïdes. De nombreuses études toxicologiques ont été menées sur les animaux pour évaluer les doses d'exposition aux pyréthrinoïdes sans effet sur la santé (NOAEL) par voie orale, mais aucune étude ne semble exister pour les voies inhalatoire et cutanée (ATSDR 2003). Une VTR par voie orale et pour une durée d'exposition chronique est disponible pour la perméthrine (JMPR 1987). Cette dose journalière admissible (DJA) est fixée à 0,05 mg/kg pc/j.

### 3.1.3 Les pyréthrinoïdes dans l'environnement

Les pyréthrinoïdes sont principalement émis dans l'air par pulvérisation ou fumigation. Ces composés organiques semi-volatils (COSV) sédimentent ensuite rapidement sur les surfaces (sol, eau, poussières...), en raison de leur faible volatilité (pression de vapeur de l'ordre de  $10^{-6}$  Pa) et coefficient de partage octanol-air ( $\text{Log}(K_{oa})$ ) de 10,3 pour la perméthrine (US-EPA 2010). Les pyréthrinoïdes sont rapidement dégradés sous leur forme gazeuse dans l'air par photolyse et oxydation. Ils sont plus stables après avoir été adsorbés sur des particules en suspension ou des poussières sédimentées. la durée de vie des pyréthrinoïdes est très courte dans la phase gazeuse de l'air (de quelques minutes à quelques jours (Berger-Preiß *et al.* 2002, Leng *et al.* 2005), mais

bien plus longue dans la phase particulaire de l'air et dans les poussières sédimentées (de plusieurs mois à 1 an (Berger-Preiß *et al.* 1997, Leng *et al.* 2005)).

### 3.1.4 Exposition aux pyréthriinoïdes

L'exposition de la population générale aux pyréthriinoïdes peut être aiguë, par contact direct et ponctuel par le biais de produits concentrés au moment de leur application dans le cadre domestique. L'exposition peut également être chronique par contact à long terme avec des résidus présents dans l'alimentation ou l'environnement. Les voies d'exposition aux pyréthriinoïdes sont, chez l'Homme les voies orale, inhalatoire et cutanée.

L'ingestion d'aliments contaminés, notamment les fruits et les légumes, est considérée comme une des plus importantes voies d'exposition aux pyréthriinoïdes (ANSES 2011). L'eau est considérée comme une source d'exposition négligeable pour l'Homme, en raison de la faible hydrosolubilité des pyréthriinoïdes (ANSES 2010, Fréry *et al.* 2013)<sup>2</sup>. En plus des résidus présents dans les aliments et l'eau, l'ingestion de poussières sédimentées serait également possible chez les adultes (Weschler et Nazaroff 2008, 2010).

En l'absence d'obligation réglementaire de surveillance des pesticides dans l'air, l'exposition de la population générale aux pyréthriinoïdes par voie inhalatoire est peu documentée. Cette exposition serait toutefois possible aussi bien par inhalation d'air intérieur après un usage d'aérosols ou de fumigènes contenant des pyréthriinoïdes que par inhalation d'air extérieur après l'application de produits dans les jardins ou dans une zone agricole. L'exposition peut notamment se produire par le biais de la phase particulaire de l'air, dans laquelle des pyréthriinoïdes peuvent être retrouvés plusieurs mois après une application d'insecticide (Berger-Preiß *et al.* 1997, Leng *et al.* 2005).

L'exposition par voie cutanée serait également possible par contact dermique avec des particules en suspension et des poussières sédimentées, ou par transfert vers l'organisme des molécules sous forme gazeuse dans l'air par la peau (Weschler et Nazaroff 2008, 2010). Les poussières sédimentées constituent une autre source possible d'exposition aux pyréthriinoïdes au cours des mois qui suivent une application d'insecticides (Berger-Preiß *et al.* 1997, Leng *et al.* 2005).

Les expositions et les risques sanitaires liés à l'ingestion d'aliments contaminés par des pyréthriinoïdes ne sont caractérisés que pour certaines substances (ANSES 2012, 2014). L'Anses recommande, sur la base d'un calcul théorique, la surveillance dans les denrées alimentaires de la cyfluthrine, la cyperméthrine, la deltaméthrine et la  $\lambda$ -cyhalothrine pour lesquelles un risque chronique ne peut pas être écarté. Les risques sanitaires liés aux sources non alimentaires sont en revanche peu connus. En effet, les niveaux d'exposition de la population générale aux pyréthriinoïdes par le biais de l'air et des poussières demeurent pour l'instant peu documentés. De plus, il n'existe pas toujours de VTR pour les voies inhalatoire et cutanée permettant d'évaluer le risque que représenteraient ces expositions pour la santé.

Les sous-produits de dégradation des pyréthriinoïdes dans l'environnement peuvent être spécifiques d'une molécule mère (e.g. le Br<sub>2</sub>CA est un sous-produit spécifique de la deltaméthrine) ou communs à la plupart des substances mères (e.g. 3-PBA<sup>3</sup>) (Starr *et al.* 2008). Les mêmes sous-produits de dégradation sont donc retrouvés dans les urines après absorption et métabolisation des molécules mères par l'organisme (Meeker, Barr, et Hauser 2009)

---

<sup>2</sup> Par exemple : Log P<sub>perméthrine</sub>=6,5 ; Log P<sub>cyperméthrine</sub>=6,6 ; Log P<sub>cyfluthrine</sub>=5,95

<sup>3</sup> Le 3-PBA est un métabolite de la lambda-cyhalothrine, la cyperméthrine, la deltaméthrine, l'esfenvalérate, la fenprothrin, du flucyinate, du fluvinate, la perméthrine, la d-phénothrine, et la tralométhrine

## 3.2 La perméthrine

### 3.2.1 Identification de la substance

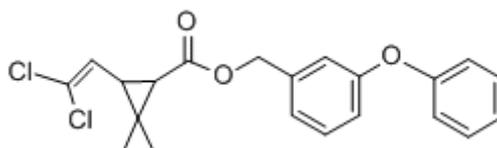


Figure 3 : La perméthrine

La perméthrine contient une fonction dichloro ester analogue à l'acide chrysanthémique (Figure 3). Elle est composée d'un mélange de 2 stéréo-isomères, normalement présents en rapport *cis*- et *trans*- 40:60 mais dans certains produits elle peut être présente en rapport 25:75 (MacBean et British Crop Protection Council 2012).

Table 4 : Identité de la perméthrine

Numéro CAS	52645-53-1
Numéro CE	258-067-9
Nom IUPAC	3-phenoxybenzyl (1RS,3RS ;1RS,3SR)-3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylate
Synonymes <sup>4</sup>	permethrin (ISO) m-phenoxybenzyl 3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylate m-phenoxybenzyl 3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylate
Famille chimique	Pyréthroïdes
Formule brute	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

### 3.2.2 Propriétés physico-chimiques

La perméthrine est quasiment insoluble dans l'eau, par contre elle est soluble dans des solvants organiques comme l'acétone, l'hexane et le xylène. Ses constantes physico-chimiques sont présentées dans la Table 5.

### 3.2.3 Aspects réglementaires

La perméthrine est autorisée dans les produits biocides de protection du bois et dans les insecticides, acaricides et produits utilisés pour lutter contre les autres arthropodes par d'autres moyens qu'en les repoussant ou les attirant (règlement (CE) n°1090/2014). La perméthrine entre dans la composition de 20 % des antiparasitaires à usage vétérinaire. Elle est également autorisée en médecine humaine comme substance active antiparasitaire et est employée dans le traitement des pédiculoses du cuir chevelu et de la gale sarcoptique humaine (ANSES 2010, HAS 2015).

En Europe, la perméthrine est interdite en milieu agricole depuis 2000 (Décision n° 2000/817/CE). Lors de l'évaluation de cette substance par l'Irlande en tant qu'État membre, les informations fournies par les auteurs de notification (industriels) n'étaient pas suffisantes pour démontrer que,

<sup>4</sup> <https://echa.europa.eu/fr/substance-information/-/substanceinfo/100.052.771>

dans les conditions d'utilisations envisagées, les produits phytopharmaceutiques contenant la perméthrine, satisfaisaient aux exigences fixées par la directive n°91/414/CE, abrogée par le règlement (CE) n°1107/2009, c'est-à-dire :

- Les résidus consécutifs à une application conforme aux bonnes pratiques phytosanitaires n'ont pas d'effets nocifs sur la santé humaine ou animale ou sur les eaux souterraines ou d'influence inacceptable sur l'environnement et, dans la mesure où ils sont significatifs du point de vue toxicologique ou environnemental, peuvent être mesurés par des méthodes d'usage courant (article 5, paragraphe 1, points (a) de la directive n°91/414/CE) ;
- L'utilisation des produits phytopharmaceutiques consécutive à une application conforme aux bonnes pratiques phytosanitaires n'a pas d'effet nocif sur la santé humaine ou animale ou d'influence inacceptable sur l'environnement (article 5, paragraphe 1, points (b) de la directive n°91/414/CE) ;
- L'existence d'un niveau acceptable d'exposition de l'utilisateur, si nécessaire (article 5, paragraphe 2, points (b) de la directive n°91/414/CE).

Dans le cadre domestique, la perméthrine est l'un des pyréthrinoïdes les plus utilisés en France, en remplacement de pesticides organochlorés comme le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) et le lindane (Fréry *et al.* 2013). Cette substance est détectée dans trois milieux (air extérieur, air intérieur et poussières sédimentées). La perméthrine a donc été choisie pour illustrer par une étude de cas la méthode d'estimation de l'exposition agrégée.

**Table 5 : Propriétés physico-chimiques<sup>a</sup>**

Constantes physico-chimiques	Valeurs
Poids moléculaire (g/mol)	391,3
Point de fusion (°C)	34-39°C 63-65°C pour l'isomère <i>cis</i> - 44-47°C pour l'isomère <i>trans</i> -
Point d'ébullition (°C)	200°C à 0,1 mmHg 220°C à 0,05 mmHg >290°C à 760 mmHg
Densité	1,29 à 20°C 1,214 à 25°C
Pression de vapeur	1,3 µPa à 20°C 2,5 µPa à 20°C pour l'isomère <i>cis</i> - 1,5 µPa à 20°C pour l'isomère <i>trans</i> -
Solubilité	Dans l'eau 6*10 <sup>-3</sup> mg/l (pH7, 20°C) 0,2 mg/l à 30°C
Log Kow	6,1 (20°C)

*a (Meister et al. 1983), (MacBean et British Crop Protection Council 2012), (FAO/WHO 1980, Wells, Grayson, et Langner 1986)*

### 3.2.4 Devenir dans l'environnement

Dans l'eau et à la surface du sol, la perméthrine est photo-dégradée par la lumière. En général, les processus de dégradation qui se produisent dans l'environnement conduisent à des produits moins toxiques (Elliott *et al.* 1973, Holmstead *et al.* 1978).

La perméthrine disparaît rapidement de l'environnement au bout de 6 à 24 h dans les étangs et les cours d'eau, de 7 jours dans les sédiments et de 58 jours sur le feuillage et le sol de forêt. À partir

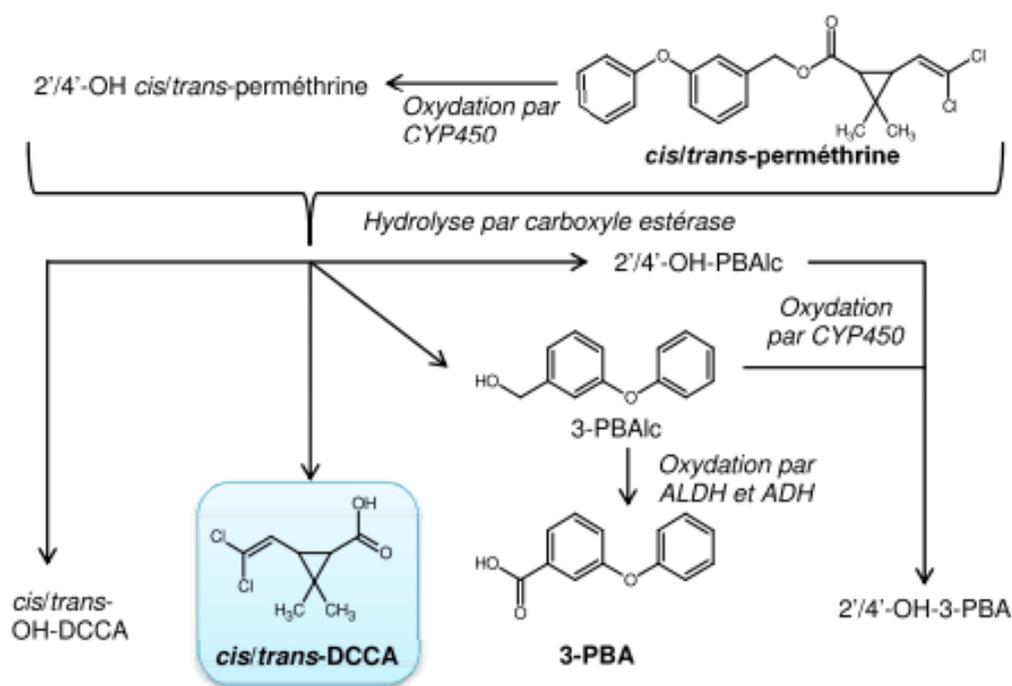
de feuilles de coton dans un champ, 30% de la concentration est perdu en 1 semaine. Dans des conditions aérobies dans le sol, la perméthrine se dégrade en 28 jours (Agnihotri, Jain, et Gajbhiye 1986, Kingsbury et Kreuzweiser 1980).

Il y a très peu de mouvement de la perméthrine dans l'environnement et il est peu probable qu'elle atteigne des niveaux significatifs dans l'environnement.

De plus, la diminution des niveaux de résidus dans diverses cultures est assez lente, leur demi-vie est d'environ 1 à 3 semaines selon la culture. Cependant, lorsque la perméthrine est utilisée comme il est recommandé, il n'y a pas d'augmentation des résidus après une application répétée (FAO/WHO 1980).

### 3.2.5 Métabolisme de la perméthrine et cinétique

Le métabolisme de la perméthrine passe par l'hydrolyse et l'oxydation de celle-ci (action de la carboxyle estérase et des cytochromes P450) et a lieu principalement dans le foie chez l'Homme (Figure 4). Ses métabolites sont le 3-PBA, l'acide *cis*-3-(2,2 dichlorovinyl)-2,2-diméthylcyclopropane-carboxylique (*cis*-DCCA) et *trans*-3-(2,2 dichlorovinyl)-2,2-diméthylcyclopropane-carboxylique (*trans*-DCCA) (Crow *et al.* 2007, Willemin *et al.* 2015). Les *cis*- et *trans*-DCCA sont des métabolites spécifiques de la perméthrine, la cyperméthrine (3-(2,2-dichloroéthényl)-2,2-diméthylcyclopropane-carboxylate de cyano(3-phénoxyphényl)méthyle) et la cyfluthrine (3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-diméthylcyclopropanecarboxylate de cyano (4-fluoro-3-phénoxy-phényl)méthyle) tandis que le 3-PBA est commun à un spectre large de pyréthriinoïdes (Fréry *et al.* 2013). L'étude de l'exposition des populations à la perméthrine doit s'appuyer sur les biomarqueurs d'exposition spécifiques à cette molécule. Ainsi, les biomarqueurs d'intérêt sont le *cis*- et le *trans*-DCCA (métabolites communs à seulement trois substances).



**Figure 4 : Représentation simplifiée de la métabolisation de phase I de la *cis*-perméthrine et *trans*-perméthrine en ses métabolites les plus fréquemment dosés en biosurveillance : *cis*- et *trans*-DCCA et 3-PBA (d'après Willemin *et al.*, 2015)**

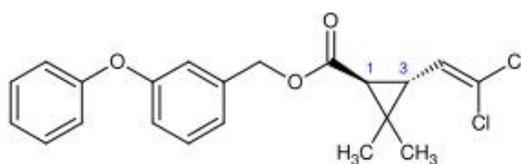
La perméthrine administrée est rapidement métabolisée et presque entièrement excrétée sous forme de métabolites dans l'urine et les fèces au bout quelques jours (Ratelle, Côté, et Bouchard 2015). L'isomère *trans*- étant plus sensible à l'hydrolyse par les estérases que l'isomère *cis*- est éliminé plus rapidement que ce dernier. La perméthrine ne s'accumule donc pas dans le corps (Soderlund *et al.* 2002).

### 3.2.6 Toxicité de la perméthrine

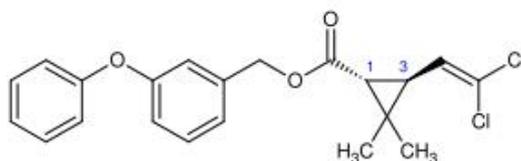
Lors de réunions conjointes FAO/OMS sur les résidus de pesticides (JMPR), les experts scientifiques, en s'appuyant sur les résultats de tests évaluant les dommages à l'ADN, la mutagénicité et la clastogénicité *in vitro*, ont conclu que la perméthrine est non mutagène mais clastogène *in vitro*. Aucun test de clastogénicité *in vivo* n'a été pris en compte lors de cette évaluation (JMPR 1999).

La perméthrine est plus souvent étudiée sous ses formes *cis* et *trans* car elle est commercialisée sous forme d'un mélange de quatre stéréo-isomères (Figure 5). L'évaluation de la toxicité aiguë de la perméthrine administrée par voie orale a démontré que la perméthrine en rapport *cis*- et *trans*-80-100%/20-0(%) est, sur la base des doses létales 50 (DL50), approximativement 7 à 24 fois plus toxique que de la perméthrine présentant un ratio 10-25%/90-75(%) (JMPR 1999). Bien que la toxicité orale aiguë de la perméthrine (25:75) soit inférieure à celle de la perméthrine (40:60), lors de l'administration de doses répétées par voie orale chez le rat et la souris (10 jours consécutifs), la toxicité subchronique de la perméthrine (25:75) est similaire à celle de la perméthrine (40:60). La DJA définie pour le mélange 40:60 est alors applicable au mélange 25:75 (JMPR 1987)

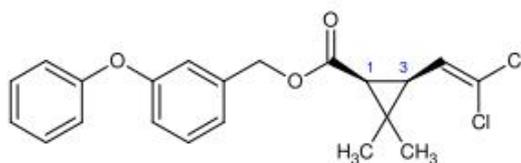
1S, 3R *trans* :



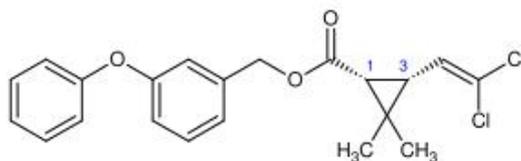
1R, 3S *trans* :



1S, 3S *cis* :



1R, 3R *cis* :



**Figure 5 : Structures chimiques développées des 4 stéréo-isomères de la perméthrine**

La neurotoxicité aiguë de la perméthrine (38:62) a également été étudiée chez le rat (10 rats Sprague Dawley de chaque sexe ; doses : 0, 10, 150 et 300 mg/kg pc). À la plus forte dose, des tremblements du corps, une flexion exagérée des membres postérieurs et une hypersensibilité aux sons ont été observés. La plus forte dose sans effet toxique observable (NOAEL) pour les effets neurotoxiques est de 150 mg/kg pc (JMPR 1999).

Lors d'une exposition chronique à la perméthrine (40:60) chez le rat par le biais de l'alimentation (60 rats Long-Evans par sexe ; doses : 0, 1, 5 et 25 mg/kg pc/j pendant 2 ans), des signes cliniques ont été observés tels que la diminution du gain de poids corporel chez les femelles et une augmentation du poids relatif des ovaires à la plus forte dose. La NOAEL déterminée dans cette étude est de 5 mg/kg pc/j (JMPR 1999).

Dans une étude de reprotoxicité sur deux générations chez le rat (20 rats Wistar de chaque sexe, perméthrine (26:74), doses 0,5, 30 ou 180 mg/kg pc/j), la NOAEL identifiée à la fois pour les effets systémiques et reprotoxiques est de 180 mg/kg pc/j (plus forte dose). Dans une seconde étude (12 rats mâles et 24 femelles Wistar, perméthrine (40:60), doses 0, 33, 67 ou 170 mg/kg pc/j), les effets systémiques du traitement sont observés à la plus faible dose (LOAEL = 33 mg/kg pc/j), la NOAEL pour les effets reprotoxiques est fixée à la plus forte dose (170 mg/kg pc/j). L'administration par gavage de perméthrine (44-46,5:56-53,5) à 20 rates Sprague Dawley gestantes (doses : 4, 41 et 83 mg/kg pc/j du 6<sup>ème</sup> au 16<sup>ème</sup> jour de gestation) n'a entraîné aucune toxicité maternelle ni malformations squelettiques ou des tissus mous dans les portées. Le traitement n'a pas non plus eu d'effet sur le nombre de morts fœtales ou le ratio du sexe des fœtus. La NOAEL pour la toxicité maternelle et la toxicité pour le développement est ici la plus forte dose testée (83 mg/kg pc/j). La perméthrine est considérée comme n'étant pas toxique pour la reproduction ou le développement aux doses utilisées (JMPR 1999).

La cancérogénicité d'une préparation de perméthrine (40:60) a été testée dans une étude sur des souris et dans une autre sur des rats exposés par voie orale par le biais de l'alimentation. Chez la souris, une augmentation marginale du nombre d'adénomes pulmonaires est observée chez les mâles. En revanche, aucune augmentation de l'incidence des tumeurs n'est observée chez les rats traités. Le CIRC a conclu que la perméthrine est inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'Homme (groupe 3) (IARC 1991).

En 1982, le JMPR a calculé une dose journalière admissible (DJA) de perméthrine (40:60) pour l'Homme de 0,05 mg/kg pc/j basée sur la NOAEL de 5 mg/kg pc/j provenant de l'étude chronique sur le rat et après application d'un facteur de sécurité de 100. Cette DJA a été étendue en 1987 à la perméthrine (25:75). En 2002, le JMPR n'a pas remis en question la DJA de 0,05 mg/kg pc/j et a calculé une dose de référence aiguë (ARfD) pour l'Homme de 1,5 mg/kg pc basée sur la NOAEL de 150 mg/kg pc provenant de l'étude de la neurotoxicité sur le rat et après application d'un facteur de sécurité de 100 (JMPR 2002).

De nombreuses études ont évalué la neurotoxicité *in vivo* de la perméthrine, son interaction *in vitro* avec les canaux sodium, son métabolisme, sa toxicocinétique après différentes voies d'administration (orale, cutanée, intraveineuse, ...), et ont développé des modèles PBPK pour déterminer l'exposition à la perméthrine et à ses métabolites (US-EPA 2011b).

## 4 Méthode d'évaluation des expositions

### 4.1 Introduction

Ce travail consiste à mettre en place, sur la base des données disponibles pour la perméthrine, une méthode générique visant à caractériser l'exposition agrégée, depuis la contamination des milieux jusqu'à l'imprégnation des individus (Figure 6).

Le calcul des expositions externes nécessite de disposer pour chaque individu (1) des niveaux de contamination dans chaque milieu d'intérêt (air extérieur, air intérieur, poussières sédimentées et aliments), (2) de paramètres humains tels que le poids corporel ou les consommations alimentaires et (3) du budget espace-temps (BET). La démarche générale est de privilégier les données françaises, afin d'obtenir une estimation des expositions la plus représentative possible de la population française. Par ailleurs, l'approche consiste également à privilégier les données individuelles afin de d'estimer au mieux la variabilité des expositions.

Les expositions externes individuelles estimées servent alors de données d'entrée au modèle PBPK qui modélise l'imprégnation de chacun des individus. Ces modèles établissent le lien entre l'exposition externe à la perméthrine (substance mère) et l'imprégnation au DCCA (métabolite de la perméthrine). Ils décrivent la cinétique des composés chimiques dans chaque compartiment - correspondant à des organes ou tissus prédéfinis - irrigués par le flux sanguin. Enfin, les expositions internes estimées sont comparées aux expositions internes mesurées dans l'ENNS afin de situer les prédictions du modèle et de privilégier un scénario d'exposition.

### 4.2 Les données

#### 4.2.1 Les données de contamination environnementales

La revue bibliographique des données de contamination en perméthrine dans l'environnement est présentée en Annexe 2. Ces données contenues dans 34 études présentent une grande hétérogénéité de par leur origine géographique, les méthodes de mesure employées et la qualité des informations fournies. Une sélection a été réalisée afin d'obtenir un jeu de données pertinent pour chaque source de contamination dans le cadre du présent travail, c'est-à-dire au plus proche de la situation et du type de mesure effectué en France et privilégiant l'accès à des données non agrégées. Cette sélection est basée sur 12 critères tenant compte notamment des phases mesurées, de la fraction de particules et de la durée de prélèvement (*cf* Annexe 2). Les études d'Air PACA (2012) et de Blanchard et al. (2014) ont été celles retenues compte tenu des critères de sélection.

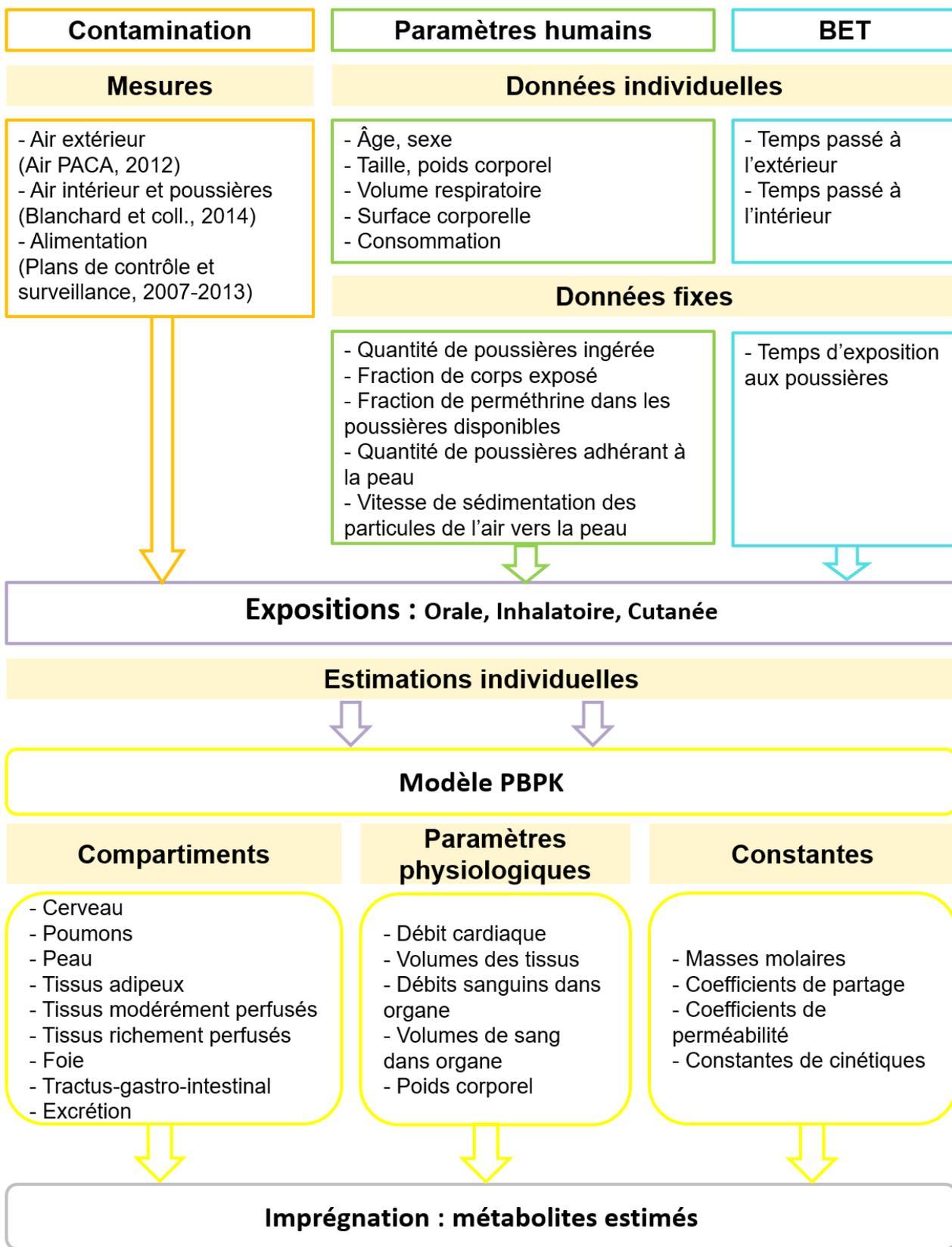


Figure 6 : Schéma global de la méthode

#### 4.2.1.1 Air extérieur

L'AASQA Air PACA a suivi au cours de l'année 2012 l'évolution des concentrations en perméthrine dans l'air extérieur de 5 communes en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Table 6 et Table 7).

L'étude d'Air PACA présente plusieurs avantages. En effet, elle est la seule à fournir des données récentes de contamination par les pyréthriinoïdes de l'air extérieur en France. Les études menées en parallèle par les autres AASQA n'ont pas permis la détection de pyréthriinoïdes dans l'air extérieur. Cela peut s'expliquer par l'utilisation par Air PACA d'une méthode d'échantillonnage différente des autres AASQA (Annexe 2). En effet, Air PACA est la seule AASQA à utiliser un préleveur haut débit (10 m<sup>3</sup>/h) sur un couplage de filtre en fibres de quartz (QFF), mousse en polyuréthane (PUF) et résine (de type XAD-2) et sur une durée de 48h. Elle procède ensuite en laboratoire à une extraction accélérée par solvant (ASE). La plupart des autres AASQA utilisent un préleveur bas débit (1 m<sup>3</sup>/h) sur un couplage QFF-PUF pendant une semaine, suivi d'une extraction par solvant simple (SE) ou sur un appareil type Soxhlet (Air Pays de La Loire, 2004, 2006 ; ATMOSF'Air Bourgogne, 2005 ; AIRPARIF, 2007 ; ATMO Poitou-Charentes, 2007, 2008, 2010, 2012). Par conséquent, la méthode employée par Air PACA est caractérisée par des limites de détection (LOD) plus basses pour les pyréthriinoïdes (LOD comprises entre 0,004 et 0,016 ng/m<sup>3</sup>, contre des LOD comprises entre 0,048 et 0,3 ng/m<sup>3</sup> pour les autres AASQA) (critère n°6, Annexe 2). De plus, cent-treize prélèvements d'air extérieur ont été réalisés sur une période de 7 mois (de mars à septembre 2012), avec un effort d'échantillonnage plus élevé sur la période d'épandage des pesticides (mai à septembre) (critère 8, Annexe 2). L'AASQA Air PACA a accepté de transmettre à l'Anses, pour cette auto-saisine, les données brutes des mesures recueillies lors de l'étude.

L'étude d'Air PACA (2012) présente néanmoins quelques limites. Tout d'abord, la phase gazeuse et la phase particulaire de l'air ont été prélevées séparément, mais ont été extraites puis quantifiées simultanément. Il n'est donc pas possible de les différencier. En outre, l'ensemble des particules en suspension dans l'air a été prélevé, ce qui implique que les particules prélevées comportent une fraction majoritairement inhalable (diamètre inférieur ou égal à 10 µm) et une fraction majoritairement retenue par les voies respiratoires supérieures pour être finalement ingérée (diamètre supérieure à 10 µm) (AFSSET 2009). Cela ne permet donc pas de distinguer la part de la phase particulaire qui contribue à l'exposition par inhalation de celle qui contribue à l'exposition par ingestion. Par ailleurs, les fréquences de quantification de la perméthrine dans l'air extérieur sont faibles (19 %). Il sera donc nécessaire de formuler des hypothèses pour le traitement de ces valeurs et notamment sur le type de distribution des données de contamination. En outre, les mesures de contamination ont été faites dans la région PACA. Il est donc difficile de déterminer si les données sont représentatives ou non des contaminations des autres régions.

#### 4.2.1.2 Air intérieur et poussières sédimentées

Blanchard et al. (2014) ont mesuré les concentrations en perméthrine dans la phase gazeuse et dans la phase particulaire de l'air intérieur, ainsi que dans les poussières sédimentées, à l'intérieur de 30 logements en Bretagne (Table 6 et Table 7).

**Table 6 : Description des méthodes employées par Air PACA (2012) et Blanchard et al. (2014) pour leurs mesures de contamination par la perméthrine de l'air intérieur, l'air extérieur et les poussières sédimentées.**

Source	Phase	Fraction particulaire	Lieu	Méthode					Référence
				Outil de prélèvement	Durée du prélèvement d'air	Débit de prélèvement d'air	Extraction	Quantification	
Air intérieur	Gazeuse	-	Bretagne	PUF	1 semaine	0,12 m <sup>3</sup> /h	PLE	GC/MS/MS	Blanchard et al. (2014)
	Particulaire	PM10		QFF			TD	GC/MS	
Poussières	-	< 100 µm		Aspirateur	-	-	PLE	GC/MS/MS	
Air extérieur	Phases gazeuse et particulaire cumulées	Totale	Arles	QFF-PUF-XAD-2	48h	10 m <sup>3</sup> /h	ASE	GC/MS/MS	Air PACA (2012)
			Avignon						
			Cannes						
			Les Vignères						
			Toulon						

- : sans objet ; PM10 : particules en suspension de taille médiane inférieure à 10 µm ; PUF : mousse en polyuréthane ; QFF : filtre en fibres de quartz ; XAD-2 : type de résine ; PLE : extraction liquide sous pression ; TD : désorption thermique ; ASE : extraction accélérée par solvant ; GC/MS(/MS) : chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (en tandem).

**Table 7 : Description des données de contamination par la perméthrine de l'air intérieur, l'air extérieur et les poussières sédimentées issues d'Air PACA (2012) et de Blanchard et al. (2014).**

Source	Phase	Fraction particulaire	Lieu	N	FQ (%)	LOQ	Min	P50	Max	Référence
Air intérieur	Gazeuse	-	Bretagne	30	0	0,6 ng/m <sup>3</sup>	< LOQ	< LOQ	< LOQ	Blanchard et al. (2014)
	Particulaire	PM10		30	40	0,002 ng/m <sup>3</sup>	< LOQ	< LOQ	1,50	
Poussières	-	< 100 µm		25	84	0,09 µg/g	< LOQ	0,55	36,7	
Air extérieur	Phases gazeuse et particulaire cumulées	Totale	Arles	21	9,5	0,071 ng/m <sup>3</sup>	< LOQ	< LOQ	0,47	Air PACA (2012)
			Avignon	23	0		< LOQ	< LOQ	< LOQ	
			Cannes	17	29		< LOQ	< LOQ	0,31	
			Les Vignères	23	4		< LOQ	< LOQ	0,25	
			Toulon	23	52		< LOQ	< LOQ	0,39	

- : sans objet ; N : nombre d'échantillons ; FQ : fréquence de quantification ; LOQ : limite de quantification ; PM10 : particules en suspension de taille < 10 µm ; Min : valeur minimale ; P50 : médiane ; Max : valeur maximale. Les informations indiquées dans ce tableau proviennent d'Air PACA (2012) et Blanchard et al. (2014). Dans Blanchard et al. (2014), les valeurs médianes ont été calculées après remplacement des valeurs censurées par ½ LOQ.

Cette étude a été sélectionnée pour les raisons suivantes : premièrement, à notre connaissance, cette étude est la seule à fournir des données récentes de contamination par les pyréthriinoïdes de l'air intérieur et des poussières en France, simultanément (critère 1, Annexe 2). Deuxièmement, les niveaux de contamination de la phase gazeuse et de la phase particulaire de l'air intérieur ont été quantifiés séparément sur une durée d'une semaine (critères 2, 3 et 8, Annexe 2). Troisièmement, les prélèvements de la phase particulaire de l'air se limitent aux particules de taille médiane inférieure à 10 µm (PM10) (critère 4, Annexe 2). Enfin, les prélèvements hebdomadaires de l'air intérieur ont été réalisés avec un préleveur bas débit (0,12 m<sup>3</sup>/h) sur un couplage QFF-PUF, suivie d'une extraction liquide sous pression (PLE) pour la phase gazeuse et une extraction par désorption thermique pour la phase particulaire (critères 6 et 7, Annexe 2). Les prélèvements de poussières ont été réalisés par les auteurs à l'aide d'un aspirateur (critère 9, Annexe 2), suivi d'un tamisage à 100 µm (critère 5, Annexe 2) et d'une PLE. Pour les deux milieux, la quantification est réalisée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS ou GC/MS/MS). Cette méthode conduit à des limites de quantification (LOQ) de la perméthrine basses dans la phase particulaire de l'air (0,002 ng/m<sup>3</sup>) et dans les poussières (0,09 µg/g), mais à une LOQ plus élevée dans la phase gazeuse de l'air (0,6 ng/m<sup>3</sup>). Les fréquences de quantification de la perméthrine sont de 40% dans la phase particulaire de l'air intérieur, de 84% dans les poussières et de 0% dans la phase gazeuse de l'air.

L'étude de Blanchard et al. (2014) présente néanmoins les deux inconvénients suivants pour nos travaux : les mesures de contamination ont été réalisées dans 30 logements à une échelle régionale (Bretagne). Il est donc difficile de déterminer si les données sont représentatives ou non des contaminations dans les autres régions. De plus, les mesures de contamination ont été effectuées dans un seul micro-environnement intérieur (logements). Or, d'autres micro-environnements intérieurs sont pris en compte dans notre étude, comme les bureaux, les lieux publics fermés ou encore les véhicules.

#### 4.2.1.3 Les données de contamination dans les aliments

Les données ont été compilées à partir des plans de contrôle et des plans de surveillance 2007-2013 menés par la Direction générale de la concurrence, de la consommation, et de la répression des fraudes – DGCCRF (ministère de l'économie), et par la Direction Générale de l'Alimentation – DGAL (ministère de l'agriculture et de l'alimentation) ainsi que des résultats des contrôles sanitaires des eaux destinées à la consommation humaine effectués par la Direction générale de la santé – DGS (ministère des solidarités et de la santé).

Les données de contamination en perméthrine sélectionnées correspondent aux denrées brutes identifiées lors de la décomposition des aliments effectuée pendant la phase de préparation des données alimentaires (cf. paragraphe 4.2.2.2.2). La décomposition d'un aliment correspond au passage de l'aliment à l'ensemble des ingrédients qui le constituent sur la base de recettes, cette décomposition s'arrête lorsque tous les ingrédients sont des denrées brutes. La base de contamination contient 35 113 échantillons (cf. Table 8) prélevés sur 136 denrées différentes et sur l'eau de distribution publique.

**Table 8 : Données de contamination en perméthrine provenant des plans de surveillance et de contrôle des aliments**

Source	Type de données	Nombre de denrées	Nombre d'analyses
DGCCRF 2010-2013	Denrées d'origine végétale	126	17 252
DGAL 2010, 2012 et 2013	Denrées d'origine animale	10	1 151
DGS 2007-2013	Eau de distribution publique	1	16 710

Les méthodes analytiques utilisées pour quantifier la perméthrine sont la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS, pour les denrées pour lesquelles l'information était disponible). Les limites analytiques sont présentées en Annexe 3, seulement 0,11% des données sont quantifiées, ce qui représente un total de 38 sur 35 113 échantillons. Ils correspondent aux denrées suivantes : basilic (1), menthe (12), haricot vert (1), pois mange tout (1), piment (5), poivron (1), sanglier (1), volaille (3), mouton (1), porc (3), tomate (2) et eau (7). La faible quantification dans les denrées d'origine végétale n'est pas étonnante car la perméthrine est interdite depuis 2000 au sein de l'Union européenne pour un usage agricole (décision n°2000/817/CE). Les pays d'origine des échantillons quantifiés sont des Pays tiers dont la République Dominicaine, le Kenya, le Maroc et le Viet Nam.

Dans 119 échantillons, des traces de perméthrine ont été observées. La concentration en perméthrine, dans ces denrées, est comprise entre la LOD et la LOQ. Il s'agit de denrées alimentaires d'origine animale, notamment de beurre (2), de volaille (48), de gibier (4), de lapin (1), de porc (46), d'œufs de poule (2) et d'ovin (16).

#### 4.2.2 La population d'étude

La population analysée est issue de l'ENNS, enquête menée par l'Institut national de Veille Sanitaire (InVS) en 2006-2007 (Fréry 2013, Usen 2007). La population cible était celle des adultes âgés de 18 à 74 ans, vivant dans des ménages ordinaires<sup>5</sup> et résidant en France métropolitaine entre février 2006 et février 2007.

Un échantillon représentatif de la population générale française de 3 115 personnes a été constitué. Les individus ont été sélectionnés à partir d'un plan de sondage complexe stratifié à 3 degrés. Les unités primaires (UP), i.e. des communes ou regroupements de communes, ont été tirées au sort selon une stratification établie sur les variables « régions » (8 modalités) et « taille d'agglomération » (5 modalités) (Annexe 4). Puis, les foyers ont été tirés au sort dans les UP sélectionnées précédemment à partir des bases téléphoniques (listes blanche, rouge et portable). Enfin, un individu a été tiré au sort par foyer selon la méthode de la date d'anniversaire<sup>6</sup>.

Cinq métabolites de pyréthriinoïdes ont été dosés sur un sous-échantillon de 396 adultes. Le prélèvement urinaire a été réalisé sur les premières urines du matin. Tous les calculs d'exposition qui suivent sont effectués sur cette sous-population.

<sup>5</sup> Un ménage ordinaire désigne l'ensemble des personnes qui partagent la même résidence principale, que ces personnes aient des liens de parenté ou non. Les personnes vivant dans des habitations mobiles ou résidant en collectivité sont considérées comme vivant « hors ménages ordinaires ».

<sup>6</sup> Sélection aléatoire de l'individu répondant dont la date d'anniversaire est la plus proche de la date du jour d'enquête

#### 4.2.2.1 Données sociodémographiques et variables anthropométriques

Les questionnaires posés comportaient des items spécifiques aux caractéristiques sociodémographiques et anthropométriques. Des informations individuelles étaient donc disponibles notamment le sexe, l'âge, la profession et catégorie socioprofessionnelle (PCS), le niveau d'éducation, le poids et la taille permettant ainsi de calculer l'indice de masse corporelle (IMC), etc.

Les questions relatives aux pratiques concernant l'usage domestique des pesticides portaient sur la lutte anti-insectes dans le logement, les traitements antipoux, le traitement des animaux domestiques et les activités de jardinage.

#### 4.2.2.2 Données de consommations alimentaires

##### 4.2.2.2.1 *Recueil*

Le recueil des données alimentaires a été réalisé à partir de rappels des 24 heures, sur une période d'un an pour tenir compte de la saisonnalité de l'alimentation. Ces rappels ont été réalisés par des diététiciens qui demandaient à l'enquêté de décrire la nature, la composition et la quantité de l'ensemble des aliments et boissons consommés la veille de l'entretien. Afin que les enquêtés ne modifient pas ou peu leur comportement alimentaire, en raison de leur participation à l'étude, les jours de rappels étaient tirés au sort. Trois rappels étaient prévus par individu, deux sur des jours en semaine et un en week-end. Au final, 194 individus ont réalisé leurs rappels selon le protocole de départ (Table 9) parmi les 396 adultes soumis au dosage des pyréthriinoïdes.

**Table 9 : Effectif de l'échantillon selon le type de recueil alimentaire**

Type de rappels des 24 heures		Nombre d'individus
<i>3 rappels</i>		382
	Deux en semaine et un en week-end	194
	Deux en week-end et un en semaine	40
	Trois en semaine	148
<i>2 rappels</i>		14
	Un en semaine et un en week-end	6
	Deux en semaine	8

##### 4.2.2.2.2 *Préparation des données pour l'analyse*

Pour rappel, le calcul de l'exposition alimentaire nécessite des données de consommation des aliments ainsi que des données de contamination de ces mêmes aliments. Les données de contamination présentées précédemment sont issues des plans de contrôle et de surveillance. Les données récoltées dans ces plans proviennent de mesures faites sur des denrées brutes. En revanche, les données de consommation sont recueillies au niveau de l'aliment, pouvant correspondre à une denrée brute (fruits, légumes...) ou à un produit transformé comme la pizza. Ainsi chaque aliment doit être décomposé en un ensemble de denrées brutes, étape permettant de calculer pour chaque aliment une teneur en perméthrine.

Dans certains cas, cette phase peut s'avérer assez complexe et nécessite une décomposition complète de l'aliment en denrées brutes à l'aide de recettes (exemple de la pizza). Dans le cadre de l'étude INCA 2 (AFSSA 2009), une table de recettes a été créée, décomposant 627 aliments. Pour utiliser ce travail, les aliments recueillis lors de l'ENNS devaient suivre la même nomenclature que celle des aliments de l'étude INCA2. La première étape a consisté à établir une table de

correspondance entre la nomenclature des aliments de l'ENNS et celle utilisée dans l'étude INCA2. Les aliments ENNS sont déclinés en 1 097 items alors que les aliments INCA2 comportent 1342 items, et seuls 200 items étaient communs. Vingt-et-un aliments ont été créés car ils n'avaient aucune correspondance possible avec les aliments INCA2. Les 876 autres aliments ENNS ont pu être associés à des aliments INCA2 (table de correspondance en Annexe 5).

La deuxième partie du travail consiste à décomposer l'ensemble des aliments, considérés comme des produits transformés. La table de recettes préexistante (INCA2) a été mise à jour et complétée afin de décomposer tous les aliments déclarés dans l'ENNS. L'actualisation des recettes s'est faite en utilisant les sites de cuisine suivants :

- <http://www.cuisineactuelle.fr/recettes-de-cuisine>
- <http://www.cuisineaz.com/recettes>
- <http://www.marmiton.org>
- <http://www.meilleurduchef.com>
- <http://www.750g.com>
- <http://www.supertoinette.com/recette>

De nouvelles recettes ont été incorporées au précédent travail car plusieurs aliments nécessitaient 2 voire 3 niveaux de décomposition. Par exemple, la pizza jambon-fromage se décomposait une première fois en : pâte à pizza, sauce tomate, jambon et fromage ; puis la pâte à pizza se décomposait en farine, eau, sel, huile d'olive et levure boulangère, constituant le deuxième niveau de décomposition. La sauce tomate était elle aussi décomposée en denrées brutes.

#### 4.2.2.3 Données de biosurveillance

Le DCCA a été dosé dans un sous-échantillon de 396 adultes, qui constitue notre population d'étude. Les prélèvements urinaires ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse quadripolaire (GC-MS). La technique utilisée est décrite plus en détail dans le tome 2 de l'ENNS. La détermination de la créatinine urinaire était basée sur la réaction de Jaffé (Fréry 2013).

Les *cis*- et *trans*- DCCA ont été quantifiés simultanément dans les prélèvements urinaires de 219 individus parmi les 396 pour lesquels un prélèvement urinaire a été réalisé (45 % de données censurées). Pour tous les métabolites des pyrétrinoïdes, la LOD était de 0,03 µg/l et la LOQ de 0,1 µg/l. La concentration urinaire en métabolite est normalisée par la concentration en créatinine de façon à rendre les concentrations urinaires comparables entre individus (Table 10). Les concentrations sont donc exprimées en µg de métabolite / g de créatinine.

**Table 10 : Distribution des expositions internes de DCCA (n=219) en µg/g créatinine**

µg/g cr	MG avec IC 95%	P25	P50	P75	P95
<i>cis</i> -DCCA					
Hommes (n=74)	0,23 [0,19 ; 0,28]	0,13	0,18	0,46	1,05
Femmes (n=145)	0,31 [0,26 ; 0,37]	0,16	0,24	0,50	2,34
<i>trans</i> -DCCA					
Hommes (n=74)	0,57 [0,46 ; 0,72]	0,26	0,48	1,18	5,56
Femmes (n=145)	0,74[0,61 ; 0,90]	0,35	0,57	1,32	6,30

µg/g cr : Concentration urinaire en µg/g créatinine ; MG : moyenne géométrique ; IC : Intervalle de confiance ; P : percentile

## 4.3 Traitement et analyses statistiques des données

Une donnée dite « censurée à gauche » est une donnée non détectée ou non quantifiée selon la limite considérée (LOD, LOQ) dans le scénario d'exposition (Figure 7).

Sur cette base, le taux de censure correspond donc au nombre de données non détectées et/ou non quantifiées rapporté au nombre total d'analyses.

Les seuils analytiques varient en fonction de la matrice dans laquelle la substance est mesurée mais aussi au cours du temps du fait de l'évolution et de l'amélioration des techniques analytiques. Par exemple la LOQ des produits d'origine animale comme les œufs ou la viande varie de  $2 \cdot 10^{-4}$  à 0,05 mg perméthrine / kg de poids frais. La Figure 7 montre l'étendue importante de la valeur des seuils analytiques.

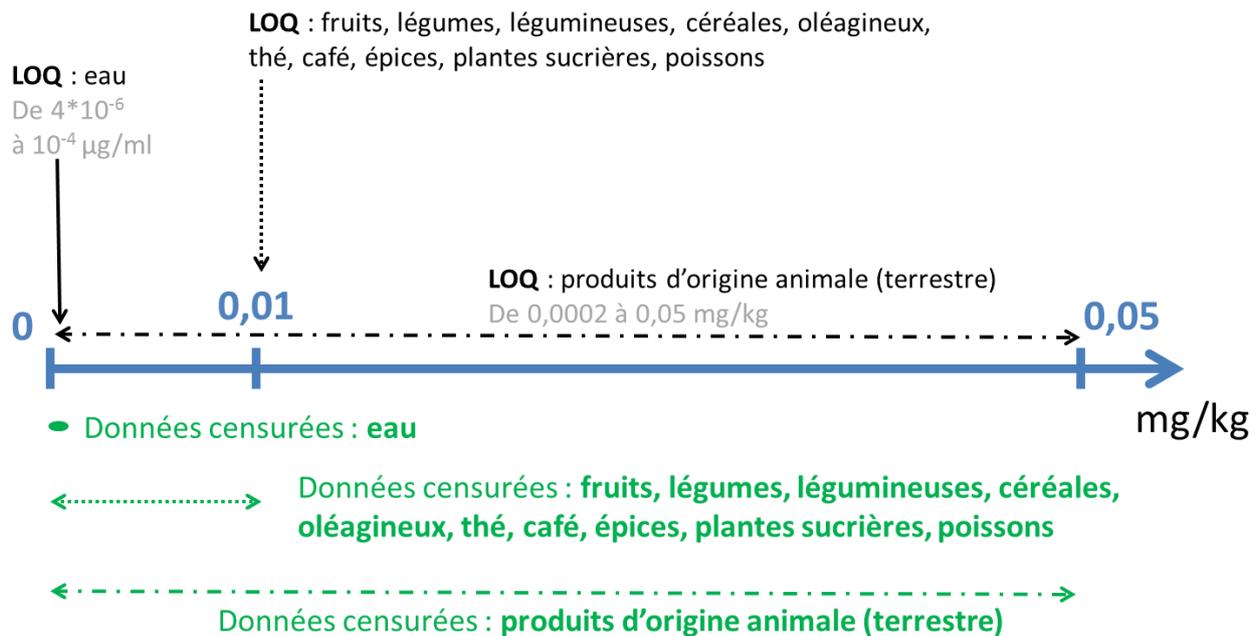


Figure 7 : Présentation des données censurées relatives aux denrées

### 4.3.1 Traitement des données censurées

#### 4.3.1.1 Les données de contamination relatives aux denrées

Étant donné le fort taux de valeurs censurées, les données de contamination sont réévaluées selon 2 scénarios tels que le recommande l'Organisation mondiale de la Santé (WHO 2013). Le premier scénario est un scénario dit « bas », pour lequel les résultats non quantifiés ou non détectés sont fixés respectivement à la LOD (si elle est renseignée) ou à 0. Le deuxième scénario est qualifié de « haut ». Pour ce scénario, les résultats non quantifiés ou non détectés sont fixés, respectivement, à la LOQ ou à la LOD la plus haute selon les informations disponibles.

Un troisième scénario « intermédiaire » remplace la valeur censurée par une valeur tirée au sort selon une loi uniforme entre 0 et la limite analytique disponible pour l'échantillon (LOD ou LOQ), sauf pour les échantillons contenant des « traces » et pour lesquels la valeur est tirée au sort entre la LOD et la LOQ. Ce tirage est effectué 1 000 fois pour prendre en compte la fluctuation de l'échantillonnage. La valeur retenue pour chaque échantillon est la médiane des 1000 tirages.

Les scénarios tiennent compte de l'évolution des limites analytiques au cours du temps car le remplacement des valeurs censurées est réalisé au niveau de chaque échantillon analytique.

Certaines denrées n'ont pas été échantillonnées. Dans ce cas, la contamination moyenne du groupe alimentaire auquel elles appartiennent est attribuée à la valeur manquante, en tenant

compte à chaque fois des divers scénarios. Cette contamination est déclinée selon les 3 scénarios (« bas », « intermédiaire » et « haut »). Le groupe alimentaire est défini selon la nomenclature déterminée par l'EFSA (EFSA 2015). Lorsqu'une denrée constitue à elle seule un groupe, comme c'est le cas du houblon, la contamination de cette céréale, quand elle était manquante, a été fixée à 0 dans le cas d'un scénario « bas », à la LMR/2 (soit 0,05 mg/kg) pour le scénario « intermédiaire » et à la LMR pour le scénario « haut » (soit 0,1 mg/kg).

#### 4.3.1.2 Les données de contaminations environnementales

Le nombre de données de contamination pour chacune des sources n'était pas suffisant pour calculer l'exposition de chaque individu. Les distributions de contamination ont donc été reconstruites en utilisant le module @risk développé dans Excel (version 5.0, copyright 2008, Palissade Corporation). Pour cela, deux méthodes ont été utilisées (dépendant du pourcentage de quantification), la première pour élaborer les concentrations en perméthrine dans l'air intérieur et les poussières et la deuxième pour créer la distribution de la concentration en perméthrine dans l'air extérieur. Les données de contamination disponibles présentent respectivement 16% de valeurs censurées pour les poussières sédimentées, 60% pour la phase particulaire de l'air intérieur. Dans ce premier cas, les valeurs censurées ont été remplacées par une valeur tirée de façon aléatoire dans une distribution uniforme  $U(0, LOQ)$ . Nous avons ensuite procédé à la reconstruction des distributions de contamination à partir des données brutes disponibles. Cette approche a été choisie afin de recréer la variabilité des données de contamination pour les attribuer ensuite à chacun des foyers de l'étude de l'étude ( $n=396$ ). Les données quantifiées étant en nombre suffisant, deux distributions cumulées sont simulées à partir des centiles 60, 65, 70, 80, 90, 95 et 99 d'une part et des centiles 16, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 et 95 d'autre part, respectivement pour l'air intérieur et les poussières sédimentées. Les distributions obtenues étaient asymétriques avec un étalement vers la droite, ce qui est généralement le cas des distributions de contamination. Pour l'air extérieur, le fort taux de données censurées (81%) ne permet pas d'utiliser la même méthode que pour l'air intérieur et les poussières. Une distribution log-normale est simulée entre 0 et la valeur maximale observée. Cette distribution présente l'avantage d'être asymétrique, toujours positive et avec un étalement vers la droite. La distribution log-normale obtenue suit une loi  $Log(N(\mu = 1,003, \sigma^2 = 0,012))$  ng/m<sup>3</sup>, avec  $\mu$  la moyenne de la distribution et  $\sigma^2$  sa variance.

#### 4.3.2 Estimations des moyennes de consommation

Le calcul des consommations moyennes journalières (g/j) d'un aliment par individu tient compte de l'ensemble des jours de rappels validés ainsi que de la répartition de ces jours dans la semaine. Par exemple, si l'individu a renseigné 3 rappels des 24h dont deux en semaine et un en week-end, sa consommation moyenne journalière d'un aliment  $k$  se calcule de la façon suivante :

##### Équation 1 : Calcul de la consommation journalière moyenne

$$C_{k,i} = \left[ \left( \frac{1}{2} \times (C_{s1,k,i} + C_{s2,k,i}) \times \frac{5}{7} \right) + \left( C_{w,k,i} \times \frac{2}{7} \right) \right]$$

---

$C_{k,i}$	Consommation moyenne journalière de la denrée $k$ par l'individu $i$	(g/j)
$C_{s1,k,i}$	Consommation de la denrée $k$ lors du premier rappel des 24h en semaine de l'individu $i$ .	(g/j)
$C_{s2,k,i}$	Consommation de la denrée $k$ lors du deuxième rappel des 24h en semaine de l'individu $i$ .	(g/j)

$C_{w,k,i}$  Consommation de la denrée k lors du rappel des 24h en week-end de l'individu i. (g/j)

### 4.3.3 Estimations des expositions

Seules les expositions chroniques sont considérées en raison du caractère probablement cancérigène de la perméthrine pour la population générale (Bian *et al.* 2004, Ji *et al.* 2011, Meeker, Barr, et Hauser 2009, Xia *et al.* 2004).

#### 4.3.3.1 Exposition alimentaire

Les expositions individuelles sont calculées à partir des moyennes individuelles de consommation et des moyennes (scénarios « bas » et « haut ») ou médianes (scénario « intermédiaire ») de contamination des denrées.

#### Équation 2 : Calcul de l'exposition alimentaire

$$DJE\_a\lim_i = \sum_{k=1}^n \frac{C_{k,i} \times Q_k}{Pc_i}$$

$DJE\_a\lim_i$	Exposition alimentaire total de l'individu i	(ng/kg pc/j)
$C_{k,i}$	Consommation moyenne de la denrée k par l'individu i.	(g/j)
$Q_k$	Contamination moyenne/médiane de la denrée k	(ng/g)
$Pc_i$	Poids corporel de l'individu i	(kg)

#### 4.3.3.2 Expositions environnementales

Plusieurs hypothèses ont été formulées afin de permettre les calculs d'exposition. La concentration en perméthrine dans la phase gazeuse de l'air intérieur a été considérée comme négligeable. Cette hypothèse a été émise au regard de la fréquence de quantification nulle de la perméthrine dans la phase gazeuse de l'air intérieur (Blanchard *et al.* 2014). Cette fréquence de quantification nulle peut avoir plusieurs explications. Tout d'abord la perméthrine est une substance peu volatile (US-EPA 2010) qui tend à s'adsorber rapidement sur les particules en suspension. De plus, cette substance présente une durée de vie plus courte sous sa forme gazeuse que sous sa forme particulaire (Berger-Preiß *et al.* 1997, Leng *et al.* 2005). Dans le contexte d'une contamination résiduelle chronique, il semble donc possible de supposer que la concentration en perméthrine dans la phase gazeuse de l'air soit faible (Weschler et Nazaroff 2010). Deuxièmement, la méthode employée pourrait ne pas être suffisamment sensible pour quantifier ces concentrations faibles en perméthrine dans la phase gazeuse de l'air. En effet, la LOQ est plus élevée pour la phase gazeuse (0,6 ng/m<sup>3</sup>) que pour la phase particulaire (0,002 ng/m<sup>3</sup>). En l'absence de données de contamination distinctes pour les phases gazeuse et particulaire de l'air extérieur, la concentration en perméthrine dans la phase gazeuse de l'air extérieur a également été considérée comme négligeable. Nous avons supposé ici que la perméthrine se comportait de manière identique dans l'air extérieur et dans l'air intérieur.

La phase particulaire de l'air intérieur a été considérée comme entièrement inhalable (< PM10). La phase particulaire de l'air extérieur comporte une fraction inhalable et une fraction ingérée. Comme la composition particulaire de l'air extérieur n'est pas connue, la phase particulaire de l'air extérieur a également été considérée par défaut comme entièrement inhalable.

En l'absence de données de contamination dans les autres micro-environnements intérieurs (transport, bureau...), les concentrations en perméthrine mesurées dans l'air intérieur et les poussières sédimentées des logements ont été assimilées à tous les environnements intérieurs.

Les données disponibles, présentées au paragraphe 4.2.1, sont issues d'études menées à une échelle régionale (région Bretagne et région PACA). Ces données régionales ont été étendues à l'échelle nationale pour le calcul des expositions de la population générale.

#### 4.3.3.2.1 Les paramètres humains

Une partie des paramètres humains nécessaires aux calculs des expositions (Figure 6) est directement fournie par le jeu de données de l'étude ENNS. Pour chaque individu, nous disposons des paramètres suivants : sexe, âge, poids, taille, profession et catégorie socioprofessionnelle et situation professionnelle (Table 16, Table 17, Table 18).

Les valeurs des autres paramètres humains nécessaires au calcul des expositions ne sont pas directement fournies par l'ENNS. Parmi ces paramètres, le volume respiratoire et la surface corporelle ont pu être calculés au niveau individuel à partir des données de l'ENNS (sexe, âge, poids et taille).

Le volume respiratoire correspond à la quantité d'air inhalée par un individu par unité de temps. Le volume respiratoire peut être calculé au repos, i.e. pendant le sommeil. Dans ce cas, il est généralement exprimé en m<sup>3</sup>/j et dépend du taux métabolique de base (*TMB*) de l'individu (Layton 1993, US-EPA 2011a). Le volume respiratoire peut également être estimé en considérant les activités de la vie quotidienne, i.e. l'ensemble des gestes accomplis chaque jour par une personne dans le but de prendre soin d'elle-même ou de participer à la vie sociale (se laver, manger, parler, écrire, travailler assis à un bureau, regarder la télévision...). Dans ce cas, le volume respiratoire est également exprimé en m<sup>3</sup>/j et dépend du *TMB* multiplié par un facteur représentant la dépense énergétique journalière due aux activités de la vie quotidienne (facteur *A* dans l'équation (2) ci-dessous) (Layton 1993, US-EPA 2011a). Enfin, le volume respiratoire peut être calculé lors d'une activité physique donnée (sport, marche active, activités domestiques, travail manuel...). Dans ce cas, le volume respiratoire est estimé sur une durée plus courte (généralement en m<sup>3</sup>/min) et dépend du *TMB* multiplié par un facteur représentant la dépense énergétique due à l'activité physique considérée (Layton 1993, US-EPA 2011a). Ce facteur peut être exprimé en équivalents métaboliques (MET).

Dans le présent travail, les données sur l'activité physique des individus de l'ENNS sont peu précises et difficilement exploitables. Le volume respiratoire a alors été estimé pour chaque individu en considérant les activités de la vie quotidienne à l'aide des équations de Henry (2005) et des équations de Layton (1993), recommandées respectivement par l'EFSA (2013) et par l'« Exposure Factor Handbook » (EFH) de l'US-EPA (2011). Il s'agit donc d'un volume respiratoire moyen qui sera utilisé à la fois pour le calcul de l'exposition inhalatoire par le biais de l'air intérieur et extérieur. La méthode de Henry (2005) permet de calculer le taux métabolique de base selon l'équation suivante :

#### Équation 3 : Calcul du taux métabolique de base

$$TMB = c \times Pc + d \times H + e$$

<i>TMB</i>	Taux métabolique de base	(MJ/j)
<i>Pc</i>	Poids corporel de l'individu	(kg)
<i>H</i>	Taille de l'individu	(cm)
<i>c, d et e</i>	Termes définis selon le sexe et l'âge de l'individu (EFSA, 2013) (Annexe 6)	-

La méthode de Layton (1993) permet de calculer le volume respiratoire en considérant les activités de la vie quotidienne selon l'équation suivante :

**Équation 4 : Calcul du volume respiratoire**

$$V_r = TMB \times VO_2 \times VQ \times A$$

$V_r$	Volume respiratoire considérant les activités de la vie quotidienne	(m <sup>3</sup> /j)
$TMB$	Taux métabolique de base	(MJ/j)
$VO_2$	Volume d'O <sub>2</sub> consommé pour 1 MJ d'énergie dépensée. La valeur de ce paramètre est fixée à 0,05 m <sup>3</sup> /MJ pour tous les individus (US-EPA, 2011).	(m <sup>3</sup> /MJ)
$VQ$	Taux de ventilation (i.e. efficacité de la prise d'O <sub>2</sub> par les poumons). Ce paramètre est une constante fixée à 27 (US-EPA, 2011).	-
$A$	Rapport de la dépense énergétique journalière totale sur le TMB. Ce paramètre permet de considérer les activités de la vie quotidienne. La valeur de ce paramètre dépend du sexe ( $A = 1,59$ pour les hommes et $A = 1,38$ pour les femmes) (US-EPA, 2011).	-

La surface corporelle a été calculée pour chaque individu à partir de l'Équation 5 de Gehan & George (1970) recommandée par l'EFH de l'US-EPA (2011) :

**Équation 5 : Calcul de la surface corporelle**

$$S = a_0 \times H^{a_1} \times Pc^{a_2}$$

$S$	Surface corporelle	m <sup>2</sup>
$H$	Taille de l'individu	cm
$Pc$	Poids corporel de l'individu	kg
$a_0, a_1$ et $a_2$	Termes définis par Gehan & George (1970) selon l'âge (< 20 ans ; ≥ 20 ans) (Annexe 6)	-

Les valeurs de volume respiratoire obtenues pour la population ENNS sont en moyenne de 14,9 IC 95% [14,7 ; 15,1] m<sup>3</sup>/j pour les hommes et de 10,3 IC95% [10,1 ; 10,7] m<sup>3</sup>/j pour les femmes (Annexe 6). Les valeurs moyennes de surface corporelle obtenues sont, quant à elles, de 1,91 IC95% [1,88 ; 1,93] m<sup>2</sup> pour les hommes et de 1,71 IC95% [1,67 ; 1,76] m<sup>2</sup> pour les femmes.

À notre connaissance, aucune donnée individuelle n'était disponible pour les autres paramètres humains nécessaires aux calculs des expositions (comme la quantité de poussières ingérée, la quantité de poussières adhérant à la peau, ou encore la vitesse de sédimentation des particules de l'air vers la peau). De même, il n'existe pas d'équation permettant de calculer ces paramètres au niveau individuel à partir des données fournies par l'ENNS. Ces paramètres ont alors été déterminés à partir des informations disponibles dans la littérature. Il s'agit très souvent de paramètres sans variabilité indiquée.

Ainsi, la quantité de poussières ingérée ( $Q$ ) présente une valeur unique de 30 mg/j pour tous les individus selon les recommandations de l'EFH de l'US-EPA (2011). Cette valeur concerne la quantité globale de poussières ingérée au cours d'une journée tout environnement confondu (i.e. intérieur et extérieur).

La quantité de poussières adhérant à la peau ( $Mp$ ) présente une valeur unique de 0,96 g.m<sup>-2</sup> pour tous les individus selon (Bekö *et al.* 2013). À notre connaissance, cette valeur est la seule disponible dans la littérature et n'est pas spécifique à la perméthrine.

La fraction de perméthrine contenue dans les poussières disponible pour l'exposition ( $fp$ ) est de 0,15 pour tous les individus selon (Wormuth *et al.* 2006) et (Bekö *et al.* 2013). À notre connaissance, cette valeur est également la seule disponible dans la littérature.

La vitesse de sédimentation des particules de l'air vers la peau ( $vp$ ) a été déterminée à partir de l'étude de (Shi et Zhao 2013). À travers un dispositif expérimental mis en place sur des mannequins en conditions contrôlées, ces auteurs ont estimé la vitesse de sédimentation des particules de l'air vers la surface d'un corps humain en position debout et assise (1,40 m/h et 2,15 m/h pour les PM10 respectivement). Dans un scénario maximisant l'exposition cutanée, la vitesse

de sédimentation a été considérée en position assise, donc à une valeur unique de 2,15 m/h pour tous les individus.

Enfin, la fraction du corps exposée ( $f_s$ ) correspond à l'ensemble des parties du corps qui ne sont pas couvertes par des vêtements et qui sont donc exposées à l'air et aux poussières. Dans un scénario maximisant l'exposition cutanée, les parties du corps exposées ont été définies en conditions estivales : tête, mains, bras, jambes, pieds (scénario « été »). La fraction du corps exposée a été calculée pour chaque individu comme la somme des pourcentages de chaque partie du corps exposée par rapport à la surface totale du corps. Ces pourcentages, fournis par l'EFH de l'US-EPA (2011), dépendent uniquement du sexe. Ainsi, le paramètre  $f_s$  présente une valeur de 0,67 pour les hommes et de 0,63 pour les femmes.

#### 4.3.3.2.2 Le budget espace-temps

Le budget espace-temps (BET) correspond à la description des lieux fréquentés quotidiennement par une personne et du temps moyen passé dans chacun de ces lieux (OQAI, 2010). Dans le présent travail, les temps passés à l'intérieur ( $T_i$ ) et à l'extérieur ( $T_e$ ) ont pu être calculés pour chaque individu à partir des données fournies par l'ENNS (sexe, âge, PCS, situation professionnelle). Le temps passé à l'intérieur a été estimé à partir de l'enquête « Emploi du Temps » menée par l'INSEE (2012). Cette étude a permis d'attribuer à chaque individu un temps moyen passé à différentes activités (Annexe 6) selon son sexe, son âge et sa situation professionnelle. Pour chacune des activités considérées, une proportion de temps passé à l'intérieur a été appliquée (Annexe 6). Ainsi, le temps passé à l'intérieur sur une journée moyenne a été calculé pour chaque individu selon l'Équation 6. Le temps passé à l'extérieur a été déduit du temps passé à l'intérieur, selon l'Équation 7.

##### Équation 6 : Calcul du temps passé en milieu intérieur

$$T_i = \sum_{j=1}^N p_j \times T_j$$

##### Équation 7 : Calcul du temps passé en milieu extérieur

$$T_e = 24 - T_i$$

$T_i$	Temps passé à l'intérieur sur l'ensemble des $N$ activités décrites par l'Insee	(h/j)
$p_j$	Proportion de temps passé à l'intérieur pour l'activité $j$ (Tableau 5)	-
$T_j$	Temps passé à l'activité $j$ défini par l'enquête « Emploi du Temps » de l'Insee selon le sexe, l'âge et la situation professionnelle de l'individu.	(h/j)
$T_e$	Temps passé à l'extérieur	(h/j)

Les temps passés à l'intérieur sont en moyenne pour la population ENNS de 22,3 [22,1 ; 22,5] h/j, soit une proportion de 93% de la journée (Annexe 6).

Le temps d'exposition aux poussières ( $T_p$ ) est nécessaire pour le calcul de l'exposition par contact cutané aux poussières sédimentées. En l'absence de données pour ce paramètre dans la littérature, un scénario maximisant a été appliqué. Ce scénario considère que l'exposition cutanée aux poussières se produit sur toute la journée, aussi bien en environnement intérieur qu'à l'extérieur. Ainsi, le temps d'exposition aux poussières a été fixé à une valeur unique de 24 h/j pour tous les individus.

L'ensemble des variables et paramètres utilisés pour le calcul des expositions est résumé dans les Table 11 et Table 12 ainsi que par la Figure 8.

Table 11 : Bilan des variables utilisées pour le calcul des expositions (1)

Variable	Définition	Modalité	Valeur*	Référence
<i>Données individuelles de contamination</i>				
$C_i$	Concentration en perméthrine dans l'air intérieur	Distribution cumulée construite à partir des données de contamination disponibles	$1.10^{-5} - 1,44 \text{ ng/m}^3$	(Blanchard <i>et al.</i> 2014)
$C_p$	Concentration en perméthrine dans les poussières sédimentées	Distribution cumulée construite à partir des données de contamination disponibles	$9.10^{-4} - 36,1 \text{ } \mu\text{g/g}$	(Blanchard <i>et al.</i> 2014)
$C_e$	Concentration en perméthrine dans l'air extérieur	Distribution log-normale construite à partir des données de contamination disponibles	$3.10^{-6} - 0,22 \text{ ng/m}^3$	(Air PACA 2012)
<i>Paramètres humains individuels</i>				
$P_c$	Poids corporel	Valeurs individuelles fournies par l'ENNS (Tableau 4)	H : 51,3 – 127,3 kg F : 33,8 – 123,4 kg	(Fréry <i>et al.</i> 2013)
$V_r$	Volume respiratoire prenant en compte les activités de la vie quotidienne	Valeurs calculées pour chaque individu à partir des équations de Henry (2005) et de Layton (1993), dont les paramètres varient selon l'âge et le sexe	H : 11,5 – 20,0 m <sup>3</sup> /j F : 8,1 – 14,5 m <sup>3</sup> /j	(EFSA 2013, US-EPA 2011a)
$S$	Surface corporelle	Valeurs calculées pour chaque individu à partir de l'équation de Gehan & George (1970), dont les paramètres varient selon le sexe.	H : 1,55 – 2,48 m <sup>2</sup> F : 1,23 – 2,33 m <sup>2</sup>	(US-EPA 2011a)
<i>Paramètres humains provenant de la littérature scientifique</i>				
$Q$	Quantité de poussières ingérée	-	30 mg/j	(US-EPA 2011a)
$f_s$	Fraction du corps exposée	Scénario « été » considérant que la tête, les mains, les bras, les jambes et les pieds sont exposés.	H : 0,67 F : 0,63	(US-EPA 2011a)
$f_p$	Fraction de perméthrine contenue dans les poussières disponible pour l'exposition	Une valeur de paramètre appliquée à tous les individus	0,15	(Bekö <i>et al.</i> 2013, Wormuth <i>et al.</i> 2006)
$M_p$	Quantité de poussières adhérent à la peau	-	0,96 g/m <sup>2</sup>	(Bekö <i>et al.</i> 2013)

\* Une gamme de valeurs (valeurs minimale et maximale) est indiquée pour les variables individuelles. H : hommes ; F : femmes.

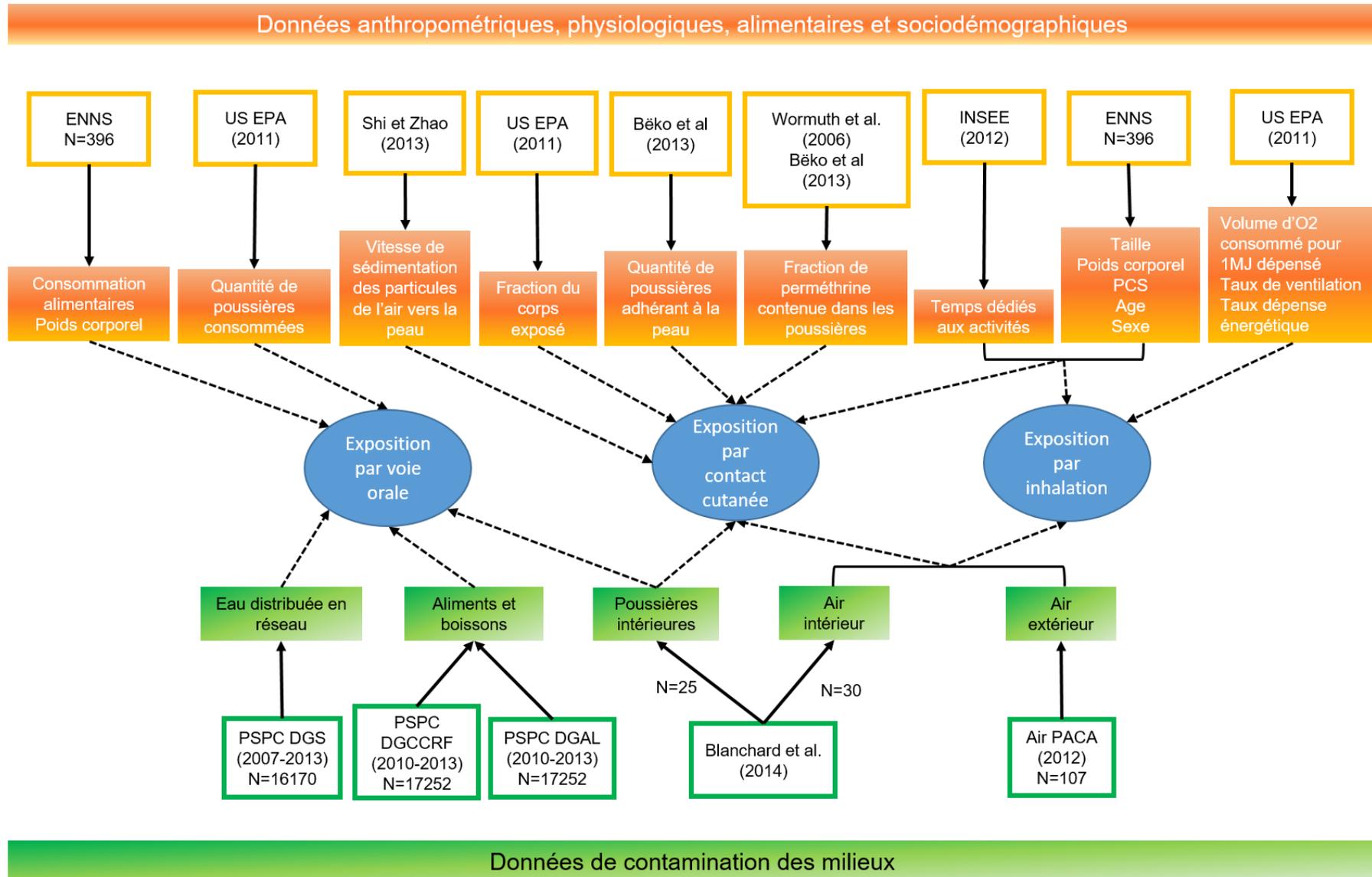


Figure 8 : Récapitulatif de l'utilisation des données

Table 12 : Bilan des variables utilisées pour le calcul des expositions (2)

Variable	Définition	Modalité	Valeur*	Référence
<i>Paramètres humains provenant de la littérature scientifique</i>				
<i>vp</i>	Vitesse de sédimentation des particules de l'air vers la peau	Scénario considérant un corps humain assis	2,15 m/h	(Shi et Zhao 2013)
<i>Paramètres de budget espace-temps individuels</i>				
<i>Ti</i>	Temps passé à l'intérieur	Valeurs calculées pour chaque individu en appliquant une proportion de temps passé à l'intérieur aux temps moyens passés à différentes activités quotidiennes, variant selon l'âge, le sexe, la situation professionnelle et la PCS	17,1 – 23,7 h/j	Enquête « Emploi du Temps » (INSEE 2012)
<i>Te</i>	Temps passé à l'extérieur	Valeurs calculées pour chaque individu déduites de <i>Ti</i> .	0,29 – 6,87 h/j	Valeurs calculées dans la présente étude
<i>Paramètres de budget espace-temps provenant de la littérature</i>				
<i>Tp</i>	Temps d'exposition aux poussières	Scénario considérant une exposition cutanée à la poussière toute la journée, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur	24 h/j	Valeurs calculées dans la présente étude

\* Une gamme de valeurs (valeurs minimale et maximale) est indiquée pour les variables individuelles.

#### 4.3.3.2.3 Calculs des expositions

L'exposition par inhalation correspond à la quantité de substance mise quotidiennement au contact d'un organisme au niveau de son épithélium respiratoire, sans l'avoir traversé (InVS, 2005). Cette exposition est estimée à partir de l'équation suivante (Berger-Preiss et al., 2002 ; Morgan et al., 2007, 2014 ; Li et al., 2014) :

#### Équation 8 : Calcul de l'exposition par inhalation

$$DJE_{inh} = \frac{(Ci \times Vr \times Ti) + (Ce \times Vr \times Te)}{Pc}$$

<i>DJE<sub>inh</sub></i>	Exposition par inhalation	ng/kg pc/j
<i>Ci</i>	Concentration en perméthrine dans l'air intérieur	ng/m <sup>3</sup>
<i>Vr</i>	Volume respiratoire considérant les activités de la vie quotidienne	m <sup>3</sup> /h
<i>Ti</i>	Temps passé à l'intérieur	h/j
<i>Ce</i>	Concentration en perméthrine dans l'air extérieur	ng/m <sup>3</sup>
<i>Te</i>	Temps passé à l'extérieur	h/j
<i>Pc</i>	Poids corporel	kg

L'exposition par ingestion correspond à la quantité de substance mise quotidiennement au contact d'un organisme au niveau de sa muqueuse digestive, sans l'avoir traversée, par le biais de

l'ingestion de sol, de poussières et de particules en suspension (InVS, 2005). L'ingestion de sol a été considérée comme négligeable pour les adultes (US-EPA, 2011). L'exposition par ingestion de particules en suspension n'a pas pu être calculée, car les concentrations en perméthrine dans la fraction particulaire majoritairement ingérée (> PM10) de l'air intérieur et extérieur ne sont pas connues. Dans le présent travail, seules les poussières ont donc été intégrées dans le calcul de l'exposition par ingestion. L'exposition par ingestion de poussières est estimée à partir de l'équation suivante (Berger-Preiss et al., 2002 ; Quirós-Alcalá et al., 2011 ; Morgan et al., 2007, 2014) :

#### Équation 9 : Exposition par ingestion de poussières

$$DJE_{ing} = \frac{C_p \times Q}{P_c}$$

<i>DJE<sub>ing</sub></i>	Exposition par ingestion de poussières	ng/kg pc/j
<i>C<sub>p</sub></i>	Concentration en perméthrine dans les poussières sédimentées	ng/g
<i>Q</i>	Quantité de poussières ingérée	g/j
<i>P<sub>c</sub></i>	Poids corporel	kg

L'exposition par voie cutanée correspond à la quantité de substance mise quotidiennement au contact d'un organisme au niveau de son derme, sans l'avoir traversé (InVS, 2005). L'exposition cutanée à la perméthrine peut se produire par le biais d'une multitude de sources environnementales : phase gazeuse de l'air, phase particulaire de l'air, poussières sédimentées, sol, animaux domestiques traités à l'antipuce... (Fréry et al., 2013). Dans le présent travail, seules les expositions cutanées en contact avec la phase particulaire de l'air et les poussières ont pu être investiguées en raison de l'absence de données de contamination pour les autres sources.

Il n'existe pas de consensus dans la littérature sur la méthode de caractérisation de l'exposition par voie cutanée. En effet, cette voie a été jusqu'à présent très peu explorée. Des études récentes proposent néanmoins des équations permettant de calculer l'exposition par voie cutanée en contact avec l'air et les poussières (Wormuth et al., 2006 ; Bekö et al., 2013 ; Shi & Zhao, 2014). L'exposition par contact cutané avec la phase particulaire de l'air et par contact cutané avec les poussières a été calculée sur la base des méthodes proposées par Bekö et al. (2013) et Shi & Zhao, (2014), selon les équations suivantes :

#### Équation 10 : Exposition cutanée aux poussières

$$DJE_{cut_p} = \frac{fp \times Mp \times Cp \times S \times fs \times \left( \frac{Tp}{24} \right)}{P_c}$$

<i>DJE<sub>cut<sub>p</sub></sub></i>	Exposition par voie cutanée <i>via</i> les poussières sédimentées en environnement intérieur et extérieur	ng/kg pc/j
<i>fp</i>	Fraction de perméthrine contenue dans les poussières disponible pour l'exposition	-
<i>M<sub>p</sub></i>	Quantité de poussières adhérant à la peau	g/m <sup>2</sup>
<i>C<sub>p</sub></i>	Concentration en perméthrine dans les poussières sédimentées	ng/g
<i>S</i>	Surface corporelle	m <sup>2</sup>
<i>fs</i>	Fraction du corps exposée (i.e. non couverte de vêtements)	-
<i>T<sub>p</sub></i>	Temps d'exposition aux poussières	h/j
<i>P<sub>c</sub></i>	Poids corporel	kg

#### Équation 11 : Exposition cutanée via l'air

$$DJE_{cut_{ap}} = \frac{(vp \times Ci \times S \times fs \times Ti) + (vp \times Ce \times S \times fs \times Te)}{Pc}$$

$DJE_{cut_{ap}}$	Exposition par voie cutanée via la phase particulaire de l'air intérieur et extérieur	ng/kg pc/j
$vp$	Vitesse de sédimentation des particules de l'air vers la peau	m/h
$Ci$	Concentration en perméthrine dans l'air intérieur	ng/m <sup>3</sup>
$S$	Surface corporelle	m <sup>2</sup>
$fs$	Fraction du corps exposée (i.e. non couverte de vêtements)	-
$Ti$	Temps passé à l'intérieur	h/j
$Ce$	Concentration en perméthrine dans l'air extérieur	ng/m <sup>3</sup>
$Te$	Temps passé à l'extérieur	h/j
$Pc$	Poids corporel	kg

#### 4.3.4 Le modèle PBPK

Les modèles PBPK (modèle pharmacocinétique basé sur la physiologie) permettent de modéliser la cinétique des composés chimiques. Le corps est alors modélisé en plusieurs compartiments représentant des organes ou des tissus irrigués par le flux sanguin.

##### 4.3.4.1 Structure du modèle PBPK agrégé

La structure de notre modèle PBPK pour la *cis*- et *trans*-perméthrine est basée sur celle de modèles préexistants de la perméthrine (Tornero-Velez *et al.* 2010, Wei, Isukapalli, et Weisel 2013). Plusieurs compartiments du corps composent le modèle. Les organes essentiels à la toxicocinétique de la perméthrine et à l'apparition d'effets toxiques sont représentés. Le cerveau est inclus dans le modèle du fait de la neurotoxicité de la perméthrine. Le tissu adipeux est également ajouté au modèle car la perméthrine est lipophile, toutefois elle est sensible au processus de détoxification des mammifères et ne s'accumule donc pas dans le corps (Elliott *et al.* 1973, Gaughan, Unai, et Casida 1976, Soderlund *et al.* 2002). Les organes « d'entrée » de la perméthrine dans le corps sont décrits. Il s'agit des poumons, du tractus gastro-intestinal et de la peau qui correspondent respectivement aux voies d'exposition par inhalation, ingestion et contact cutané. Faute de données, nous n'avons pas pu inclure dans le modèle la voie sublinguale ni modéliser l'absorption de la perméthrine par la muqueuse buccale. Les sites de métabolisme et d'excrétion sont également présents dans le modèle. Le foie est modélisé afin de décrire le métabolisme hépatique de la perméthrine chez l'Homme. Les tissus non essentiels au processus ADME (Absorption, Distribution, Métabolisme, Excrétion) sont regroupés en 2 compartiments « modérément perfusés » et « richement perfusés », en fonction de leur affinité avec la perméthrine et de leur degré de perfusion.

Le modèle a été élaboré en utilisant le logiciel acsIX (AEGIS Technologies, le code du modèle est disponible en Annexe 7).

D'un point de vue physiologique, chaque organe ou tissu devrait être décrit par un compartiment à diffusion limitée dans un modèle PBPK. Ceux-ci sont plus proches de la réalité (présence d'un gradient de concentration dans le compartiment) et plus complexes qu'un compartiment à débit limité. Cependant, plus un modèle est complexe plus il va nécessiter de paramètres d'entrée. On décrit un organe ou des tissus par un compartiment à diffusion limitée seulement dans le cas où il a été montré que cela permettait de mieux décrire des données expérimentales. C'est la raison pour laquelle le cerveau, le tissu adipeux et les tissus modérément perfusés (ex. : muscles, os)

sont décrits comme des compartiments à diffusion limitée (Mirfazaelian *et al.* 2006, Tornero-Velez *et al.* 2012). La concentration en composé dans un compartiment  $i$  à diffusion limitée diffère entre le milieu intracellulaire (tissu) et le milieu extracellulaire (sang) et dépend de la perméabilité du tissu (Figure 9 b, Équation 12).

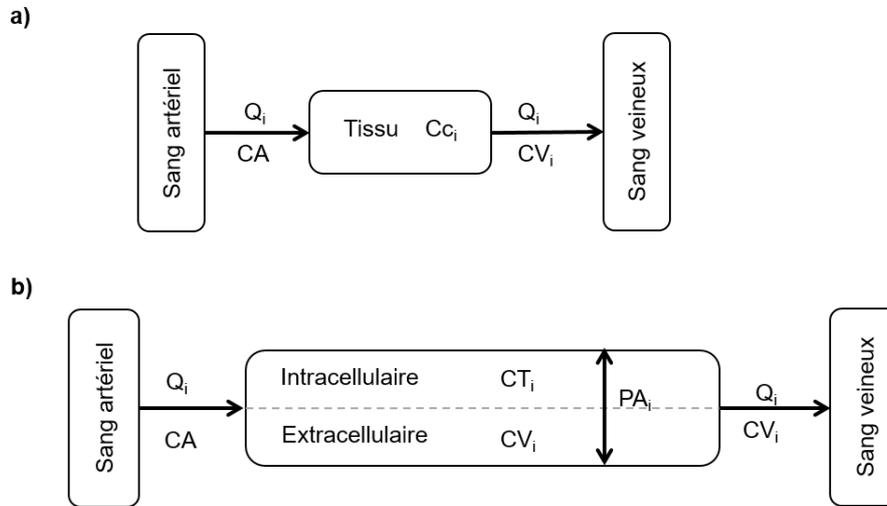


Figure 9 : Schéma d'un compartiment à débit limité (a) et d'un compartiment à diffusion limitée (b)

Équation 12 : Calcul du débit sanguin dans un compartiment à diffusion limitée

$$\frac{d AB_i}{d t} = Q_i \times (CA - CV_i) - PA_i \times \left( CV_i - \frac{CT_i}{PR_i} \right)$$

$$CV_i = \frac{AB_i}{VB_i}$$

$$\frac{d AT_i}{d t} = PA_i \times \left( CV_i - \frac{CT_i}{PR_i} \right)$$

$$CT_i = \frac{AT_i}{VT_i}$$

$$Cc_i = \frac{AB_i + AT_i}{V_i}$$

$AB_i$	Quantité dans le sang du compartiment	mol
$t$	Temps	h
$Q_i$	Débit sanguin du compartiment	l/h
$AT_i$	Concentration dans le tissu du compartiment	mol
$Cc_i$	Concentration dans le compartiment	mol/l
$CA$	Concentration dans le sang artériel	mol/l
$CV_i$	Concentration dans le sang quittant le compartiment	mol/l
$PA_i$	Perméabilité du tissu	l/h
$CT_i$	Quantité dans le tissu du compartiment	mol/l

$PR_i$	Coefficient de partage tissu:sang	-
$VB_i$	Volume de sang dans le compartiment	l
$VT_i$	Volume de tissu dans le compartiment	l

Les poumons, la peau, le foie et les tissus richement perfusés, comme le cœur ou les reins, sont décrits comme des compartiments à débit limité. Dans le modèle de (Tornero-Velez *et al.* 2012), l'exposition cutanée est représentée par 2 compartiments, le *stratum corneum* et l'épiderme viable. Les taux d'absorption, surface vers *stratum corneum* et *stratum corneum* vers épiderme viable, ont été déterminés de façon empirique par les auteurs. En raison d'un manque de justification nous avons choisi de ne considérer qu'un seul compartiment cutané comme dans l'étude de Wei, Isukapalli, et Weisel (2013). La concentration en composé, dans un compartiment  $i$  dit à débit limité, est dépendante du débit sanguin dans ce même compartiment ( $Q_i$ ) (Figure 9 a, Équation 13).

**Équation 13 : Estimation du débit sanguin dans un compartiment à débit limité**

$$\frac{d A_i}{d t} = Q_i \times (CA_i - CV_i)$$

Avec  $CC_i = \frac{A_i}{V_i}$

et  $CV_i = \frac{CC_i}{PR_i}$

$A_i$	Quantité dans le compartiment	mol
$Q_i$	Débit sanguin du compartiment	l/h
$t$	Temps	h
$CA$	Concentration dans le sang artériel	mol/l
$CV_i$	Concentration dans le sang quittant le compartiment	mol/l
$CC_i$	Concentration dans le compartiment	mol/l
$V_i$	Volume du compartiment	l
$PR_i$	Coefficient de partage entre le tissu et le sang	-

Étant donné la faible volatilité de la perméthrine, la quantité de perméthrine inhalée est considérée comme totalement absorbée et non exhalée (Wei, Isukapalli, et Weisel 2013). La concentration en perméthrine dans le sang d'un individu  $i$  quittant les poumons ( $CA_i$ , Équation 14) est décrite par la formule adaptée de celle de (Ramsey et Andersen 1984).

**Équation 14 : Estimation de la concentration sanguine en perméthrine (sortie des poumons)**

$$CA_i = \frac{PC_i \times \frac{DJE_{inh_i}}{M} + QC_i \times CV_i}{QC_i}$$

$CA_i$	Concentration artérielle en perméthrine	$\mu\text{mol/l}$
$PC_i$	Poids corporel	kg
$DJE_{inh_i}$	Exposition de perméthrine inhalée par jour	ng/kg pc/j
$CV_i$	Concentration veineuse en perméthrine	$\mu\text{mol/l}$
$QC_i$	Débit cardiaque	l/h
$M$	Masse molaire	g/mol

La quantité de perméthrine absorbée ( $ADERM$ , Équation 15) au travers de la peau est calculée pour chaque individu de la façon suivante :

**Équation 15 : Quantité de perméthrine absorbée par la peau**

$$\frac{d \text{ ADERM}_i}{d t} = PC_i \times \left( \frac{DJE_{cut_{p,i}} + DJE_{cut_{ap,i}}}{M} \right) \times DABS$$

$ADERM$	Quantité de perméthrine absorbée	$\mu\text{mol/l}$
$t$	Temps	h
$PC_i$	Poids corporel	kg
$DJE_{cut_p}$	Exposition à la perméthrine dans les poussières en contact avec la peau par jour	$\mu\text{g/kg pc/j}$
$DJE_{cut_{ap}}$	Exposition à la perméthrine dans l'air en contact avec la peau par jour	$\mu\text{g/kg pc/j}$
$DABS$	Absorption cutanée (1,5 %)	-
$M$	Masse molaire de la perméthrine	g/mol

L'estimation de l'absorption de perméthrine par voie orale (Équation 16) tient compte de l'absorption au niveau de l'estomac ( $K_s$ ), du transfert estomac:intestin ( $K_{si}$ ), de l'absorption au niveau de l'intestin ( $K_i$ ) et de l'excrétion fécale ( $K_{fec}$ ) ainsi que de la clairance dans l'intestin ( $CL_i$ ).

**Équation 16 : Absorption de la perméthrine par voie orale**

$$\frac{d AS_i}{d t} = P C_i \times \left( \frac{D J E_{-a l i m}_i + D J E_{-i n g}_i}{M} \right) - A S_i \times (K_s + K_{s i})$$

$$\frac{d A I_i}{d t} = A S_i \times K_{s i} - A I_i \times (K_i + K_{f e c})$$

$$\frac{d A G_i}{d t} = Q G I_i \times \left( C A_i - \frac{A G_i}{P R G I \times V G I_i} \right) + A S_i \times K_s + A I_i \times K_i - C L G I_i$$

$$C G I_i = \frac{A G_i}{V G I_i}$$

$$C L G I_i = C L_i \times C G I_i$$

$A S_i$	Quantité dans l'estomac	$\mu\text{mol}$
$t$	Temps	h
$D J E_{-a l i m}_i$	Exposition alimentaire à la perméthrine par jour	$\mu\text{g/kg pc/j}$
$D J E_{-i n g}_i$	Exposition à la perméthrine ingérée via les poussières par jour	$\mu\text{g/kg pc/j}$
$A I_i$	Quantité dans l'intestin	$\mu\text{mol}$
$A G_i$	Quantité dans le tractus gastro-intestinal	$\mu\text{mol}$
$V G I_i$	Volume du tissu gastro-intestinal	l
$C G I_i$	Concentration dans le tractus gastro-intestinal	$\mu\text{mol/l}$
$C L G I_i$	Clairance dans le tractus gastro-intestinal	$\mu\text{mol/j}$
$C L_i$	Clairance dans l'intestin	$\mu\text{mol/j}$
$K S_i$	Constante d'absorption dans l'estomac	$\text{j}^{-1}$
$K I_i$	Constante d'absorption dans l'intestin	$\text{j}^{-1}$
$K S_i$	Constante de transfert estomac-intestin	$\text{j}^{-1}$
$K_{f e c}_i$	Constante d'excrétion fécale du composé parent	$\text{j}^{-1}$
$M$	Masse molaire de la perméthrine	$\text{g/mol}$
$P C_i$	Poids corporel	kg

Le métabolisme hépatique de la perméthrine est calculé à l'aide de l'équation de Michaelis-Menten (Équation 17).

**Équation 17 : Métabolisme hépatique de la perméthrine**

$$RHEP_i = \frac{V_{\max_i} \times CVF_i}{K_m + CVF_i}$$

<i>RHEP</i>	Métabolisme hépatique	μmol/j
<i>CVF</i>	Concentration veineuse dans le foie	μmol/l
<i>V<sub>max</sub></i>	Vitesse maximale de la réaction	μmol/j
<i>K<sub>m</sub></i>	Constante de Michaelis	μmol/l

Le compartiment « Excrétion » correspond à un modèle mono-compartmental. Il permet de modéliser l'excrétion urinaire de DCCA à la suite d'expositions à la perméthrine. Le taux d'excrétion de DCCA est calculé de la façon suivante (Équation 18) :

**Équation 18 : Taux d'excrétion urinaire du DCCA**

$$\frac{d ADCCA_i}{d t} = \frac{V_{\max_i} \times CVF_i}{K_m + CVF_i} - Kel \times ADCCA_i$$

$$REXCR_i = Kel \times ADCCA_i$$

$$REXCR_{crea_i} = \frac{M_{DCCA} \times REXCR_i}{CREA_i}$$

<i>ADCCA</i>	Quantité de DCCA formée	μmol
<i>CVF</i>	Concentration veineuse dans le foie	μmol/l
<i>V<sub>max</sub></i>	Vitesse maximale de la réaction	μmol/j
<i>K<sub>m</sub></i>	Constante de Michaelis	μmol/l
<i>Kel</i>	Constante d'élimination urinaire de DCCA	1/j
<i>REXCR</i>	Taux d'excrétion urinaire de DCCA	μmol/j
<i>REXCR<sub>crea</sub></i>	Concentration en DCCA dans les urines de 24h <sup>7</sup>	μg g <sup>cr</sup> /j
<i>CREA</i>	Créatininurie	g/j
<i>M<sub>DCCA</sub></i>	Masse molaire du DCCA	g/mol

La Figure 10 représente les compartiments, les voies d'exposition et d'élimination tels que considérés dans le modèle PBPK.

La créatininurie de 24 h<sup>8</sup> est estimée individuellement à partir de la concentration en créatinine quantifiée dans les prélèvements d'urines réalisés lors de l'ENNS. On estime qu'une personne urine en moyenne 1,5 l par jour. La créatininurie de 24h est donc estimée en multipliant la concentration quantifiée par 1,5 l/j.

<sup>7</sup> Au lever la totalité de la vessie est vidée. Les urines sont recueillies tout au long des 24h suivantes.

<sup>8</sup> Concentration en créatinine dans les urines de 24 h.

Lors de nos simulations, les individus sont exposés chaque jour aux mêmes doses de perméthrine, estimées pour chaque source et voie d'exposition. À  $t_0$  l'individu est exposé à la première dose, l'état d'équilibre est atteint au bout d'environ 7 jours d'exposition. Nous avons choisi d'effectuer la simulation sur 10 jours de façon à calculer la concentration urinaire en métabolites à l'équilibre. La valeur retenue est la dernière calculée lors de la simulation.

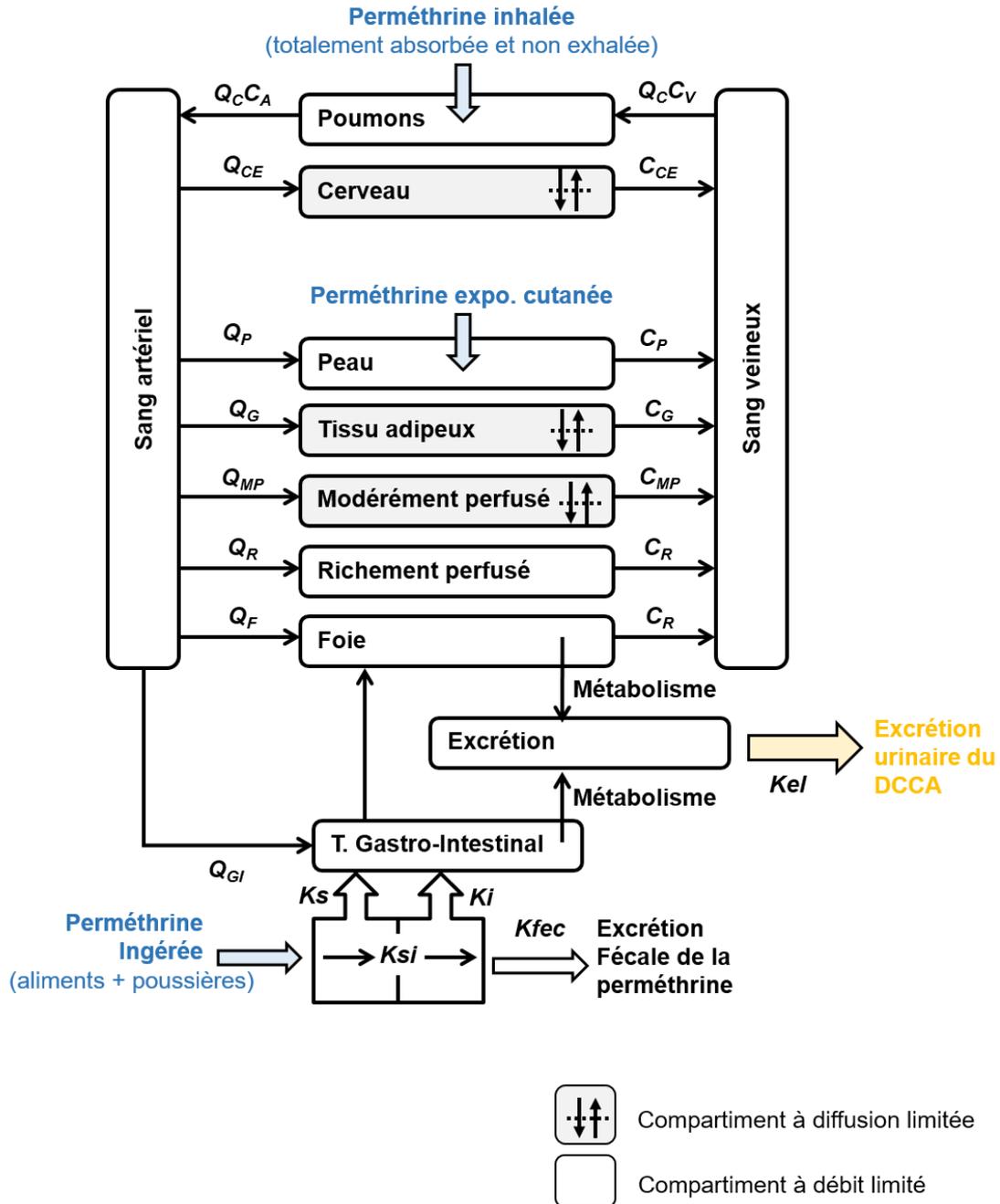


Figure 10 : Modèle PBPK de la perméthrine, exposition agrégée chez l'Homme

#### 4.3.4.2 Paramètres du modèle PBPK

Les paramètres anatomiques, les débits sanguins et le volume des compartiments proviennent de l'étude de (Brown *et al.* 1997) et sont résumés dans la Table 13. Le présent travail est effectué sur

un échantillon de 219 individus (valeurs d'imprégnation quantifiables dans l'effectif de 396 individus). Afin de maintenir la variabilité de ces individus, nous avons choisi d'adapter le modèle PBPK à chacun d'entre eux<sup>9</sup>. Pour cela, nous avons utilisé l'âge, le sexe, l'IMC et le poids corporel de chaque individu afin de calculer le volume des compartiments exprimé en fraction du poids corporel (Annexe 7), grâce aux formules établies par (Deurenberg, Weststrate, et Seidell 1991).

**Table 13 : Paramètres physiologiques moyens utilisés dans le modèle PBPK de la perméthrine chez l'Homme (Brown et al. 1997)**

Paramètres	Homme	Femme
Débit cardiaque ( $QC$ , l/h/kg <sup>0,75</sup> )	15,3	15,3
<i>Volume relatif des tissus (% du poids corporel)</i>		
Cerveau ( $KVCE$ )	2	2
Tissus adipeux ( $KVG$ )	21,4	21,4
Peau ( $KVSK$ )	3,7	3,7
Foie ( $KVF$ )	2,6	2,6
Tractus gastro-intestinal ( $KVGI$ )	1,7	1,7
Tissus richement perfusés ( $KVR$ )	9,6	9,6
Tissus modérément perfusés ( $KVMP$ )	59	59
<i>Débit sanguin dans le compartiment (% du débit cardiaque)</i>		
Cerveau ( $KQCE$ )	12	12
Tissus adipeux ( $KQG$ )	5	8,5
Peau ( $KQSK$ )	5	5
Artère hépatique ( $KQF$ , Foie)	6	6
Veine porte ( $KQGI$ , tractus gastro-intestinal)	19	21
Tissus modérément perfusés ( $KQMP$ )	27,5	22,5
Tissus richement perfusés ( $KQR$ )	25,5	25
<i>Volume de sang dans le compartiment (% du tissu)</i>		
Tissus adipeux ( $FVBG$ )	2 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>
Tissus modérément perfusés ( $FVBMP$ )	1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>
Cerveau ( $FVBCE$ )	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>(Tornerio-Velez et al. 2012)

Les coefficients de partage et de perméabilité sont principalement issus de (Tornerio-Velez et al. 2012), de même que les constantes de cinétiques propres à la perméthrine et au DCCA. Les auteurs n'ayant pas renseigné le coefficient de partage tractus gastro-intestinal(GI):sang, par analogie structurale, les coefficients de partage de la deltaméthrine rapportés par (Mirfazaelian et al. 2006) ont été utilisés. Du fait des modifications apportées au modèle, nous avons utilisé le coefficient de partage peau:sang issu du modèle de (Wei, Isukapalli, et Weisel 2013), dans lequel

<sup>9</sup> Classiquement cette modélisation est faite sur un homme de 70 kg

la peau est décrite par un compartiment à débit limité. La perméthrine comme l'ensemble des pyréthrinoïdes est très faiblement absorbée par la peau des mammifères, l'absorption cutanée est estimée à 1,5 % de la dose disponible au contact de la peau (Wei, Isukapalli, et Weisel 2013) (Table 14). Étant donné la faible liaison de la perméthrine aux protéines plasmatiques, celle-ci a été négligée (Wei, Isukapalli, et Weisel 2013), (Tornero-Velez *et al.* 2012).

**Table 14 : Paramètres du modèle PBPK propres à la perméthrine**

Paramètres	<i>cis</i> -perméthrine	<i>trans</i> -perméthrine
Masse molaire ( <i>M</i> , g/mol)	391,3	391,3
<i>Coefficients de partage (tissus:sang)</i>		
Cerveau ( <i>PRCE</i> )	1,5	0,4
Tissu adipeux ( <i>PRG</i> )	150	50
Peau ( <i>PRSK</i> )	5,6 <sup>a</sup>	5,6 <sup>a</sup>
Foie ( <i>PRF</i> )	0,44	0,44
Tractus gastro-intestinal ( <i>PRGI</i> )	0,44 <sup>b</sup>	0,44 <sup>b</sup>
Tissus richement perfusés	0,44	0,44
Tissus modérément perfusés	5,59	5,59
<i>Coefficient de perméabilité (l/h)</i>		
Tissus adipeux ( <i>PAG</i> )	2,4	2,4
Cerveau ( <i>PACE</i> )	0,072	0,072
Tissus modérément perfusés ( <i>PAMP</i> )	16,8	16,8
<i>Constantes de cinétiques avant calibrage</i>		
Absorption dans l'estomac ( <i>K<sub>s</sub></i> , h <sup>-1</sup> )	0,01	0,01
Absorption dans l'intestin ( <i>K<sub>i</sub></i> , h <sup>-1</sup> )	0,9	0,9
Taux de transfert estomac intestin ( <i>K<sub>si</sub></i> , h <sup>-1</sup> )	0,7	0,7
Excrétion fécale ( <i>K<sub>fec</sub></i> , h <sup>-1</sup> )	0,59	0,59
Absorption cutanée (% de la dose disponible)	1,5 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>
Clairance intestinale ( <i>CL<sub>i</sub></i> , l/h)	0	0,78
<i>K<sub>m</sub></i> (μmol/l)	42 <sup>c</sup>	138 <sup>c</sup>
<i>V<sub>max</sub></i> (μmol/kg pc/h)	65 <sup>c</sup>	552 <sup>c</sup>
Paramètres	<i>cis</i> -DCCA	<i>trans</i> -DCCA
Masse molaire ( <i>M</i> , g/mol)	209,1	209,1
Excrétion urinaire ( <i>K<sub>el</sub></i> , h <sup>-1</sup> )	0,06	0,06
<i>K<sub>m</sub></i> (μmol/l)	36 <sup>b</sup>	36 <sup>b</sup>
<i>V<sub>max</sub></i> (μmol/kg pc/h)	43 <sup>b</sup>	133 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> (Wei, Isukapalli, et Weisel 2013), <sup>b</sup> (Mirfazaelian *et al.* 2006), <sup>c</sup> (Willemin *et al.* 2015)

Les données de métabolisme hépatique de la perméthrine proviennent d'une étude *in vitro* dans laquelle les paramètres de Michaelis-Menten, constante de Michaelis (*K<sub>m</sub>*) et vitesse maximale

( $V_{max}$ ) ont été évaluées à partir d'incubations d'hépatocytes primaires humains cryopréservés avec de la *cis*- ou *trans*-perméthrine à différentes concentrations (Willemin *et al.* 2015) (Table 14). Un ratio de 2,6 est observé entre la clairance ( $V_{max}/K_m$ ) de la *cis*-perméthrine et de la *trans*-perméthrine, ce résultat est bien inférieur à celui observé dans une précédente étude (ratio de 12) réalisée sur des microsomes humains (Scollon *et al.* 2009). De plus, la clairance estimée dans cette étude sur hépatocytes est plus faible que celle calculée sur microsomes humains (1,6 l/h/kg pc vs 3,1 l/h/kg pc pour la *cis*-perméthrine et 4 l/h/kg pc vs 38,2 l/h/kg pc pour la *trans*-perméthrine). Ceci souligne l'importance d'utiliser des données de cinétiques basées sur l'étude réalisée sur des hépatocytes de donneurs humains. (Willemin *et al.* 2015) ont également étudié l'interaction entre les 2 isomères du point de vue de leur cinétique. Un mélange de *cis*- et *trans*-perméthrine (40:60) a été utilisé ne montrant aucune différence sur la cinétique des composés parents (perméthrine) ou des métabolites (DCCA et 3-PBA) en comparaison avec l'incubation des isomères séparés.

Le modèle, une fois construit, permet de calculer la concentration en *cis*- et *trans*-DCCA dans les urines de 24h des individus de l'échantillon considéré. Cette concentration est calculée selon 3 scénarios d'exposition agrégée, résultant des 3 scénarios d'exposition alimentaire (« bas », « haut » et « intermédiaire »). La programmation informatique du modèle sous acsIX est présentée en Annexe 7.

#### 4.3.5 Statistiques de description et multivariées

Le plan et les poids de sondage de l'ENNS ont été pris en compte dans les analyses afin d'obtenir des estimations pour la population adulte résidant en France métropolitaine en 2006-2007. La consommation alimentaire de la population est décrite selon le sexe, l'âge la période de recrutement dans l'étude et selon deux variables géographiques. Ces dernières ont été construites selon un découpage en deux de la France. Tout d'abord les régions du Nord de la France vs les régions du Sud, et les régions de l'Ouest de la France vs les régions de l'Est. Chacune des régions administratives, à l'exception de l'Ile-de France, a été classée. La répartition Nord/Sud a été faite de la façon suivante :

- Nord : Nord, Picardie, Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche-Comté, Bourgogne, Centre, Haute-Normandie, Basse-Normandie, Bretagne et Pays de la Loire ;
- Sud : Poitou-Charentes, Limousin, Auvergne, Rhône-Alpes, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées, et Aquitaine.

La répartition Est/Ouest a été construite ainsi :

- Est : Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Franche-Comté, Bourgogne, Auvergne, Rhône-Alpes, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon ;
- Ouest : Nord, Picardie, Centre, Haute-Normandie, Basse-Normandie, Bretagne et Pays de la Loire, Poitou-Charentes, Limousin, Midi-Pyrénées, et Aquitaine

Les expositions ont d'abord été décrites selon leur amplitude (valeurs minimales et maximales), leur dispersion (centiles à 25% et 95%) et leur tendance centrale (médianes, moyennes). Les niveaux d'exposition sont ensuite exprimés selon certaines caractéristiques démographiques (sexe et âge), sociales (PCS) et physiologiques (IMC) de la population. Les niveaux d'exposition ont été comparés en fonction des caractéristiques socio-démographiques et physiologiques de la population à l'aide du test de Wald ajusté. Une correction de Bonferroni a été appliquée pour prendre en compte la multiplicité des tests.

#### 4.3.5.1 Analyse de sensibilité

##### 4.3.5.1.1 *Sur les données de contamination*

L'analyse de sensibilité globale permet d'étudier comment la variabilité des paramètres d'entrée du modèle impacte la variabilité de la variable de sortie (Jacques, 2005). Dans le présent travail, cela revient à étudier l'impact des variables d'entrée (niveaux de contamination, paramètres humains, budget espace-temps) sur les expositions obtenues (Équation 8 à Équation 11). L'analyse de sensibilité permet d'identifier les variables d'entrée les plus sensibles.

Dans une première approche, les valeurs des paramètres d'entrée des modèles ont été modifiées l'une après l'autre. Ainsi, les hypothèses formulées sur la distribution des niveaux de contamination ( $C_i$ ,  $C_e$  et  $C_p$ ), les méthodes employées pour le calcul des paramètres individuels ( $V_r$ ,  $S$  et  $T_i$ ) et les valeurs appliquées aux paramètres ( $Q$ ,  $f_p$ ,  $f_s$ ,  $M_p$ ,  $v_p$  et  $T_p$ ) ont été modifiées selon les modalités détaillées en Annexe 10. D'abord, les distributions empiriques initialement attribuées aux données de contamination de l'air intérieur et des poussières ont été remplacées par des distributions théoriques. Dans un premier temps, des distributions log-normales de loi  $L_n$  ( $\mu = 0,01 \text{ ng/m}^3$  ;  $\sigma = 0,03 \text{ ng/m}^3$ ) et  $L_n$  ( $\mu = 0,16 \text{ } \mu\text{g/g}$  ;  $\sigma = 1,28 \text{ } \mu\text{g/g}$ ) ont été respectivement attribuées aux données de contamination de l'air intérieur et des poussières. Dans un second temps, des distributions gamma de loi  $\Gamma$  ( $\mu = 0,07 \text{ ng/m}^3$  ;  $\sigma = 0,17 \text{ ng/m}^3$ ) et  $\Gamma$  ( $\mu = 4,31 \text{ } \mu\text{g/g}$  ;  $\sigma = 6,18 \text{ } \mu\text{g/g}$ ) ont été respectivement attribuées aux données de contamination de l'air intérieur et des poussières. De même, la distribution log-normale initialement attribuée aux données de contamination de l'air extérieur a été remplacée par des distributions plus aplaties et symétriques (une distribution normale de loi  $N$  ( $\mu = 0,23$ ;  $\sigma = 0,06$ ) et une distribution triangulaire de loi notée  $T$  ( $\text{min} = 0$  ;  $M = 0,071$  ;  $\text{max} = 0,465$ ), où  $\text{min}$ ,  $M$  et  $\text{max}$  sont la valeur minimale, le mode et la valeur maximale de la distribution respectivement). Ensuite, des distributions triangulaires ont été attribuées à certains paramètres provenant de la littérature ( $Q$ ,  $f_p$ ,  $M_p$  et  $T_p$ ), afin d'introduire de la variabilité. Une valeur alternative a été appliquée à d'autres paramètres pour lesquels une valeur maximale avait été choisie parmi plusieurs valeurs disponibles dans la littérature ( $f_s$ ,  $v_p$ ). Par exemple, un scénario « hiver », considérant que seules la tête et les mains étaient exposées, a été appliqué au paramètre  $f_s$  à la place du scénario « été ». Enfin, d'autres équations et/ou paramètres de calcul du volume respiratoire, de la surface corporelle et du temps passé à l'intérieur ont été explorés, notamment ceux proposés par l'EFH de l'US-EPA (2011). Les expositions ont été recalculées après chaque modification et mises au regard des expositions initiales.

Dans une seconde approche, les corrélations entre les variables d'entrée et les variables de sortie ont été analysées à l'aide du test de corrélation des rangs de Spearman. Ce test non-paramétrique a été utilisé en raison de la non-normalité des distributions et de l'absence d'hypothèse sur les relations attendues entre les variables d'entrée et de sortie. Une forte corrélation indique que la variabilité du paramètre d'entrée considéré possède un impact important sur la variabilité du paramètre de sortie (Jacques, 2005). La valeur absolue du coefficient de corrélation des rangs de Spearman ( $r_s$ ) forme un indice de sensibilité (Jacques, 2005). Plus  $r_s$  est proche de 1, plus le paramètre d'entrée contribue fortement à la variabilité de la sortie. Une correction de Bonferroni a été appliquée pour prendre en compte la multiplicité des tests. Il est important de noter que le test de corrélation des rangs de Spearman ne peut pas s'appliquer aux paramètres provenant de la littérature comme  $Q$ ,  $f_p$ ,  $M_p$ ,  $v_p$  et  $T_p$ , car il n'est pas possible d'attribuer des rangs en l'absence de variabilité.

##### 4.3.5.1.2 *Sur le modèle PBPK*

Une analyse de sensibilité a été réalisée afin d'évaluer de façon quantitative l'influence de chaque paramètre du modèle sur la prédiction du taux d'excrétion urinaire de DCCA. Si l'analyse de

sensibilité indique qu'un changement mineur<sup>10</sup> de la valeur d'un paramètre conduit à une variation de la prédiction du taux de DCCA inférieure à la variation attendue provenant des mesures expérimentales, alors le modèle est considéré comme fiable. A l'inverse, si la prédiction du taux de DCCA par le modèle n'est pas sensible à de grandes variations dans les paramètres, alors le modèle peut être remis en question car la simulation ne dépendrait pas des paramètres d'entrée.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit trois niveaux de sensibilité d'un paramètre : peu sensible si le coefficient de l'analyse de sensibilité est compris entre |0,1| et |0,2|, modérément sensible s'il est compris entre |0,2| et |0,5| et fortement sensible s'il est supérieur à |0,5| (WHO 2010). Si la valeur du coefficient est inférieure à |0,1|, l'OMS indique qu'il n'est pas nécessaire d'en faire mention.

#### 4.3.5.2 Estimation des paramètres sensibles, calibrage

L'objectif du calibrage est d'améliorer la prédiction du modèle de manière à décrire le mieux possible les données expérimentales. Pour cela, l'ajustement d'un ou plusieurs paramètres, identifiés comme étant le ou les plus sensibles, est réalisé en utilisant le maximum de vraisemblance. Le calibrage des paramètres est réalisé à partir des données brutes fournies par (Ratelle, Côté, et Bouchard 2015). Dans cette étude cinétique, une dose connue de perméthrine (0,1 mg/kg pc, ratio *cis:trans* 40:60) a été administrée à six volontaires sains, trois hommes et trois femmes, par voie orale. Les caractéristiques anthropométriques de ces individus sont décrites dans la Table 15. L'excrétion urinaire des métabolites de la perméthrine a été mesurée jusqu'à 84h après administration.

**Table 15 : Description des caractéristiques anthropométriques disponibles des 6 volontaires de l'étude**

	<b>Hommes</b>	<b>Femmes</b>
	(min - max)	(min - max)
Âge (an)	24 - 37	31 - 36
Poids (kg)	78 - 95	54 - 70
Taille (cm)	176 - 190	162 - 176

#### 4.3.5.3 Logiciels utilisés

La manipulation des bases de données et l'élaboration des recettes ont été réalisées avec le logiciel SAS 9.3 (SAS Institute, Cary NC). Les données de contaminations ont été traitées à l'aide du logiciel Excel (version 2007, Microsoft Office Excel SP3 MSO, Microsoft Corporation), avec notamment l'utilisation du complément @risk (version 5.0, copyright 2008, Palissade Corporation) pour la reconstruction des distributions. Le logiciel R (version 3.1.0, copyright 2014, The R Foundation for Statistical Computing) a été utilisé pour le calcul des paramètres individuels, des expositions, ainsi que pour l'analyse de sensibilité et les représentations graphiques. Le package « Survey » du logiciel R a été utilisé pour tenir compte du plan et des poids de sondage dans les analyses descriptives afin que les résultats soient représentatifs de la population générale adulte. Certaines analyses descriptives ont été effectuées avec Stata 12 (StataCorp. 2011. *Stata Statistical Software: Release 12*. College Station, TX: StataCorp LP). Le modèle PBPK a été programmé sous le logiciel acsIX™ (AEGis technologies).

<sup>10</sup> C'est-à-dire inférieur à la variabilité habituelle mesurée de ce paramètre



## 5 Résultats

### 5.1 Présentation de la population

Les descriptions présentées ci-dessous sont en partie issues du rapport de l'ENNS (Fréry 2013). Elles ont été réalisées sur les données pondérées. L'effectif des échantillons est également présenté dans les tableaux.

#### 5.1.1 Caractéristiques anthropométriques et sociodémographiques

L'âge moyen de la population est de 45 ans [43 ; 47]. Les 25<sup>ème</sup>, 50<sup>ème</sup>, 75<sup>ème</sup> et 95<sup>ème</sup> centiles sont respectivement de 33, 45, 56 et 70 ans. La répartition de la population en 3 classes d'âge est présentée dans la Table 16. La corpulence de la population est représentée par l'IMC. D'après la Table 17, 50% de la population a une corpulence normale alors que 45% présente un surpoids ou une obésité.

**Table 16 : Proportion de la population par classes d'âge**

Âge	n (échantillon)	% (population)	Écart-type du %
18-34 ans	77	26,3	2,5
35-54 ans	188	45	2,6
55-74 ans	131	28,7	2,6

De plus la population de l'étude semble répartie de manière homogène entre une zone qualifiée de rurale (« bourg ou village » + « habitat dispersé ») et une zone plutôt urbaine (« centre-ville » + « quartier périphérique »)(cf. Table 17).

La Table 18 montre que la distribution des professions et catégories socioprofessionnelles est proche de celle observée par (INSEE 2006), cependant les « professions intermédiaires », les « employés » et les « ouvriers » semblent surreprésentés à celle-ci avec respectivement (% 18,8 vs. 13,6 ; 22,7 vs. 16,7 ; 19,9 vs. 14), et d'autres comme les « retraités » et les « inactifs » semblent sous-représentés (% 19,3 vs. 25,2 ; 8,4 vs. 17,9).

**Table 17 : Caractéristiques démographiques de la population adultes ENNS (Fréry 2013) (1)**

Caractéristiques	n (échantillon)	% (population)	ET du %
<i>Sexe</i>			
Masculin	139	49,2	3,1
Féminin	257	50,8	3,1
<i>IMC</i>			
Maigre (IMC ≤ 18,5)	17	5,4	1,7
Normal (18,5 < IMC ≤ 25)	201	50,0	3,4
Surpoids 25 < IMC ≤ 30	121	28,9	3,1
Obèse (IMC > 30)	57	15,7	2,4
<i>Grandes régions</i>			
Ile de France	42	16,0	1,5
Nord, Picardie, Basse Normandie, Haute Normandie	55	17,2	2,7
Bretagne, Pays de La Loire, Poitou-Charentes	52	18,1	3,0
Centre, Bourgogne, Limousin, Auvergne	41	10,8	1,6
Aquitaine, Midi-Pyrénées	59	8,4	2,4
Languedoc-Roussillon, PACA*	53	9,3	0,9
Rhône-Alpes, Franche Comté	53	12,9	1,2
Lorraine, Alsace, Champagne-Ardenne	41	7,4	1,6
<i>Taille des communes</i>			
Communes rurales	95	23,6	2,9
Communes de moins de 20 000 habitants	62	23,3	3,0
Communes de 20 000 à 100 000 habitants	56	10,6	1,2
Communes de plus de 100 000 habitants	147	28,7	2,7
Ville de Paris	36	13,7	1,4
<i>Situation de la résidence</i>			
Centre-ville	85	19,6	2,3
Quartier périphérique	118	31,4	2,9
Bourg ou village	142	38,4	3,0
Habitat dispersé	51	10,7	2,0
Ensemble	396	100	-

**Table 18 : Caractéristiques démographiques de la population adultes ENNS (Fréry 2013) (2)**

Caractéristiques	n (échantillon)	% (population)	ET du %
<i>Diplômes</i>			
Aucun certificat ou certificat d'études primaires	61	30,8	3,0
CAP-BEP-BEPC	129	35,4	2,9
Bac, Brevet pro, Bac+2	119	24,0	2,2
Bac+3 et plus	87	9,8	1,0
<i>Profession et Catégorie Socioprofessionnelle</i>			
Exploitants / agriculteurs	4	0,9	0,5
Artisans / commerçants	8	2,0	0,9
Cadres	52	7,9	1,0
Professions intermédiaires	77	18,8	2,4
Employés	109	22,7	2,1
Ouvriers	47	19,9	3,1
Retraités	81	19,3	2,1
Autres	18	8,4	2,0
<i>Situation professionnelle</i>			
Étudiant / actif	255	67,3	2,6
Chômeur / inactif / invalide	38	8,2	1,8
Retraité	81	19,3	2,1
Femme / homme au foyer	22	5,2	1,2
<i>Situation matrimoniale</i>			
Célibataire	54	17,5	2,3
En couple (marié ou non)	288	74,1	2,5
Veuf(ve) / divorcé(e) / ou séparé(e)	54	8,4	1,5
Ensemble	396	100	-

### 5.1.2 Description des usages des pesticides dans la population

Des items spécifiques à l'utilisation de certains pesticides ont été ajoutés au questionnaire. Ils ont fourni des informations concernant l'usage d'antipuce (38,3%), l'usage d'insecticides contre les cafards/rampants (36,2%), contre les volants (35,0%) sous forme de diffuseur et contre les mites (30,2%).

De plus, 25,4% de la population appliquent des produits phytopharmaceutiques sur leurs plantes d'extérieur et notamment 7,7% dans leur potager, 18% dans leur jardin et 10,6% sur leurs arbres fruitiers. Seulement 4,7% de la population emploient des pesticides sur leurs plantes d'intérieur.

## 5.2 Description des consommations alimentaires de la population

Les consommations moyennes individuelles ont été calculées à partir des 396 adultes de l'échantillon, incluant les sous-déclarants comme le recommande l'EFSA (EFSA 2009). Globalement les tendances de consommation sont proches de celles décrites dans l'étude Individuelle et Nationale des Consommations Alimentaires 2 menée par l'AFSSA en 2006-2007 (AFSSA 2009).

### 5.2.1 Consommation des groupes d'aliments selon le sexe et l'âge

La population adulte consomme en moyenne 2814 g/j (IC95% [2723 ; 2906]) d'aliments et de boissons, dont 58% sous forme liquide. Les 5 aliments les plus contributeurs à cette ration journalière sont : l'eau (33%), le café (8%), les fruits (5,5%), les légumes (5,3%) et les boissons fraîches sans alcool (5,2%).

Les aliments consommés par plus de 80% de la population sont considérés comme faisant partie de l'alimentation courante et appartiennent aux groupes suivants : compotes et fruits cuits, eaux, pain et panification sèche, légumes (hors pomme de terre), sucre et dérivés, huile, fromages et café.

#### 5.2.1.1 Consommation alimentaire selon le sexe

Certains comportements alimentaires diffèrent selon le sexe (cf. Table 19, Table 20, Table 21). Tout d'abord les hommes consomment significativement plus, avec en moyenne 2963 g/j (IC95% [2860 ; 3067]) d'aliments et boissons contre 2673 g/j (IC95% [2536 ; 2810]) pour les femmes ( $p = 0,0005$ ). La contribution des groupes d'aliments n'est pas la même en fonction du sexe, sauf pour l'eau et le café qui restent les groupes les plus contributeurs à la ration journalière moyenne pour chacun des deux sexes. Les 3 groupes d'aliments les plus contributeurs pour les hommes sont : les boissons alcoolisées (6,9%), les boissons fraîches sans alcool (6,2%) et les fruits (5,1%) alors que chez les femmes ce sont les autres boissons chaudes (7,8%), les fruits (6%) et les légumes (5,8%).

Les hommes ainsi que les femmes consomment préférentiellement des aliments issus des groupes condiments et sauces, pain et panification sèche, eaux, sucre et dérivés, légumes. Les hommes consomment de préférence du café et de la charcuterie alors que les fromages, les huiles, les ultra-frais laitiers et les fruits font plus souvent partie de l'alimentation courante des femmes.

#### 5.2.1.2 Consommation alimentaire selon l'âge

La consommation moyenne journalière varie significativement avec l'âge. Les adultes de 18 à 34 ans ingèrent en moyenne 2739 g/j (IC95% [2546 ; 2931]) d'aliments et de boissons, les adultes de 35 à 54 ans 2951 g/j (IC95% [2812 ; 3090]) et les adultes de 55 ans et plus 2670 g/j (IC95% [2510 ; 2829]) ( $p = 0,02$ ) (cf. Annexe 8).

Les groupes d'aliments consommés ainsi que leur contribution à l'alimentation totale diffèrent peu selon la classe d'âge. L'eau reste le contributeur principal à la ration journalière (cf. Figure 11) quelle que soit la classe d'âge. La consommation du groupe « soupes et bouillons » est plus importante chez les 55 ans et plus, tandis que la consommation des boissons fraîches sans alcool est plus importante chez les 18-34 ans.

Table 19 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon le sexe (1)

Groupes d'aliments	Hommes			Femmes			Ensemble		
	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%
Pains et panifications sèches	98,5 %	129,4	[111,5 ; 147,4]	97 %	82,9***	[76,4 ; 89,4]	97,8%	105,6	[95,7 ; 115,4]
Céréales pour petit déjeuner	9,9 %	2,5	[1,2 ; 3,9]	10,9 %	2,4	[1,6 ; 3,2]	10,4%	2,5	[1,7 ; 3,2]
Pâtes	57,1 %	51,6	[40,2 ; 63]	52,9 %	30,2***	[24,7 ; 35,8]	54,9%	40,7	[33,9 ; 47,4]
Riz et blés durs ou concassés	50,7 %	31,6	[25,3 ; 38]	44,6 %	21,3**	[16,9 ; 25,7]	47,6%	26,3	[22,4 ; 30,2]
Autres céréales	3,7 %	0,4	[0,1 ; 0,6]	6,2 %	0,4	[0,1 ; 0,7]	5%	0,4	[0,2 ; 0,6]
Viennoiseries	39,1 %	16,2	[11,5 ; 20,8]	40,3 %	10,2**	[8,1 ; 12,3]	39,8%	13,1	[10,5 ; 15,7]
Biscuits sucrés ou salés et barres	42,9 %	10,5	[5,9 ; 15,1]	40,9 %	6,9	[5,4 ; 8,4]	41,9%	8,7	[6,3 ; 11]
Pâtisseries et gâteaux	46 %	33,5	[22,7 ; 44,3]	54,7 %	29,6	[23,6 ; 35,6]	50,5%	31,5	[25,9 ; 37]
Laits	60,1 %	99,8	[80,1 ; 119,5]	54,6 %	79,9	[62,8 ; 96,9]	57,3%	89,6	[77,6 ; 101,5]
Ultra-frais laitiers	68,8 %	70,6	[57,9 ; 83,3]	83,1 %	89,9	[75 ; 104,8]	76,1%	80,5	[70,9 ; 90,1]
Fromages	78,3 %	39,3	[33,6 ; 45]	84,6 %	28,8**	[25,6 ; 32,1]	81,5%	34,0	[30,3 ; 37,6]
Œufs et dérivés	43,1 %	13,0	[9 ; 17]	46,4 %	11,4	[8 ; 14,8]	44,8%	12,2	[9,6 ; 14,8]
Beurres	66,7 %	8,0	[6,3 ; 9,7]	70,8 %	6,4	[5,2 ; 7,6]	68,8%	7,2	[6,1 ; 8,2]
Huiles	75,3 %	5,4	[4,2 ; 6,5]	87,8 %	6,5	[5,6 ; 7,4]	81,7%	6,0	[5,2 ; 6,7]
Margarines	20 %	3,0	[1,6 ; 4,3]	37,9 %	2,3	[1,6 ; 3]	29,2%	2,6	[1,8 ; 3,4]
Autres graisses	4,5 %	0,2	[0 ; 0,5]	2,7 %	0,0	[0 ; 0,1]	3,5%	0,1	[0 ; 0,3]
Viandes	79,4 %	76,7	[67,8 ; 85,7]	74,1 %	49,5***	[42,3 ; 56,6]	76,7%	62,7	[57 ; 68,4]
Volailles et gibiers	39,5 %	26,1	[20,6 ; 31,6]	58 %	46,1	[27,2 ; 65,1]	49%	36,4	[26,3 ; 46,5]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; TC : taux de consommation ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 20 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon le sexe (2)

Groupes d'aliments	Hommes			Femmes			Ensemble		
	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%
Abats	10,7 %	3,5	[1,4 ; 5,6]	8,9 %	2,5	[1,2 ; 3,8]	9,8%	3,0	[1,7 ; 4,3]
Charcuteries	81,8 %	45,4	[38,6 ; 52,1]	72,9 %	28,4***	[23,4 ; 33,4]	77,3%	36,7	[32,2 ; 41,1]
Poissons	40,7 %	21,7	[15,8 ; 27,5]	49,3 %	24,6	[18,9 ; 30,2]	45,1%	23,2	[19,3 ; 27]
Crustacés et mollusques	19 %	17,7	[5,3 ; 30,1]	13,9 %	7,2	[4,2 ; 10,2]	16,4%	12,3	[5,6 ; 19]
Légumes (hors pommes de terre)	91,5 %	143,0	[123,8 ; 162,2]	96,3 %	153,9	[138,5 ; 169,3]	94%	148,6	[136,2 ; 161]
Pommes de terre et apparentés	70,6 %	65,9	[48,3 ; 83,4]	64,6 %	48,1	[38,4 ; 57,9]	67,5%	56,8	[46,8 ; 66,7]
Légumes secs	10,7 %	9,9	[3,1 ; 16,6]	17,3 %	8,4	[4,1 ; 12,7]	14,1%	9,1	[5,1 ; 13,1]
Fruits	81,3 %	150,4	[119,8 ; 180,9]	81,3 %	178,5	[140,6 ; 178,5]	74,1%	155,1	[138,1 ; 172,1]
Fruits secs et graines oléagineuses	25,6 %	2,9	[1,7 ; 4,2]	25,6 %	5,9	[1 ; 5,9]	23,3%	3,2	[1,8 ; 4,6]
Glaces et desserts glacés	20,6 %	9,1	[6,1 ; 12,1]	20,6 %	15,1	[6,8 ; 15,1]	20,3%	10,0	[7,7 ; 12,4]
Chocolats	52,2 %	6,8	[5,3 ; 8,2]	52,2 %	10,7	[5 ; 10,7]	48,9%	7,3	[5,7 ; 9]
Sucres et dérivés	85,7 %	25,1	[20 ; 30,2]	85,7 %	18,4**	[14 ; 18,4]	89%	20,5	[17,9 ; 23,1]
Eaux	99,1 %	931	[816,3 ; 1045,7]	99,1 %	997,1	[842,8 ; 997,1]	98,5%	925,3	[857 ; 993,7]
Boissons fraîches sans alcool	70 %	183,4	[109,3 ; 257,5]	70 %	131,1	[89 ; 131,1]	67,8%	145,8	[108,6 ; 183]
Boissons alcoolisées	48,5 %	203,6	[164,4 ; 242,9]	48,5 %	57,6***	[37,6 ; 57,6]	60%	123,6	[103,7 ; 143,5]
Cafés	76,9 %	238,8	[196,6 ; 280,9]	76,9 %	261,0	[163,3 ; 261]	81,1%	225,1	[190,9 ; 259,3]
Autres boissons chaudes	63,5 %	48,1	[35,3 ; 61]	63,5 %	248,3**	[165,5 ; 248,3]	51,8%	129,5	[106,1 ; 153]
Pizzas, quiches et pâtisseries salées	24,9 %	15,1	[6,7 ; 23,4]	24,9 %	23,3	[10,8 ; 23,3]	25,9%	16,1	[10,8 ; 21,3]

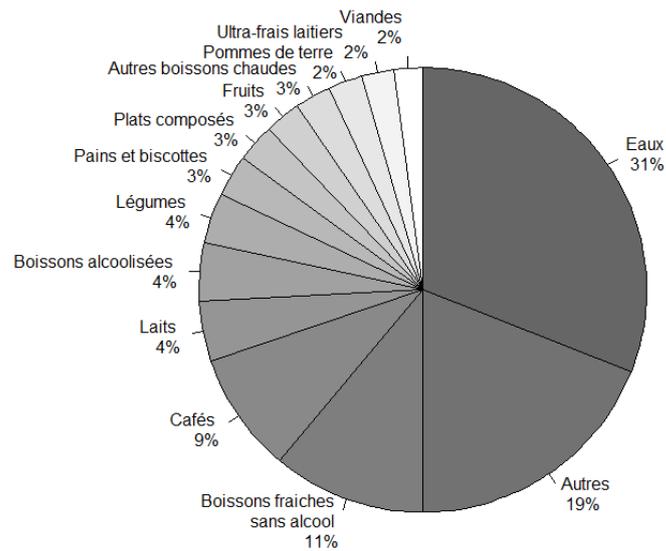
\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; TC : taux de consommation ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 21 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon le sexe (3)

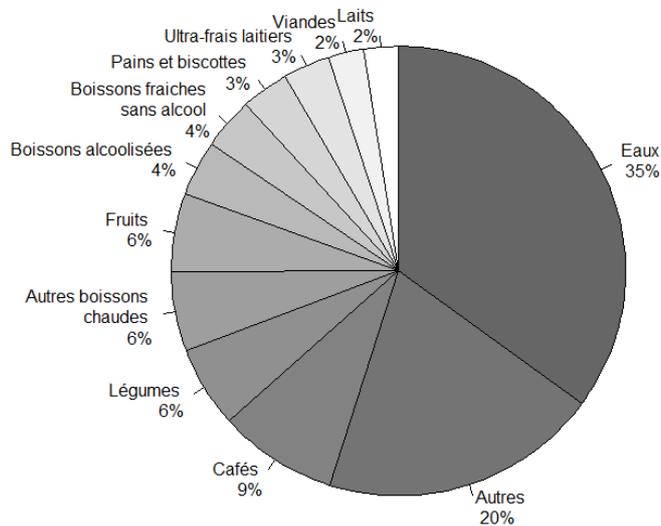
Groupes d'aliments	Hommes			Femmes			Ensemble		
	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%
Sandwichs, casse-croûtes	5,6 %	30	[18 ; 42,1]	5,6 %	4,9***	[1,4 ; 4,9]	14%	16,3	[9,7 ; 22,8]
Soupes et bouillons	38 %	62,9	[42,3 ; 83,4]	38 %	88,3	[54,5 ; 88,3]	35,5%	67,2	[54,5 ; 79,9]
Plats composés	56,9 %	65,6	[54,7 ; 76,4]	56,9 %	60,3	[40,6 ; 60,3]	57,8%	57,8	[51,1 ; 64,6]
Entremets, crèmes dessert et laits gélifiés	42 %	31,8	[23,5 ; 40,1]	42 %	30,6	[20,2 ; 30,6]	42,5%	28,5	[23,7 ; 33,3]
Compotes et fruits cuits	29,2 %	9,8	[5,4 ; 14,1]	29,2 %	18,6	[10,2 ; 18,6]	22,3%	12,2	[8,9 ; 15,4]
Condiments et sauces	100 %	23,7	[20 ; 27,5]	100 %	19,1**	[15,8 ; 19,1]	99,5%	20,5	[18,4 ; 22,6]
Aliments destinés à une alimentation particulière	14,7 %	0,2	[-0,1 ; 0,5]	14,7 %	1,7	[0 ; 1,7]	12,6%	0,5	[0,1 ; 1]
<b>Total</b>		2963,1	[2859,7 ; 3066,5]		2672,9	[2535,7 ; 2810,1]		2814,3	[2722,8 ; 2905,8]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; TC : taux de consommation ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

18-34 ans



35-54 ans



55 ans et plus

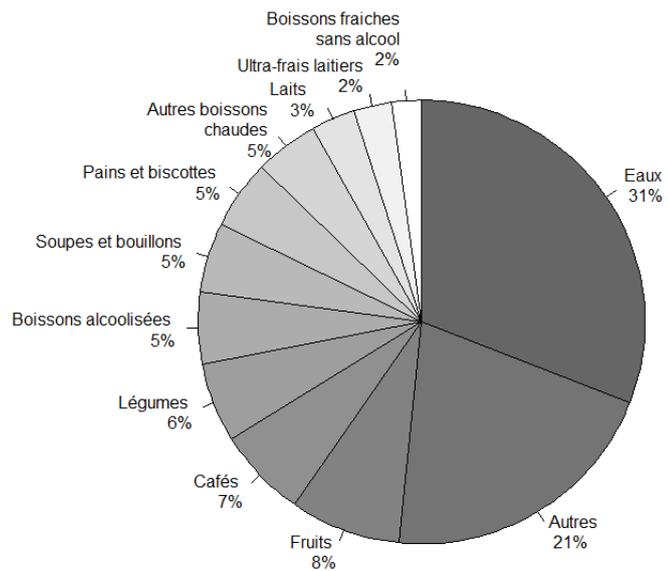


Figure 11 : Contribution des groupes d'aliments à la ration journalière en fonction de l'âge (hommes et femmes)

## 5.2.2 Consommation alimentaire selon les grandes régions

Compte tenu de la taille réduite de l'échantillon, les données permettent de décrire des tendances de consommations entre : Nord vs. Sud ainsi que Est vs. Ouest. Il n'est cependant pas possible de faire des comparaisons à un niveau plus fin et de confronter les habitudes alimentaires au niveau régional. Les habitudes alimentaires étant fortement ancrées au niveau régional, la région Ile de France n'a pas été incluse dans les groupes car ces habitants sont d'origine très variée et pourraient fausser les analyses. Néanmoins, la consommation moyenne en g/j des 43 groupes d'aliments, en Ile de France, est présentée en Annexe 9.

Les comportements varient selon les grandes zones (cf. Table 22, Table 23, Table 24). En effet, les individus vivant dans la zone Nord consomment davantage de lait alors que dans la zone Sud ce sont les aliments destinés à une alimentation particulière<sup>11</sup> et les plats composés qui sont plus consommés. Il existe également une différence dans l'utilisation des matières grasses pour lesquelles les personnes vivant dans la zone Nord consomment préférentiellement du beurre contre de l'huile dans la zone Sud.

Les individus vivant dans la zone Est consomment plus de pâtes et de fruits alors qu'à l'Ouest les personnes consomment plus de pâtisseries et gâteaux, de lait, de sandwiches et casse-croûtes et d'entremets, crèmes dessert et laits gélifiés. Concernant les boissons, la consommation de boissons chaudes est plus forte à l'Est et celle de boissons fraîches sans alcool est plus importante à l'Ouest. L'utilisation des matières grasses diffère également car le beurre est préféré à l'Ouest et l'huile à l'Est.

## 5.2.3 Consommation alimentaire selon les périodes de recrutement

Les habitudes alimentaires changent en fonction de la saison (cf. Table 25, Table 26, Table 27). Elles sont rythmées par les conditions climatiques et d'approvisionnement. Les différences s'observent surtout entre les périodes février-mai/octobre-janvier vs. juin-septembre, sauf pour les viennoiseries qui sont plus consommées en octobre-janvier qu'en février-mai. Les groupes d'aliments tels que le lait, les fruits et les glaces/desserts glacés sont plus consommés pendant la période juin-septembre. *A contrario*, les groupes d'aliments comme les biscuits, les pâtisseries et gâteaux, les charcuteries, les légumes secs sont moins mangés durant cette période. Les boissons alcoolisées, le café ainsi que les autres boissons chaudes sont également moins consommés de juin à septembre.

---

11 Ce groupe comprend entre autre les substituts de repas, boissons énergisantes, barres diététiques...

Table 22 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon les gradients Nord-Sud et Est-Ouest (1)

Groupes d'aliments	Nord		Sud		Est		Ouest	
	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%
Pains et panifications sèches	108,1	[93,7 ; 122,5]	101,1	[82,5 ; 119,6]	103,2	[87,1 ; 119,4]	107,7	[91,5 ; 123,8]
Céréales pour petit déjeuner	2,2	[1,2 ; 3,1]	1,5	[0,9 ; 2,1]	2,0	[1,1 ; 2,8]	1,9	[0,9 ; 2,8]
Pâtes	43,4	[32,9 ; 53,9]	40,7	[29,4 ; 52]	50,9	[40,5 ; 61,3]	34,4*	[23 ; 45,7]
Riz et blés durs ou concassés	25,7	[19,9 ; 31,4]	19,9	[15,5 ; 24,4]	21,5	[17,4 ; 25,6]	25,5	[18,8 ; 32,2]
Autres céréales	0,3	[0 ; 0,6]	0,7	[0,4 ; 1]	0,4	[0,3 ; 0,6]	0,4	[0 ; 0,8]
Viennoiseries	11	[7,2 ; 14,9]	15,9	[11,2 ; 20,5]	13,8	[10,5 ; 17,1]	11,9	[7 ; 16,8]
Biscuits sucrés ou salés et barres	9,7	[5,5 ; 13,9]	7,6	[6,2 ; 9]	8,4	[5,3 ; 11,4]	9,5	[5 ; 13,9]
Pâtisseries et gâteaux	33,9	[24,2 ; 43,6]	27,9	[23 ; 32,8]	22,8	[17,7 ; 27,9]	40,1**	[28,9 ; 51,3]
Laits	98,1	[81,1 ; 115,1]	68,6*	[51,1 ; 86,1]	60,3	[46,6 ; 74,1]	112,7***	[94,1 ; 131,4]
Ultra-frais laitiers	74,8	[58,5 ; 91]	87,9	[78,7 ; 97]	85,4	[73,9 ; 97]	74,1	[56 ; 92,1]
Fromages	36,3	[30,6 ; 42,1]	34,1	[29,3 ; 38,8]	36,1	[29,5 ; 42,7]	34,9	[30 ; 39,8]
Œufs et dérivés	11,7	[7,7 ; 15,7]	13,4	[9,9 ; 16,9]	8,9	[6,8 ; 11]	15,6*	[10,6 ; 20,5]
Beurres	8,5	[6,8 ; 10,2]	6,2*	[4,7 ; 7,6]	6,4	[5,1 ; 7,7]	8,9*	[6,9 ; 10,8]
Huiles	4,8	[3,8 ; 5,7]	7,4**	[5,9 ; 9]	7,0	[6 ; 8]	4,5**	[3,3 ; 5,8]
Margarines	2,8	[1,4 ; 4,2]	1,7	[1,1 ; 2,2]	2,4	[1,7 ; 3]	2,4	[0,8 ; 4,1]
Autres graisses	0,2	[-0,1 ; 0,4]	0,1	[0,1 ; 0,1]	0,1	[0 ; 0,1]	0,2	[-0,1 ; 0,5]
Viandes	62,7	[53,6 ; 71,9]	63,8	[55,7 ; 71,8]	62,9	[55,9 ; 69,9]	63,3	[52,6 ; 74,1]
Volailles et gibiers	42,6	[24,7 ; 60,5]	32,6	[23,4 ; 41,8]	30,1	[22,1 ; 38]	47,2	[25,5 ; 69]
Abats	3,8	[1,7 ; 5,8]	2	[0,8 ; 3,2]	1,8	[0,5 ; 3,1]	4,3	[1,9 ; 6,7]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 23 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon les gradients Nord-Sud et Est-Ouest (2)

Groupes d'aliments	Nord		Sud		Est		Ouest	
	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%
Charcuteries	39,2	[32,4 ; 46]	39,3	[34,7 ; 44]	39,3	[34,8 ; 43,9]	39,1	[31,2 ; 47]
Poissons	19,6	[14 ; 25,1]	24,7	[18,7 ; 30,7]	22,0	[15,6 ; 28,3]	21,0	[15,3 ; 26,7]
Crustacés et mollusques	17	[4,9 ; 29,2]	7,6	[5,9 ; 9,3]	9,4	[5,4 ; 13,4]	17,5	[3 ; 32,1]
Légumes (hors pommes de terre)	134,5	[116,1 ; 152,9]	156	[142,3 ; 169,8]	149,7	[135,6 ; 163,8]	135,5	[114,4 ; 156,7]
Pommes de terre et apparentés	61	[45,9 ; 76,2]	54,4	[35,9 ; 72,9]	47,2	[31,6 ; 62,8]	69,4	[52,2 ; 86,6]
Légumes secs	8,7	[2,1 ; 15,2]	8,3	[2,1 ; 14,4]	10,6	[3,3 ; 17,9]	6,5	[0,5 ; 12,6]
Fruits	144,8	[119,9 ; 169,7]	175,3	[144,2 ; 206,3]	177,6	[148,4 ; 206,8]	135,6*	[109,8 ; 161,4]
Fruits secs et graines oléagineuses	3,1	[0,6 ; 5,6]	4,6	[2,9 ; 6,2]	4,2	[1,1 ; 7,4]	3,0	[1,6 ; 4,4]
Glaces et desserts glacés	9,4	[5,7 ; 13,2]	13,2	[9,7 ; 16,7]	13,6	[8,6 ; 18,6]	8,2	[6 ; 10,4]
Chocolats	6,2	[4 ; 8,5]	7,6	[4,3 ; 10,9]	8,4	[4,9 ; 11,9]	5,2	[3,8 ; 6,6]
Sucres et dérivés	20,4	[16,6 ; 24,2]	22,6	[17,6 ; 27,6]	22,7	[18,6 ; 26,8]	19,8	[15,5 ; 24,1]
Eaux	918,2	[821,6 ; 1014,8]	978,9	[842,3 ; 1115,6]	921,8	[806,9 ; 1036,6]	958,3	[848,7 ; 1068]
Boissons fraîches sans alcool	147,6	[80,1 ; 215,2]	109,4	[86,6 ; 132,1]	88,3	[76 ; 100,6]	176,4*	[94,6 ; 258,1]
Boissons alcoolisées	125,7	[93,6 ; 157,9]	154,8	[123,5 ; 186]	128,6	[99,3 ; 157,9]	143,8	[107,4 ; 180,2]
Cafés	256,8	[196,3 ; 317,3]	211	[185,7 ; 236,2]	241,2	[194,5 ; 287,9]	238,8	[175 ; 302,6]
Autres boissons chaudes	109	[69,8 ; 148,2]	154,4	[127,6 ; 181,3]	166,1	[118,7 ; 213,5]	87,5**	[60,2 ; 114,7]
Pizzas, quiches et pâtisseries salées	17,2	[8 ; 26,5]	15	[9,8 ; 20,2]	15,4	[10 ; 20,8]	17,4	[6,5 ; 28,2]
Sandwichs, casse-croûtes	15,3	[4 ; 26,6]	5,3	[2,7 ; 7,9]	3,0	[1,8 ; 4,1]	19,8*	[6,4 ; 33,3]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 24 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon les gradients Nord-Sud et Est-Ouest (3)

Groupes d'aliments	Nord		Sud		Est		Ouest	
	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%
Soupes et bouillons	83,5	[63,7 ; 103,3]	64,7	[44,8 ; 84,7]	61,9	[45,5 ; 78,4]	90,5	[66,6 ; 114,3]
Plats composés	41,3	[32,2 ; 50,4]	72,9***	[63 ; 82,8]	58,2	[49,7 ; 66,7]	47,9	[37,7 ; 58,2]
Entremets, crèmes dessert et laits gélifiés	29,2	[21,3 ; 37,1]	22,9	[17,2 ; 28,6]	20,7	[16,1 ; 25,2]	32,7*	[23,3 ; 42,2]
Compotes et fruits cuits	11,8	[6,6 ; 17]	14	[9,8 ; 18,2]	13,1	[8,7 ; 17,5]	12,2	[6,5 ; 17,9]
Condiments et sauces	19,3	[16,3 ; 22,4]	23,2	[18,8 ; 27,6]	21,9	[18,6 ; 25,2]	19,7	[16 ; 23,3]
Aliments destinés à une alimentation particulière	0,1	[0 ; 0,1]	1,6*	[0,2 ; 2,9]	0,5	[0,1 ; 1]	0,7	[0 ; 1,7]
<b>Total</b>	2819,5	[2662,8 ; 2976,3]	2874,6	[2763,3 ; 2986,0]	2769,8	[2646,9 ; 2892,6]	2906,0	[2735,7 ; 3076,3]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 25 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon la période de recrutement des individus dans l'étude, ajustée sur l'âge le sexe (1)

Groupes d'aliments	février-mai		juin-septembre		octobre-janvier	
	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%
Pains et panifications sèches	106,3	[94,1 ; 118,4]	105,3	[90 ; 120,6]	104,9	[91,8 ; 118]
Céréales pour petit déjeuner	2,6	[1,6 ; 3,6]	3,7	[1,6 ; 5,9]	1,3	[0,2 ; 2,4]
Pâtes	45,6	[35,3 ; 56]	41,2	[30,3 ; 52,1]	33,7	[24,2 ; 43,1]
Riz et blés durs ou concassés	28,8	[21,6 ; 36]	24,6	[15,6 ; 33,7]	24,3	[18,9 ; 29,7]
Autres céréales	0,6	[0,3 ; 0,8]	0,1*	[0 ; 0,2]	0,4	[0 ; 0,8]
Viennoiseries	11	[7,9 ; 14,1]	12,7	[8,1 ; 17,4]	16,2*	[12,4 ; 20]
Biscuits sucrés ou salés et barres	10,7	[7,1 ; 14,4]	2,1*	[0,2 ; 4]	10,6	[6 ; 15,2]
Pâtisseries et gâteaux	38,7	[28,2 ; 49,3]	22*	[12,6 ; 31,4]	28,7	[23,3 ; 34,1]
Laits	70,8	[52,2 ; 89,3]	139,3	[110,5 ; 168,1]	78,5	[55,1 ; 102]
Ultra-frais laitiers	78	[65,3 ; 90,6]	73,8	[57,1 ; 90,5]	88,7	[70,6 ; 106,8]
Fromages	35,6	[29,3 ; 41,8]	29,2	[22,2 ; 36,2]	35,3	[29,3 ; 41,2]
Œufs et dérivés	10,9	[7,7 ; 14,2]	12,2	[7,1 ; 17,4]	13,8	[9 ; 18,6]
Beurres	7,2	[5,5 ; 8,9]	6	[4,5 ; 7,5]	8	[6,2 ; 9,9]
Huiles	6,7	[5,4 ; 8]	5,3	[4,4 ; 6,1]	5,5	[4,4 ; 6,5]
Margarines	2,6	[1,2 ; 4,1]	2,4	[1,1 ; 3,6]	2,8	[1,7 ; 3,9]
Autres graisses	0,1	[0,1 ; 0,2]	0,3	[-0,2 ; 0,8]	0	[0 ; 0,1]
Viandes	58,9	[51,6 ; 66,2]	70,9	[55,9 ; 85,9]	61,9	[52 ; 71,8]
Volailles et gibiers	30,2	[21,2 ; 39,2]	37,3	[25,4 ; 49,1]	44	[16 ; 71,9]

La période de février-mai sert de modalité référente pour les comparaisons. \*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

**Table 26 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon la période de recrutement des individus dans l'étude, ajustée sur l'âge le sexe (2)**

Groupes d'aliments	février-mai		juin-septembre		octobre-janvier	
	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%
Abats	4,6	[2,2 ; 7]	1,6	[0,4 ; 2,8]	1,9	[0,6 ; 3,2]
Charcuteries	39,7	[32,8 ; 46,5]	26,9*	[20,6 ; 33,3]	39,8	[33,4 ; 46,2]
Poissons	25	[18,5 ; 31,5]	17,1	[10,2 ; 23,9]	25,1	[19,2 ; 31]
Crustacés et mollusques	16,2	[2,1 ; 30,3]	11,2	[3,3 ; 19,1]	8	[5 ; 11]
Légumes (hors pommes de terre)	154,1	[137,4 ; 170,9]	152,8	[127,2 ; 178,3]	138,2	[123,9 ; 152,5]
Pommes de terre et apparentés	51,3	[37,4 ; 65,2]	53,4	[36,6 ; 70,2]	66,5	[52,5 ; 80,4]
Légumes secs	14,7	[5,8 ; 23,6]	3,0*	[1,3 ; 4,8]	6,2	[2,5 ; 9,8]
Fruits	143,6	[121,1 ; 166,1]	186*	[156,8 ; 215,3]	147,9	[121,5 ; 174,3]
Fruits secs et graines oléagineuses	3,1	[1,9 ; 4,4]	1,7*	[0,6 ; 2,7]	4,4	[1,2 ; 7,6]
Glaces et desserts glacés	7,5	[3,7 ; 11,3]	20,5*	[13,8 ; 27,1]	5,9	[1,8 ; 10]
Chocolats	7,4	[4,3 ; 10,4]	6,7	[4,4 ; 9]	7,8	[5,3 ; 10,2]
Sucres et dérivés	20,3	[17,3 ; 23,3]	15,5	[10,9 ; 20,1]	24,5	[18,6 ; 30,3]
Eaux	907,4	[806,1 ; 1008,7]	1012,7	[871,9 ; 1153,5]	886	[764,6 ; 1007,4]
Boissons fraîches sans alcool	142,4	[106,3 ; 178,4]	217,5	[141,1 ; 293,8]	98,5	[55,9 ; 141,2]
Boissons alcoolisées	137,4	[106,2 ; 168,5]	94,3*	[67,5 ; 121,2]	126,5	[97,3 ; 155,8]
Cafés	211,6	[174,5 ; 248,7]	139,4*	[97,2 ; 181,6]	305	[229,8 ; 380,3]
Autres boissons chaudes	155,9	[123,1 ; 188,7]	94,3*	[60,4 ; 128,3]	120	[84,5 ; 155,6]
Pizzas, quiches et pâtisseries salées	17,4	[8,7 ; 26]	20,5	[8,1 ; 33]	11,1	[7,5 ; 14,8]

La période de février-mai sert de modalité référente pour les comparaisons. \*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

**Table 27 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments selon la période de recrutement des individus dans l'étude, ajustée sur l'âge le sexe (3)**

Groupes d'aliments	février-mai		juin-septembre		octobre-janvier	
	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%	Moy.	IC 95%
Sandwichs, casse-croûtes	8	[2,6 ; 13,5]	31,3	[9,1 ; 53,4]	16,3	[10,1 ; 22,5]
Soupes et bouillons	68	[46,5 ; 89,4]	40,6	[14,8 ; 66,4]	85,5	[64,3 ; 106,6]
Plats composés	49,5	[39 ; 60,1]	70,6	[51 ; 90,3]	59,6	[47,2 ; 72]
Entremets, crèmes dessert et laits gélifiés	22,8	[16,1 ; 29,5]	31,7	[21 ; 42,4]	33,8	[26,1 ; 41,6]
Compotes et fruits cuits	11,8	[8,2 ; 15,4]	10,3	[4,2 ; 16,4]	14	[8,5 ; 19,5]
Condiments et sauces	20,1	[17,6 ; 22,6]	22,9	[17,3 ; 28,4]	19,3	[17,3 ; 21,4]
Aliments destinés à une alimentation particulière	0,5	[0,1 ; 0,9]	0,1	[0 ; 0,2]	0,9	[0 ; 2,1]
<b>Total</b>	2803,8	[2706,8 ; 2900,8]	2894,1	[2712,4 ; 3075,9]	2770,6	[2576,6 ; 2964,5]

La période de février-mai sert de modalité référente pour les comparaisons. \*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

## 5.3 Exposition de la population à la perméthrine

### 5.3.1 Exposition alimentaire à la perméthrine

#### 5.3.1.1 Distributions des expositions

Les distributions de l'exposition alimentaire sont représentées sur les Figure 12, Figure 14, Figure 13 et Figure 15. La distribution de l'exposition alimentaire à la perméthrine varie fortement selon le scénario d'exposition envisagé (« bas »<sup>12</sup>, « intermédiaire »<sup>13</sup> et « haut »<sup>14</sup>). Elles s'étendent de 0,66-120 à 67,3-3127 ng/kg pc/j (scénario « bas »-scénario « haut », Table 28). Cependant, la valeur maximale de l'exposition estimée à partir du scénario « haut » est inférieure à la dose journalière admissible pour la voie orale (DJA = 50 µg/kg pc/j). L'exposition alimentaire moyenne de la population générale à la perméthrine varie entre 9,46 [7,88 ; 11,0] et 822 [782 ; 861] ng/kg pc/j (cf. Table 29).

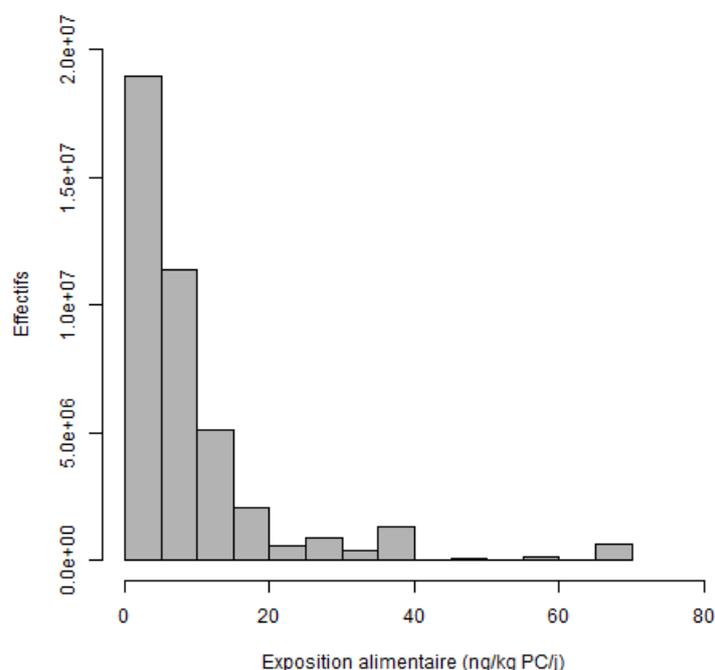


Figure 12 : Distribution de l'exposition alimentaire de la population selon le scénario « bas »

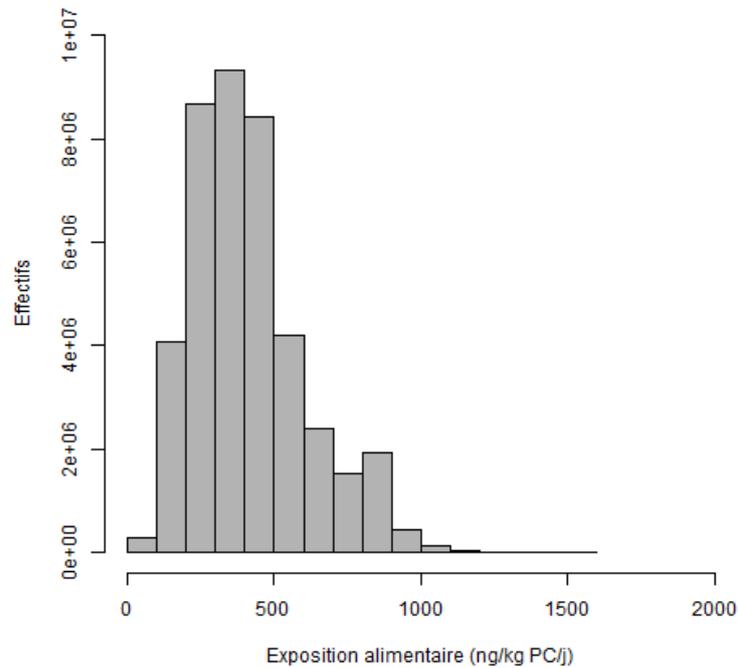
<sup>12</sup> Scénario pour lequel les résultats non quantifiés ou non détectés sont fixés respectivement à la LOD (si elle est renseignée) ou à 0.

<sup>13</sup> Scénario pour lequel les résultats non quantifiés ou non détectés sont remplacés par une valeur tirée au sort selon une loi uniforme entre 0 et la LOD ou LOQ, sauf pour les échantillons contenant des « traces » et pour lesquels la valeur est tirée au sort entre la LOD et la LOQ. La valeur retenue pour chaque échantillon est la médiane des 1000 tirages (fluctuation de l'échantillonnage)

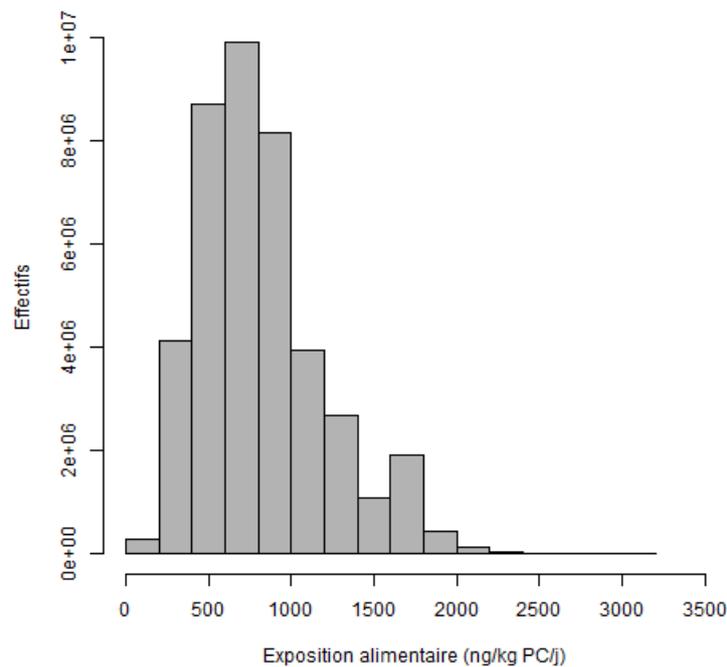
<sup>14</sup> Scénario pour lequel les résultats non quantifiés ou non détectés sont remplacés respectivement par la LOQ ou la LOD la plus haute selon les informations disponibles

**Table 28 : Centiles des expositions alimentaires à la perméthrine**

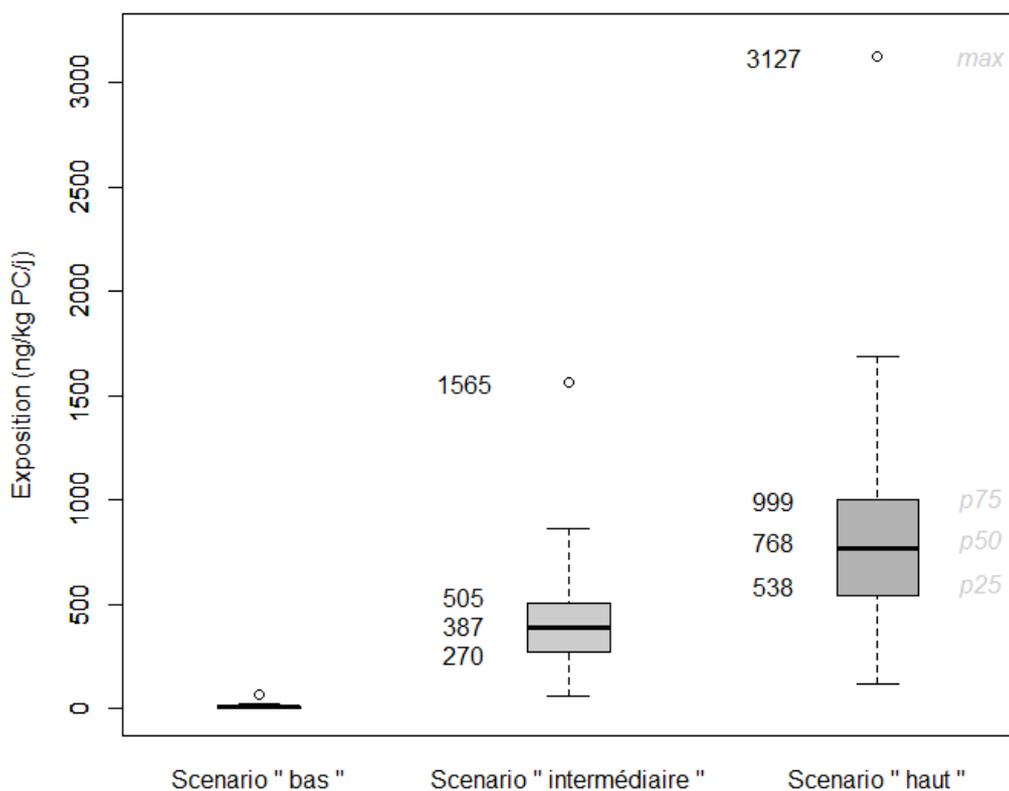
Expositions (ng/kg pc/j)	Min	P25	P50	P75	P95	Max
Scénario « bas »	0,66	3,25	5,58	10,5	35,5	67,3
Scénario « intermédiaire »	60,2	270	387	505	871	1565
Scénario « haut »	120	538	768	999	1692	3127



**Figure 13 : Distribution de l'exposition alimentaire de la population selon le scénario « intermédiaire »**



**Figure 14 : Distribution de l'exposition alimentaire de la population selon le scénario « haut »**



**Figure 15 : Exposition alimentaire selon les 3 scénarios**

L'exposition alimentaire varie également de façon significative selon la classe d'âge. En effet, quel que soit le scénario, la classe des 18-34 ans est caractérisée par une exposition alimentaire significativement supérieure à celles des deux autres classes d'individus.

Les variables « sexe » et « niveau d'éducation » n'ont pas d'effet significatif sur l'exposition alimentaire, quel que soit le scénario.

Pour les scénarios « haut » et « intermédiaire », l'exposition alimentaire est plus forte dans l'Ouest que dans l'Est de la France. De plus, il n'y a pas de différence significative entre les régions Nord et Sud. À titre comparatif, l'exposition en Ile de France est de 12 [8,4 ; 15,8] ng/kg pc/j pour le scénario « bas », de 840 [717 ; 964] ng/kg pc/j pour le scénario « haut » et enfin de 424 [362 ; 488] ng/kg pc/j pour le scénario « intermédiaire ».

Table 29 : Description de l'exposition alimentaire moyenne dans la population générale

Expositions (ng/kg pc/j)	Scénario « bas »		Scénario « haut »		Scénario « intermédiaire »	
	Moy	IC 95%	Moy	IC 95%	Moy	IC 95%
Population générale	9,46	[7,8 ; 11]	822	[782 ; 861]	414	[394 ; 434]
<i>Sexe</i>						
Homme	11,6	[8,6 ; 14,6]	881	[814 ; 948]	445	[411 ; 479]
Femme	7,42	[6,2 ; 8,6]	765	[721 ; 809]	385	[363 ; 407]
<i>Age</i>						
18-34 ans	15,8*	[11,2 ; 20,4]	992*	[917 ; 1067]	502*	[463 ; 541]
35-54 ans	8,1	[6,8 ; 9,5]	742	[691 ; 792]	374	[348 ; 399]
55 ans et plus	5,8	[4,6 ; 6,9]	791	[705 ; 877]	397	[354 ; 440]
<i>Niveau d'éducation</i>						
Aucun certificat ou certificat d'études primaires	9,96	[7,3 ; 12,4]	797	[709 ; 885]	402	[358 ; 447]
CAP-BEP-BEPC	10,2	[7,6 ; 12,8]	822	[750 ; 894]	415	[379 ; 451]
Bac, Brevet pro, Bac+2	8,1	[5,6 ; 10,6]	846	[778 ; 915]	426	[391 ; 461]
Bac+3 et plus	9,0	[7,7 ; 10,3]	837	[773 ; 901]	421	[389 ; 454]
<i>Région</i>						
Nord	9,6	[6,97 ; 12,4]	830	[768 ; 892]	419	[387 ; 450]
Sud	7,8	[7,2 ; 8,49]	798	[755 ; 840]	402	[380 ; 423]
Est	7,7	[6,4 ; 9,02]	751*	[705 ; 796]	378*	[355 ; 401]
Ouest	10,2	[7,0 ; 13,4]	882	[814 ; 950]	410*	[410 ; 479]

La comparaison par niveau d'éducation est ajustée sur le genre et l'âge. \*  $p < 0,05$  après application de la correction de Bonferroni

### 5.3.1.2 Denrées contributrices

Les dix denrées les plus contributrices à l'exposition à la perméthrine sont identifiées pour chacun des 3 scénarios, (cf. Table 30, Table 32, Table 31 et Table 33).

Pour le scénario « bas », le basilic contribue pour moitié à l'exposition. La deuxième source la plus contributrice est constituée par les viandes. Dans ce scénario, la contamination des aliments non détectée/quantifiée est remplacé par 0, c'est la raison pour laquelle, seules les denrées pour lesquelles la contamination en perméthrine est quantifiée apparaissent comme contributrices. La forte contribution du basilic s'explique en partie par sa présence en tant qu'ingrédient dans de nombreux plats. Par ailleurs, l'utilisation des recettes pour décomposer les aliments et calculer l'exposition surestime certainement sa contribution.

D'après la Figure 12, 3 individus avaient une exposition supérieure à 40 ng/kg p.c./j et faisaient partie de la « queue de distribution » des expositions, c'est-à-dire les quelques valeurs les plus élevées. Ces individus consommaient l'ensemble des denrées contributrices à l'exposition en scénario « bas », d'où leur exposition plus élevée que celle du reste de la population.

Table 30 : Denrées les plus contributrices selon le scénario « bas »

Denrée	Exposition moyenne (IC 95%) (ng/ kg pc/j)		Contribution à l'exposition totale
Basilic	4,47	[3,08 ; 5,86]	47,5 %
Produits laitiers de vache	0,97	[0,91 ; 1,03]	10,3 %
Viande de bovins	0,82	[0,71 ; 0,93]	8,7 %
Viande de porcins	0,71	[0,56 ; 0,86]	7,5 %
Tomates	0,49	[0,43 ; 0,55]	5,2 %
Poivrons	0,42	[0,31 ; 0,53]	4,5 %
Viandes autres	0,3	[0,23 ; 0,37]	3,2 %
Graisse de porcins	0,29	[0,23 ; 0,36]	3,1 %
Viande d'ovins	0,19	[0,12 ; 0,26]	2,0 %
Viande de volaille	0,13	[0,11 ; 0,15]	1,4 %

*Viande autres : préparations de viande, abats, sang, graisses animales, autres produits transformés confectionnés*

Les dix denrées les plus contributrices sont les mêmes dans les scénarios « haut » et « intermédiaire ». Les produits laitiers de vache constituent la source la plus importante et expliquent un peu plus de 10% de l'exposition alimentaire. Dans ces deux scénarios, une valeur de contamination est affectée à toutes les denrées, ce qui implique qu'une forte consommation de certains aliments influence l'exposition. C'est pour cette raison que les denrées contributrices à l'exposition sous ces deux scénarios sont les mêmes, mais qu'elles diffèrent des denrées contributrices selon le scénario « bas », dans lequel la contamination a un rôle prépondérant sur la consommation, par rapport au type de denrées contributrices. Seulement deux denrées parmi les 10 les plus contributrices sont communes au scénario « bas », « intermédiaire » et « haut » : les produits laitiers de vache et la tomate.

**Table 31 : Denrées les plus contributrices selon les scénarios « haut » et « intermédiaire »**

Denrée	Scénario « haut »	Scénario « intermédiaire »
Produits laitiers de vache	11,0 %	10,8 %
Betterave sucrière	7,1 %	7,0 %
Froment (blé)	6,4 %	6,3 %
Houblon	5,6 %	5,6 %
Grains de café	4,1 %	4,1 %
Fruits du palmier à huile	3,3 %	3,2 %
Pommes de terre	2,8 %	2,8 %
Oignons	2,7 %	2,7 %
Tomates	2,6 %	2,6 %
Graines de tournesol	2,2 %	2,2 %

D'après le scénario « bas », l'exposition provenant de la consommation de basilic, de viande de bovins, de poivrons ainsi que de viande d'ovin diffère significativement selon l'âge de la population (Table 32). En effet, les 18-34 ans semblent consommer davantage de plats contenant du basilic mais également plus de viande d'ovins que le reste de la population. Par ailleurs, les individus appartenant à la classe d'âge 55 ans et plus semblent consommer moins de viande de bovins et aussi moins de poivrons. Ces différences d'exposition mettent en évidence des différences de consommations de ces denrées qui n'apparaissaient pas significatives lors de l'étude de la consommation des individus (paragraphe 5.2.1.2). En effet, ces différences de consommations devaient être masquées ou équilibrées par la consommation des autres aliments appartenant au même grand groupe d'aliments analysés précédemment.

**Table 32 : Exposition alimentaire selon les denrées contributrices et les classes d'âge  
(scénario « bas »)**

Denrées	Catégorie d'âge	Exposition (ng/ kg pc/j)	
		Moyenne	IC 95%
Basilic	18-34 ans	9,27 **	[5,21 ; 13,3]
	35-54 ans	3,34	[2,13 ; 4,54]
	55 ans et plus	1,85	[0,95 ; 2,74]
Produits laitiers de vache	18-34 ans	1,14	[1 ; 1,28]
	35-54 ans	0,92	[0,83 ; 1,01]
	55 ans et plus	0,9	[0,78 ; 1,03]
Viande de bovins	18-34 ans	1,02	[0,71 ; 1,33]
	35-54 ans	0,9	[0,79 ; 1,01]
	55 ans et plus	0,5 **	[0,34 ; 0,66]
Viande de porcins	18-34 ans	0,84	[0,67 ; 1,01]
	35-54 ans	0,72	[0,42 ; 1,02]
	55 ans et plus	0,58	[0,44 ; 0,71]
Tomates	18-34 ans	0,65	[0,53 ; 0,77]
	35-54 ans	0,42	[0,33 ; 0,51]
	55 ans et plus	0,45	[0,36 ; 0,55]
Poivrons	18-34 ans	0,77	[0,49 ; 1,06]
	35-54 ans	0,35	[0,22 ; 0,49]
	55 ans et plus	0,21 *	[0,06 ; 0,36]
Viandes autres	18-34 ans	0,4	[0,24 ; 0,55]
	35-54 ans	0,27	[0,17 ; 0,37]
	55 ans et plus	0,26	[0,14 ; 0,39]
Graisse de porcins	18-34 ans	0,37	[0,24 ; 0,51]
	35-54 ans	0,3	[0,2 ; 0,4]
	55 ans et plus	0,21	[0,14 ; 0,28]
Viande d'ovins	18-34 ans	0,46 **	[0,24 ; 0,69]
	35-54 ans	0,11	[0,08 ; 0,15]
	55 ans et plus	0,05	[0,02 ; 0,08]
Viande de volaille	18-34 ans	0,13	[0,08 ; 0,17]
	35-54 ans	0,14	[0,11 ; 0,18]
	55 ans et plus	0,12	[0,09 ; 0,15]

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ . Viande autres : préparations de viande, abats, sang, graisses animales, autres produits transformés confectionnés

**Table 33 : Exposition moyenne par classes d'âge due aux denrées les plus contributrices selon les scénarios « intermédiaire » et « haut »**

Denrées	Catégorie d'âge	Exposition (ng/ kg pc/j) Scénario « haut »		Exposition (ng/ kg pc/j) Scénario « intermédiaire »	
		Moyenne	IC 95%	Moyenne	IC 95%
Basilic	18-34 ans	105,8	[93 ; 118,7]	52,4	[46 ; 58,7]
	35-54 ans	85,5	[76,9 ; 94,1]	42,3	[38 ; 46,6]
	55 ans et plus	83,8	[72,4 ; 95,2]	41,5	[35,8 ; 47,1]
Produits laitiers de vache	18-34 ans	91,4***	[77,9 ; 104,8]	45,5 ***	[38,9 ; 52,2]
	35-54 ans	48,5	[44,3 ; 52,7]	24,2	[22,1 ; 26,3]
	55 ans et plus	42,9	[36,7 ; 49]	21,4	[18,3 ; 24,4]
Viande de bovins	18-34 ans	64,7 ***	[59,5 ; 69,9]	32,3 ***	[29,7 ; 34,9]
	35-54 ans	49,8	[44,6 ; 55,1]	24,9	[22,3 ; 27,5]
	55 ans et plus	44,9	[39,6 ; 50,2]	22,4	[19,8 ; 25,1]
Viande de porcins	18-34 ans	60,1	[28,6 ; 91,6]	30	[14,3 ; 45,8]
	35-54 ans	40,2	[12,7 ; 67,8]	20,1	[6,3 ; 33,9]
	55 ans et plus	43,2	[5,3 ; 81,1]	21,6	[2,6 ; 40,6]
Tomates	18-34 ans	40,9	[31,8 ; 50]	20,4	[15,9 ; 25]
	35-54 ans	35,3	[29,4 ; 41,2]	17,7	[14,7 ; 20,6]
	55 ans et plus	24,7	[17,3 ; 32]	12,3	[8,6 ; 16]
Poivrons	18-34 ans	39 ***	[34,2 ; 43,8]	19,5 ***	[17,1 ; 21,9]
	35-54 ans	24,1	[21,6 ; 26,5]	12	[10,8 ; 13,3]
	55 ans et plus	19,5	[16,6 ; 22,4]	9,8	[8,3 ; 11,2]
Viandes autres	18-34 ans	22,2	[17,7 ; 26,7]	11,1	[8,9 ; 13,4]
	35-54 ans	20,2	[17,1 ; 23,3]	10,1	[8,6 ; 11,7]
	55 ans et plus	27,4	[22,3 ; 32,5]	13,7	[11,2 ; 16,3]
Graisse de porcins	18-34 ans	25,3	[19,7 ; 30,9]	12,6	[9,8 ; 15,5]
	35-54 ans	17,4*	[14,7 ; 20]	8,7	[7,4 ; 10]*
	55 ans et plus	28	[22,3 ; 33,7]	14	[11,2 ; 16,8]
Viande d'ovins	18-34 ans	28,4	[23,3 ; 33,4]	14,5	[11,9 ; 17,1]
	35-54 ans	18,4	[14,5 ; 22,3]	9,4	[7,4 ; 11,4]
	55 ans et plus	19,8	[15,5 ; 24]	10,1	[7,9 ; 12,3]
Viande de volaille	18-34 ans	26,6**	[21,5 ; 31,7]	13,2 **	[10,7 ; 15,7]
	35-54 ans	16,5	[14,3 ; 18,6]	8,2	[7,1 ; 9,3]
	55 ans et plus	13,8	[11 ; 16,7]	6,9	[5,4 ; 8,3]

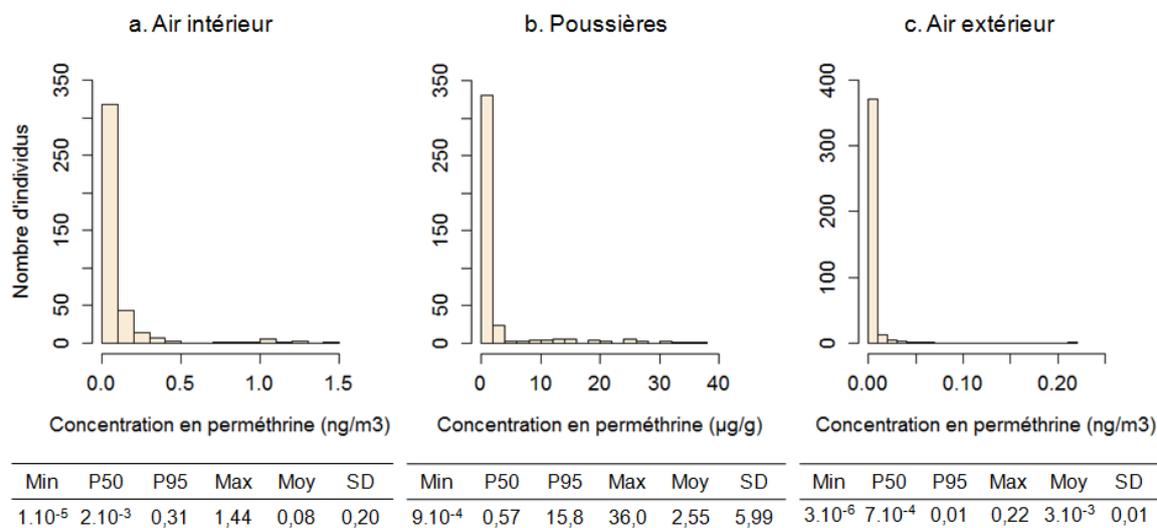
\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ . Viande autres : préparations de viande, abats, sang, graisses animales, autres produits transformés confectionnés

La Table 33 présente l'analyse des contributions des denrées à l'exposition selon les classes d'âge, sous les scénarios « intermédiaire » et « haut ». L'exposition alimentaire provenant de la consommation de produits laitiers de vache, de viande de bovins, de poivrons, de graisse de porcins et de viande de volaille, diffère selon les classes d'âge. Les individus de la classe des 18-34 ans sont significativement plus exposés de par leur consommation de produits laitiers de vache, de viande de bovins, de poivrons et de viande de volaille. Les individus âgés de 35 à 54 ans sont moins exposés aux d'aliments contenant de la graisse de porcins. Comme pour le scénario « bas », ces différences, selon les classes d'âges, n'étaient pas apparentes lors de l'analyse de la consommation au sein des groupes d'aliments.

## 5.3.2 Exposition environnementale

### 5.3.2.1 Distribution des niveaux de contamination

Les distributions des niveaux de contamination de l'air intérieur et des poussières ont été reconstruites à partir des données brutes fournies par Blanchard et al. (2014). Celle de l'air extérieur a été reconstruite à partir des données brutes fournies par Air PACA (2012). Les niveaux de contamination obtenus après reconstruction des distributions sont représentés en Figure 16. Les concentrations moyennes en perméthrine sont plus faibles dans l'air extérieur que dans l'air intérieur ( $3,2 \cdot 10^{-3}$  [ $2,0 \cdot 10^{-3}$  ;  $4,4 \cdot 10^{-3}$ ] ng/m<sup>3</sup> et 0,08 [0,06 ; 0,10] ng/m<sup>3</sup>, respectivement). La concentration moyenne en perméthrine dans les poussières sédimentées est de 2,55 [1,96 ; 3,15] µg/g. Les distributions présentent une assez grande variabilité, avec des écart-types de 0,01 ng/m<sup>3</sup>, 0,20 ng/m<sup>3</sup> et 5,99 µg/g pour l'air extérieur, l'air intérieur et les poussières respectivement.



Moy : moyenne, SD : écart-type de la distribution

**Figure 16 : Distributions des concentrations en perméthrine dans (a) la phase particulaire de l'air intérieur, (b) les poussières sédimentées et (c) l'air extérieur (n =396)**

### 5.3.2.2 Exposition selon les sources et les voies

Les poussières sédimentées semblent constituer la source majeure d'exposition parmi les sources environnementales, avec une exposition moyenne de 5,8 [4,5 ; 7,1] ng/kg pc/j par contact cutané et de 1,1 [0,8 ; 1,3] ng/kg pc/j par ingestion (Table 34). Les niveaux d'exposition peuvent atteindre 92,2 ng/kg pc/j par contact cutané et 20,7 ng/kg pc/j par ingestion pour les individus les plus exposés. L'air intérieur et extérieur formeraient la seconde source d'exposition, avec une exposition moyenne de 0,07 [0,06 ; 0,08] ng/kg pc/j par contact cutané

avec la phase particulaire et de 0,014 [0,012 ; 0,016] ng/kg pc/j par inhalation. Au sein de cette seconde source d'exposition, la contribution de l'air intérieur semble largement supérieure à celle de l'air extérieur, avec des expositions moyennes de 0,07 [0,06 ; 0,08] ng/kg pc/j et  $1,2 \cdot 10^{-4}$  [ $9,0 \cdot 10^{-5}$  ;  $1,5 \cdot 10^{-4}$ ] ng/kg pc/j par contact cutané avec la phase particulaire et de 0,014 [0,012 ; 0,016] ng/kg pc/j et  $2,5 \cdot 10^{-5}$  [ $1,9 \cdot 10^{-5}$  ;  $3,1 \cdot 10^{-5}$ ] ng/kg pc/j par inhalation, respectivement. Ainsi, le contact cutané et l'ingestion constitueraient les voies majeures d'exposition à l'exposition environnementale, tandis que la voie inhalatoire serait secondaire.

**Table 34 : Distribution des expositions environnementales à la perméthrine (ng/kg pc/j) de la population adulte ENNS**

Exposition	Min	P25	P50	P95	Max	Moy	IC 95%
<i>Exposition par inhalation (ng/kg pc/j)</i>							
Total	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	0,046	0,261	0,014	[0,012 ; 0,016]
Air intérieur	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	0,046	0,261	0,014	[0,012 ; 0,016]
Air extérieur	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$6,1 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	[ $1,9 \cdot 10^{-5}$ ; $3,1 \cdot 10^{-5}$ ]
<i>Exposition par ingestion de poussières (ng/kg pc/j)</i>							
Total	$4,3 \cdot 10^{-4}$	0,1	0,2	7,2	20,7	1,1	[0,8 ; 1,3]
<i>Exposition par contact cutané (ng/kg pc/j)</i>							
Poussières	$2,2 \cdot 10^{-3}$	0,8	1,4	38,4	92,2	5,8	[4,5 ; 7,1]
Air total	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	0,22	1,31	0,07	[0,06 ; 0,08]
Air intérieur	$7,4 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	0,22	1,31	0,07	[0,06 ; 0,08]
Air extérieur	$8,7 \cdot 10^{-8}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	0,010	$1,2 \cdot 10^{-4}$	[ $9,0 \cdot 10^{-5}$ ; $1,5 \cdot 10^{-4}$ ]

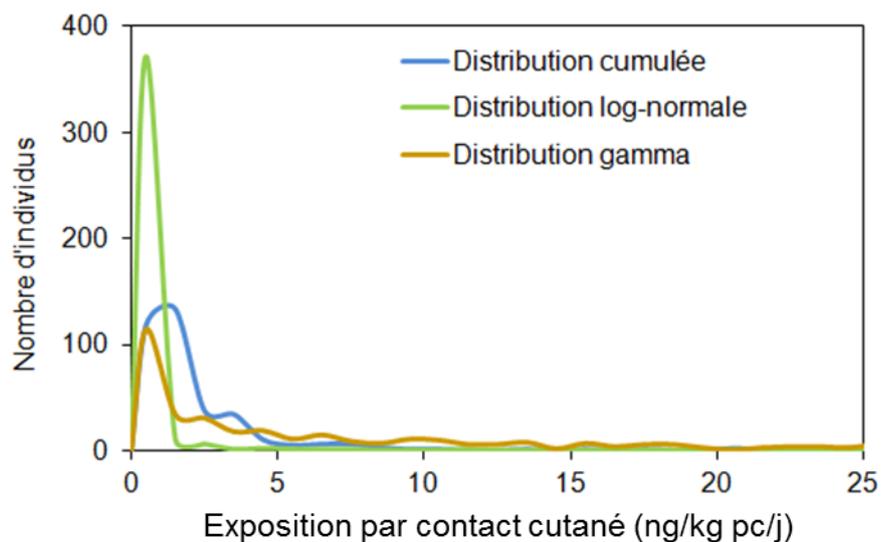
Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95% autour de la moyenne.

### 5.3.2.3 Exposition selon les caractéristiques individuelles

Les expositions varient significativement selon la profession et la catégorie socioprofessionnelle (PCS) des individus (Table 35). Les expositions par inhalation et par contact cutané avec la phase particulaire de l'air semblent plus élevées pour les artisans ( $p = 5 \cdot 10^{-4}$  et  $p = 6 \cdot 10^{-4}$  respectivement), les professions intermédiaires ( $p = 9 \cdot 10^{-4}$ ) et les employés ( $p = 2 \cdot 10^{-4}$  et  $p = 7 \cdot 10^{-5}$  respectivement) par rapport aux cadres. Les expositions par ingestion et par contact cutané avec les poussières semblent, quant à elles, plus faibles pour les artisans ( $p = 8 \cdot 10^{-4}$  et  $p = 5 \cdot 10^{-4}$  respectivement). En revanche, les expositions ne semblent pas significativement différer selon le sexe, l'âge, l'indice de masse corporelle (IMC) et la situation professionnelle.

### 5.3.2.4 Analyse de sensibilité

En première approche, les hypothèses formulées sur la distribution des niveaux de contamination ( $C_i$ ,  $C_e$  et  $C_p$ ), les équations et paramètres employés pour le calcul des paramètres individuels ( $V_r$ ,  $S$  et  $T_i$ ) et les valeurs appliquées aux paramètres provenant de la littérature ( $Q$ ,  $f_p$ ,  $f_s$ ,  $M_p$ ,  $vp$  et  $T_p$ ) ont été modifiées (Annexe 10). Quelles que soient les modifications apportées aux paramètres humains ou aux budgets espace-temps, les distributions des expositions semblent avoir la même forme que les distributions attribuées aux données de contamination (Annexe 10 et Annexe 11). Dans l'exemple présenté en Figure 17, la distribution des expositions par contact cutané avec les poussières suivrait les distributions appliquées aux concentrations en perméthrine dans les poussières.



**Figure 17 : Distributions des expositions par contact cutané avec les poussières selon l'hypothèse appliquée à la distribution des concentrations en perméthrine dans les poussières**

**Table 35: Comparaison des niveaux d'exposition environnementale (ng/kg pc/j) selon les caractéristiques socio-démographiques et physiologiques de la population ENNS (1)**

Caractéristiques	Exposition par inhalation		Exposition par ingestion de poussières		Exposition par contact cutané avec les poussières sédimentées		Exposition par contact cutané avec la phase particulaire de l'air	
	Moy	IC 95%	Moy	IC 95%	Moy	IC 95%	Moy	IC 95%
<i>Sexe</i>								
Masculin	0,02	[0,01 ; 0,02]	0,91	[0,56 ; 1,26]	5,59	[3,44 ; 7,74]	0,07	[0,05 ; 0,09]
Féminin	0,01	[0,01 ; 0,02]	1,21	[0,85 ; 1,57]	6,07	[4,30 ; 7,84]	0,06	[0,05 ; 0,08]
<i>Age</i>								
18 – 39 ans	0,02	[0,01 ; 0,02]	0,98	[0,60 ; 1,35]	5,19	[3,22 ; 7,16]	0,07	[0,06 ; 0,09]
40 – 59 ans	0,01	[0,01 ; 0,02]	1,04	[0,74 ; 1,34]	5,87	[3,96 ; 7,77]	0,06	[0,05 ; 0,08]
60 – 74 ans	0,01	[0,01 ; 0,02]	1,30	[0,47 ; 2,13]	7,17	[2,81 ; 11,5]	0,06	[0,03 ; 0,09]
<i>IMC</i>								
Maigre	0,04	[0,02 ; 0,06]	1,19	[0,18 ; 2,19]	5,05	[0,98 ; 9,13]	0,19	[0,08 ; 0,31]
Normal	0,01	[0,01 ; 0,03]	0,99	[0,61 ; 1,37]	5,05	[3,19 ; 6,92]	0,05	[0,04 ; 0,06]
Surpoids	0,01	[0,01 ; 0,02]	1,07	[0,67 ; 1,47]	6,26	[3,95 ; 8,57]	0,06	[0,05 ; 0,08]
Obésité	0,02	[0,01 ; 0,02]	1,23	[0,48 ; 1,99]	7,73	[2,88 ; 12,6]	0,07	[0,03 ; 0,11]
<i>PCS</i>								
Agriculteurs	0,01	[0,01 ; 0,02]	1,12	[0 ; 2,50]	6,59	[0 ; 14,6]	0,07	[0,03 ; 0,11]
Artisans	0,02***	[0,01 ; 0,02]	0,27***	[0,18 ; 0,36]	1,52***	[1,18 ; 1,86]	0,08***	[0,05 ; 0,11]
Cadres	0,01	[0 ; 0,01]	0,55	[0,41 ; 0,70]	3,23	[2,33 ; 4,14]	0,03	[0,02 ; 0,04]

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

**Table 36: Comparaison des niveaux d'exposition environnementale (ng/kg pc/j) selon les caractéristiques socio-démographiques et physiologiques de la population ENNS (2)**

Caractéristiques	Exposition par inhalation		Exposition par ingestion de poussières		Exposition par contact cutané avec les poussières sédimentées		Exposition par contact cutané avec la phase particulaire de l'air	
	Moy	IC 95%	Moy	IC 95%	Moy	IC 95%	Moy	IC 95%
Professions intermédiaires	0,02***	[0,01 ; 0,03]	1,47*	[0,78 ; 2,16]	8,42*	[4,29 ; 12,6]	0,10***	[0,06 ; 0,14]
Employés	0,02***	[0,01 ; 0,02]	1,39***	[0,87 ; 1,92]	7,12***	[4,51 ; 9,74]	0,07***	[0,06 ; 0,09]
Ouvriers	0,01	[0,01 ; 0,01]	0,48	[0,27 ; 0,69]	2,87	[1,59 ; 4,14]	0,04	[0,03 ; 0,06]
Autres	0,01	[0,01 ; 0,02]	1,41*	[0,59 ; 2,23]	7,36	[2,86 ; 11,9]	0,06**	[0,04 ; 0,09]
<i>Situation Professionnelle</i>								
Étudiants / actifs	0,01	[0,01 ; 0,02]	0,84	[0,58 ; 1,09]	4,58	[3,20 ; 5,96]	0,06	[0,05 ; 0,07]
Chômeurs / inactifs / invalides	0,01	[0,01 ; 0,02]	1,12	[0,35 ; 1,90]	5,92	[1,61 ; 10,2]	0,06	[0,04 ; 0,09]
Retraités	0,01	[0,01 ; 0,02]	1,31	[0,76 ; 1,87]	7,09	[4,06 ; 10,1]	0,06	[0,04 ; 0,08]
Femmes / hommes au foyer	0,04	[0,02 ; 0,07]	2,95*	[0,93 ; 4,96]	17,5	[5,51 ; 29,5]	0,19	[0,09 ; 0,30]

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

L'impact, sur l'exposition environnementale, des variations appliquées aux variables d'entrée individuelles ( $V_i$ ,  $S$ , et  $T_i$ ) ou aux variables d'entrée provenant de la littérature ( $Q$ ,  $fp$ ,  $fs$ ,  $Mp$ ,  $vp$ , et  $Tp$ ) serait plus faible que celui apporté par la variation des niveaux de contamination. En effet, les modifications des distributions appliquées aux niveaux de la contamination feraient varier les expositions obtenues jusqu'à un facteur 10, alors que les modifications apportées aux paramètres humains ou aux budgets espace-temps ne font que très peu varier les expositions (jusqu'à un facteur 3, Annexe 10 et Annexe 11). Cela suggère que le choix des équations et paramètres de calcul du volume respiratoire, de la surface corporelle ou du temps passé à l'intérieur a peu d'impact sur les expositions obtenues. De même, l'utilisation de paramètres provenant de la littérature ne semble pas induire une grande incertitude sur les résultats. Les seuls effets notables font suite à l'application d'un scénario « hiver » à la fraction du corps exposée ( $fs$ ) et à l'application d'une distribution triangulaire à la fraction de perméthrine disponible pour l'exposition et contenue dans les poussières ( $fp$ ). Ces modifications induisent respectivement, une diminution d'environ 7 fois et une augmentation de presque 3 fois des expositions par voie cutanée. La variation de l'imprégnation en *cis* et *trans*-DCCA en fonction de la saisonnalité permet de donner quelques éléments concernant l'importance du paramètre relatif à la fraction de corps exposé. La Table 37 présente les concentrations en *cis* et *trans*-DCCA d'un échantillon de 219 individus pour lesquels ces métabolites ont été quantifiés. Les différences observées entre les moyennes géométriques des concentrations en *cis* et *trans*-DCCA en fonction de la saisonnalité ne sont pas significatives.

**Table 37 : Imprégnation des individus en fonction de la saisonnalité**

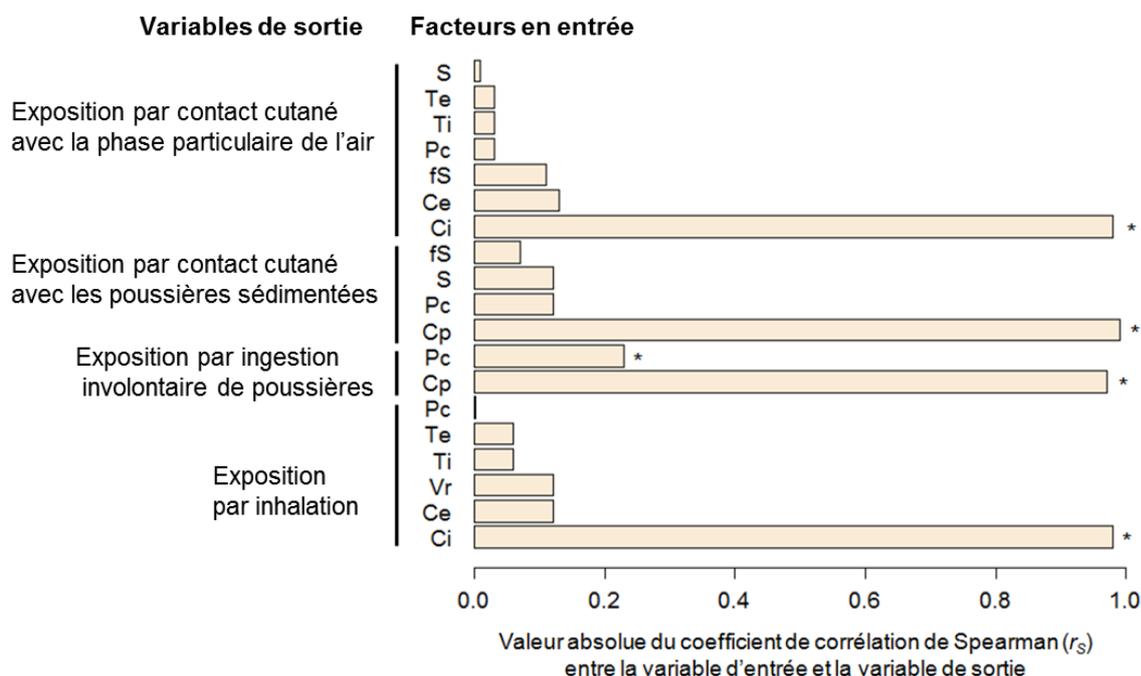
Saisonnalité	Effectif	Moyenne géométrique	IC 95%
<i>Concentration urinaire en cis-DCCA (<math>\mu\text{mol/g cr.}</math>)</i>			
Février-Mai	95	0,26	[0,21 ; 0,32]
Juin-Septembre	74	0,31	[0,24 ; 0,39]
Octobre-Novembre	49	0,28	[0,21 ; 0,38]
Non renseignée	1	0,43	-
Total	219	0,28	[0,24 ; 0,32]
<i>Concentration urinaire en trans-DCCA (<math>\mu\text{mol/g cr.}</math>)</i>			
Février-Mai	95	0,62	[0,50 ; 0,78]
Juin-Septembre	74	0,79	[0,61 ; 1,01]
Octobre-Novembre	49	0,64	[0,45 ; 0,91]
Non renseignée	1	1,93	-
Total	219	0,68	[0,59 ; 0,79]

IC 95% : intervalle de confiance à 95% autour de la moyenne.

Les tests de corrélation des rangs de Spearman confortent les observations rapportées dans le paragraphe précédent. Les résultats des tests indiquent que les expositions sont essentiellement impactées par les variables de contamination, notamment  $C_i$  et  $C_p$ . En effet, les valeurs absolues des coefficients de corrélation  $r_s$  sont significativement différentes de zéro pour ces variables ( $p < 0,001$ ) et varient de 0,97 à 0,99 (Figure 18). Ces indices de sensibilité très proches de 1 pourraient être le résultat d'une grande incertitude sur les variables de contamination due à la formulation d'hypothèses très fortes, notamment sur les distributions appliquées aux niveaux de contamination. La concentration dans l'air extérieur ( $C_e$ ) arriverait en seconde position, avec des valeurs  $r_s$  égales à 0,12 et 0,13 pour les expositions par inhalation et par voie cutanée respectivement.

Les paramètres humains et de budget espace-temps semblent avoir moins d'impact sur les expositions (Figure 18). Le poids corporel serait le facteur humain le plus sensible, avec des

valeurs  $r_s$  comprises entre 0,03 et 0,23. Le poids corporel présente un indice de sensibilité le plus élevé et significatif pour l'exposition par ingestion de poussières ( $r_s = 0,23$  ;  $p < 0,001$ ). Cela peut s'expliquer par le fait que seules trois variables interviennent dans le calcul de l'exposition par ingestion (i.e.  $Cp$ ,  $Pc$  et le paramètre provenant de la littérature  $Q$  qui n'a pas pu être testé ici). Chacune d'elles peut donc avoir un poids important sur les résultats. Le volume respiratoire et la surface corporelle feraient suite au poids corporel, avec une valeur  $r_s$  égale à 0,12 ( $p = 0,02$ ) pour le premier et des valeurs  $r_s$  de 0,008 ( $p = 0,87$ ) et 0,12 ( $p = 0,01$ ) pour le second. Le paramètre  $f_s$  et les paramètres de budget espace-temps ( $Ti$  et  $Te$ ) constitueraient les variables d'entrée les moins sensibles, avec des valeurs  $r_s$  comprises entre 0,03 ( $p = 0,53$ ) et 0,11 ( $p = 0,04$ ).



**Figure 18 : Analyses de sensibilité (Coefficients de corrélation des rangs de Spearman)**

*S* : surface corporelle ; *Te* : temps passé à l'extérieur ; *Ti* : temps passé à l'intérieur ; *Pc* : poids corporel ; *fS* : Fraction du corps exposée ; *Ce* : concentration en perméthrine dans l'air extérieur ; *Ci* : concentration en perméthrine dans l'air intérieur ; *Cp* : concentration en perméthrine dans les poussières ;

### 5.3.3 Modélisation de la concentration en *cis*- et *trans*-DCCA

#### 5.3.3.1 Résultats avant calibrage du modèle

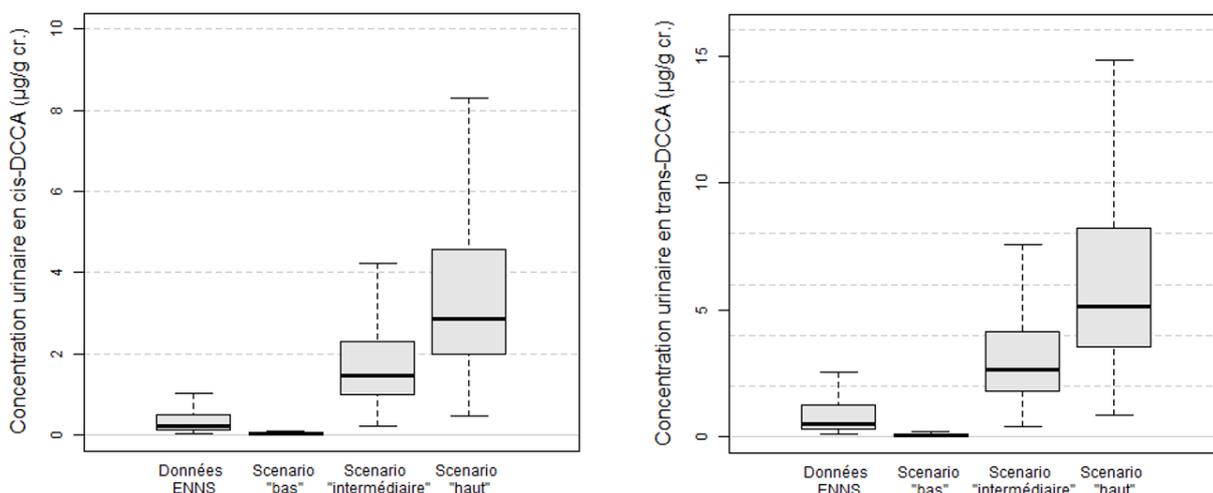
##### 5.3.3.1.1 Présentations des simulations

La concentration en *cis*- et *trans*-DCCA dans les urines de 24h a été estimée selon les 3 scénarios établis pour les 219 individus constituant notre échantillon en utilisant le modèle développé (paragraphe 4.3.4.1). Les résultats des simulations pour les deux isomères sont mis en regard avec les concentrations en *cis*- et *trans*-DCCA mesurées chez les mêmes individus de l'ENNS (Table 38, Figure 19).

**Table 38: Distribution des concentrations urinaires en *cis*- et *trans*-DCCA simulées avant calibrage (scénarios) et mesurées (ENNS) (n=219).**

Imprégnation (µmol/g cr.)	MG	IC 95%	p25	p50	p75	p95
<i>Concentration urinaire en cis-DCCA</i>						
Scénario « bas »	0,03	[0,03 ; 0,03]	0,02	0,03	0,06	0,14
Scénario « intermédiaire »	1,53	[1,41 ; 1,66]	1,00	1,47	2,32	4,23
Scénario « haut »	3,03	[2,79 ; 3,29]	1,98	2,85	4,61	8,29
ENNS	0,28	[0,24 ; 0,32]	0,14	0,23	0,49	1,87
<i>Concentration urinaire en trans-DCCA</i>						
Scénario « bas »	0,05	[0,05 ; 0,06]	0,03	0,05	0,10	0,24
Scénario « intermédiaire »	2,73	[2,52 ; 2,97]	1,78	2,64	4,16	7,56
Scénario « haut »	5,42	[4,99 ; 5,88]	3,54	5,11	8,25	14,82
ENNS	0,68	[0,59 ; 0,79]	0,32	0,53	1,30	5,77

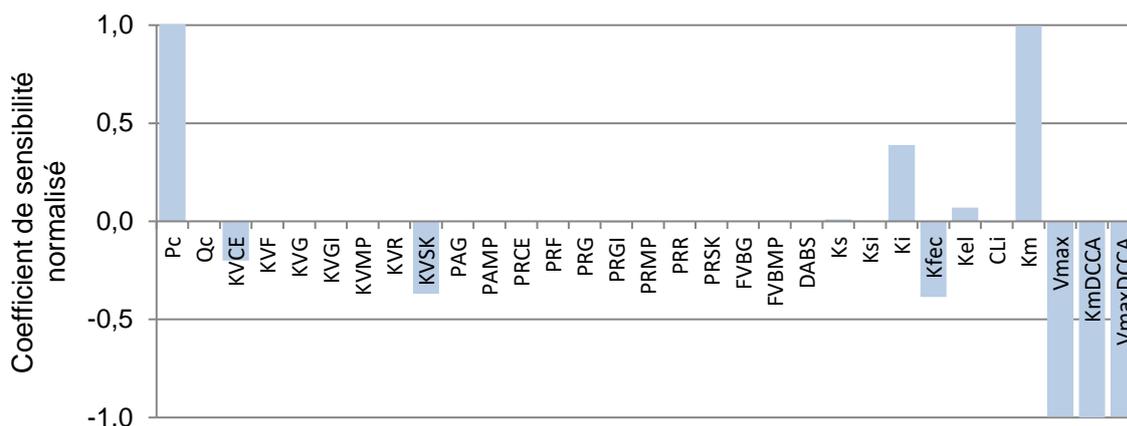
MG : moyenne géométrique ; IC 95% : intervalle de confiance à 95 %



**Figure 19 : Excrétion urinaire en *cis*-DCCA (à gauche) et *trans*-DCCA (à droite) simulée selon les 3 scénarios d'exposition et mesurée lors de l'ENNS (valeurs extrêmes exclues).**

5.3.3.1.2 Analyse de sensibilité

L'impact de la variabilité des facteurs d'entrée du modèle PBPK sur la prédiction de l'excrétion urinaire a été mesuré grâce à l'analyse de sensibilité. La Figure 20 présente les valeurs des coefficients normalisés (NSC) relatifs à chacun des paramètres testés (Table 13, Table 14). La prédiction de l'excrétion du *cis* ou du *trans*-DCCA se fait à l'aide la même formule, les résultats présentés sont donc valables aussi bien pour le *cis* que pour le *trans*-DCCA.



**Figure 20 : Coefficients de sensibilité des paramètres du modèle à l'équilibre pour l'excrétion urinaire de DCCA**

Les paramètres  $V_{\max}$  (vitesse maximale) et  $K_m$  (constante de Michaelis) ont les coefficients les plus élevés et influencent de manière importante le taux d'excrétion de DCCA. Ils entrent dans l'équation de Michaelis-Menten qui décrit le métabolisme hépatique de la perméthrine et la formation de DCCA. Le poids corporel ( $P_c$ ) impacte également le taux d'excrétion du DCCA ce qui est cohérent avec l'expression de l'exposition qui inclut ce paramètre. L'excrétion urinaire de DCCA est modérément influencée par l'excrétion fécale ( $K_{\text{fec}}$ , NSC = -0,386) et par la fraction du poids corporel représentant la peau ( $K_{\text{VSK}}$ , NSC = 0,370). L'absorption intestinale ( $K_i$ ) est également un paramètre modérément sensible qui va affecter l'excrétion de DCCA. Le pourcentage de poids corporel représentant le cerveau est quant à lui un paramètre faiblement sensible ( $K_{\text{VCE}}$ , NSC = -0,199). Au vu des résultats de l'analyse de sensibilité, le calibrage des paramètres de l'équation de Michaelis-Menten par les données de cinétiques humaines s'imposait.

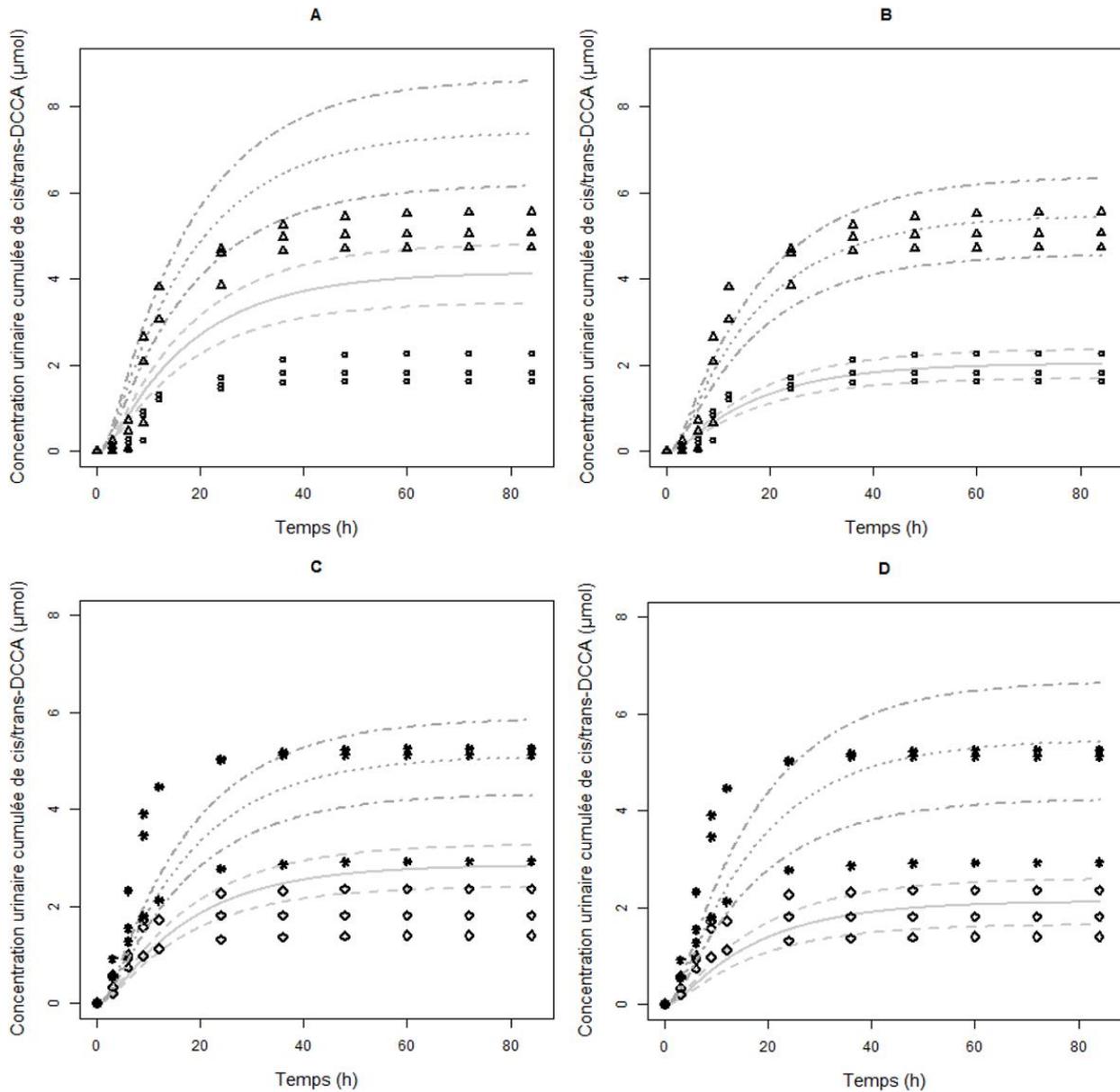
#### 5.3.3.1.3 Calibrage et capacité prédictive

Le modèle a été calibré grâce aux données brutes d'excrétion urinaire de *cis-* et *trans-*DCCA, provenant de l'étude de cinétique humaine de la perméthrine menée par (Ratelle, Côté, et Bouchard 2015). La variable d'intérêt étant l'excrétion urinaire de *cis-* et *trans-*DCCA, il nous est apparu plus pertinent de calibrer les constantes de formation de DCCA ( $V_{\max}$  et  $K_m$ ) lors du métabolisme de phase I de la perméthrine. La valeur de chaque paramètre, avant et après calibrage, est présentée dans la Table 39.

Table 39: Paramètres du modèle calibré.

Paramètres	Valeur initiale	Valeur finale hommes	Valeur finale femmes
<i>cis</i> -DCCA			
$K_m$ ( $\mu\text{mol/l}$ )	36	49,2	40,0
$V_{\text{max}}$ ( $\mu\text{mol/h/kg pc}$ )	43	41,9	37,0
<i>trans</i> -DCCA			
$K_m$ ( $\mu\text{mol/l}$ )	36	28,8	34,1
$V_{\text{max}}$ ( $\mu\text{mol/h/kg pc}$ )	133	114,4	139,9

Les nouvelles valeurs des paramètres calibrés ont été intégrées au modèle. Afin d'évaluer l'impact du calibrage sur la capacité prédictive du modèle, les données simulées par le modèle ont été confrontées aux données expérimentales mesurées chez les 6 volontaires (Figure 21). L'excrétion urinaire moyenne (IC 95%) de *cis*- et *trans*-DCCA cumulée obtenue après une simulation de Monte-Carlo est représentée séparément chez les hommes (Figure 21, a et b) et chez les femmes (Figure 21, c et d) avant et après calibrage. Le calibrage améliore nettement la capacité prédictive du modèle. Ce résultat est bien visible chez les hommes, où la concentration urinaire simulée de DCCA, que ce soit pour l'isomère *cis*- ou pour l'isomère *trans*- est plus proche des valeurs mesurées chez les volontaires. L'étendue de l'intervalle de confiance autour des simulations a également été réduite. Dans le groupe des femmes, le calibrage a permis de diminuer l'écart entre la prédiction de l'excrétion urinaire de *cis*-DCCA et les valeurs mesurées chez les volontaires mais aussi de diminuer l'étendue de l'intervalle de confiance autour des simulations du modèle. En revanche, l'intervalle de confiance autour des simulations des concentrations urinaires de *trans*-DCCA a augmenté du fait de l'utilisation des mesures plus basses observées chez une des volontaires. Au vu de ces résultats, il est nécessaire de garder ce calibrage pour prédire les concentrations urinaires en *cis*- et *trans*-DCCA chez les individus.



**Concentrations urinaires mesurées :**

- Concentration urinaire de cis-DCCA mesurée chez des volontaires sains hommes (µmol)
- ▲ Concentration urinaire de trans-DCCA mesurée chez des volontaires sains hommes (µmol)
- ◇ Concentration urinaire de cis-DCCA mesurée chez des volontaires sains femmes (µmol)
- \* Concentration urinaire de trans-DCCA mesurée chez des volontaires sains femmes (µmol)

**Concentrations urinaires simulées à partir du modèle PBPK :**

- Concentration urinaire de cis-DCCA simulée à partir du modèle PBPK (µmol)
- - - Bornes haute et basse de l'IC 95% des simulations de concentration urinaire de cis-DCCA (µmol)
- ... Concentration urinaire de trans-DCCA simulée à partir du modèle PBPK (µmol)
- - - Bornes haute et basse de l'IC 95% des simulations de concentration urinaire de trans-DCCA (µmol)

**Figure 21 : Simulation de l'excrétion urinaire de *cis*-DCCA et *trans*-DCCA cumulée (IC 95%) chez les hommes et chez les femmes , respectivement avant (A, C) et après calibrage (B, D)**

5.3.3.2 Résultats après calibrage du modèle

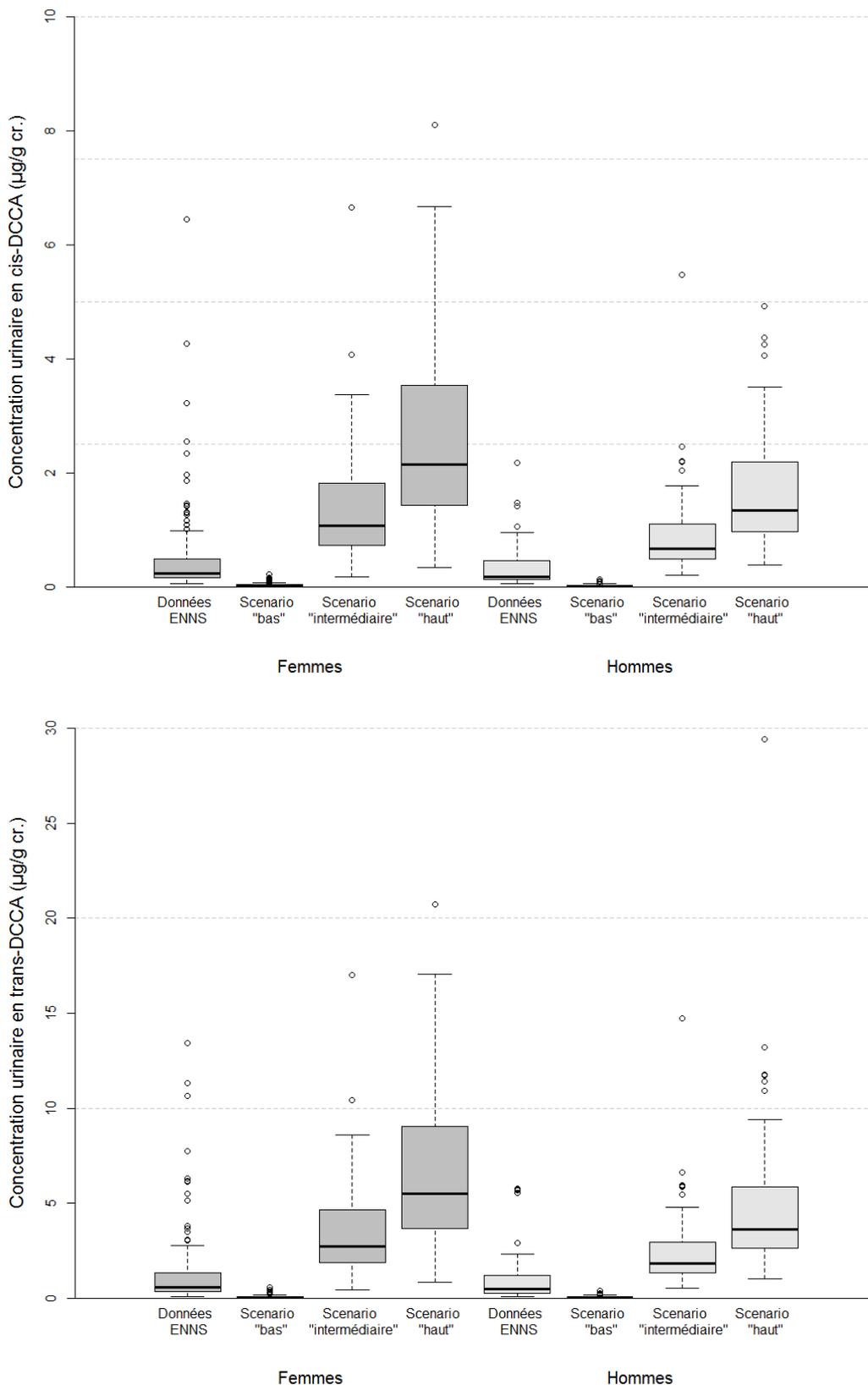


Figure 22 : Excrétion urinaire de *cis*-DCCA et *trans*-DCCA simulée après calibrage et observées lors de l'ENNS (valeurs extrêmes exclues).

La simulation de l'excrétion urinaire de DCCA des individus a de nouveau été réalisée en incluant les paramètres calibrés dans le modèle (Figure 22) puis comparée aux niveaux observés dans l'ENNS à l'aide d'un test de Student apparié. La moyenne géométrique des concentrations urinaires prédites de *cis*-DCCA, selon les scénarios « bas », « intermédiaire » et « haut » sont respectivement de 0,019 [0,017 ; 0,021]  $\mu\text{mol/g}$  créatinine, 0,96 [0,88 ; 1,05]  $\mu\text{mol/g}$  créatinine et 1,91 [1,75 ; 2,08]  $\mu\text{mol/g}$  créatinine. Les niveaux d'imprégnation simulés dans le scénario « bas » sont très en-deçà des niveaux mesurés dans l'ENNS (0,28 [0,25 ; 0,32]  $\mu\text{mol/g}$  créatinine). Les concentrations urinaires simulées à partir des scénarios « haut » et « intermédiaire » sont quant à elles supérieures à celles mesurées dans l'échantillon. Les niveaux d'imprégnation se situent entre les simulations des scénarios « bas » et « intermédiaire ». La comparaison statistique des excrétions urinaires de *cis*-DCCA simulées selon les 3 scénarios d'exposition, et de celles observées dans l'ENNS sont significativement différentes (toutes les p-valeurs <  $10^{-4}$ ).

La moyenne géométrique des niveaux d'imprégnation en *trans*-DCCA simulées à partir des 3 scénarios d'exposition est de 0,049 [0,043 ; 0,055]  $\mu\text{mol/g}$  créatinine pour le scénario « bas », 2,51 [2,30 ; 2,73]  $\mu\text{mol/g}$  créatinine pour le scénario « intermédiaire » et 4,96 [4,56 ; 5,41]  $\mu\text{mol/g}$  créatinine pour le scénario « haut ». Il est constaté que les excrétions urinaires de *trans*-DCCA observés dans l'ENNS (0,68 [0,59 ; 0,79]  $\mu\text{mol/g}$  créatinine) se situent entre les niveaux simulés à partir des scénarios « bas » et « intermédiaire ». Ce résultat est le même que celui observé pour les concentrations urinaires en *cis*-DCCA. De la même façon, la comparaison des niveaux d'imprégnation simulés sont significativement différents de ceux observés dans l'ENNS (toutes les p-valeurs <  $2,2 \cdot 10^{-16}$ ).

Les hypothèses formulées, notamment sur le remplacement des données censurées, dans les scénarios « intermédiaire » et « haut » semblent surestimer l'exposition en perméthrine et de ce fait les niveaux d'imprégnation en DCCA.

Les distributions de concentration en DCCA simulée et mesurée chez les hommes et chez les femmes sont présentées dans les Table 40 et Table 41. Les concentrations urinaires en *cis*- et *trans*-DCCA simulées (pour tous les scénarios) sont significativement supérieures chez les femmes par rapport aux concentrations urinaires simulées chez les hommes ( $p < 0,008$ , test de Mann-Whitney). Cette différence apparaît à la suite du calibrage du modèle, elle est également observée dans l'ENNS mais non expliquée.

**Table 40: Distribution des concentrations urinaires en *cis*- et *trans*-DCCA simulées après calibrage (scénarios) et mesurées (ENNS) chez les hommes.**

Hommes (n=74)	MG	IC 95%	min	p25	p50	p75	p95	max
<i>Concentration urinaire en cis-DCCA (<math>\mu\text{g/g cr.}</math>)</i>								
Scénario « bas »	0,01	[0,01 ; 0,02]	0,002	0,01	0,01	0,03	0,06	0,14
Scénario « intermédiaire »	0,74	[0,64 ; 0,85]	0,20	0,49	0,67	1,10	2,20	5,48
Scénario « haut »	1,45	[1,26 ; 1,68]	0,39	0,96	1,34	2,19	4,37	10,9
ENNS	0,23	[0,19 ; 0,28]	0,05	0,13	0,18	0,46	1,05	2,18
<i>Concentration urinaire en trans-DCCA (<math>\mu\text{g/g cr.}</math>)</i>								
Scénario « bas »	0,04	[0,03 ; 0,05]	0,006	0,02	0,03	0,08	0,17	0,37
Scénario « intermédiaire »	1,97	[1,71 ; 2,28]	0,55	1,31	1,81	2,95	5,91	14,7
Scénario « haut »	3,91	[3,38 ; 4,51]	1,04	2,61	3,61	5,88	11,73	29,4
ENNS	0,57	[0,46 ; 0,72]	0,09	0,26	0,48	1,18	5,56	5,77

MG : moyenne géométrique ; IC 95% : intervalle de confiance à 95 %

Les niveaux d'imprégnation en *cis*- et *trans*-DCCA prédits à partir des scénarios « intermédiaire » et « haut », sont supérieurs à ceux observés dans l'ENNS. Ce résultat est observé aussi bien chez les hommes que chez les femmes. Les comparaisons des moyennes de concentrations en *cis*- et *trans*-DCCA simulées et observées dans l'ENNS confirment significativement ce résultat étant donné que toutes les p-valeurs sont inférieures à  $2,2 \times 10^{-16}$ .

Les niveaux d'excrétions urinaires de *cis*- et *trans*-DCCA mesurés dans l'ENNS, se situent, aussi bien chez les hommes que chez les femmes, entre les niveaux de concentrations urinaires simulées à partir des scénarios « bas » et « intermédiaire »

**Table 41: Distribution des concentrations urinaires en *cis*- et *trans*-DCCA simulées après calibrage (scénarios) et mesurées (ENNS) chez les femmes.**

Femmes (n=145)	MG	IC 95%	Min	p25	p50	p75	p95	max
<i>Concentration urinaire en cis-DCCA (µg/g cr.)</i>								
Scénario « bas »	0,02	[0,02 ; 0,02]	0,001	0,01	0,02	0,04	0,10	0,22
Scénario « haut »	2,19	[1,98 ; 2,43]	0,34	1,43	2,15	3,54	5,81	13,1
Scénario « intermédiaire »	1,11	[1,00 ; 1,22]	0,17	0,73	1,07	1,82	2,90	6,65
ENNS	0,31	[0,26 ; 0,37]	0,05	0,16	0,24	0,50	2,34	17,9
<i>Concentration urinaire en trans-DCCA (µg/g cr.)</i>								
Scénario « bas »	0,06	[0,05 ; 0,06]	0,005	0,03	0,06	0,10	0,25	0,57
Scénario « haut »	5,61	[5,07 ; 6,21]	0,86	3,67	5,50	9,05	14,86	33,6
Scénario « intermédiaire »	2,83	[2,56 ; 3,13]	0,43	1,88	2,74	4,66	7,43	17,0
ENNS	0,74	[0,61 ; 0,90]	0,09	0,35	0,57	1,32	6,30	66,0

MG : moyenne géométrique ; IC 95% : intervalle de confiance à 95 %

Le calibrage du modèle a permis d'affiner le rapport *cis:trans* de DCCA excrété qui était de, 1:1,79 pour tous les scénarios avant calibrage, et de 1:2,60 pour tous les scénarios et pour les 2 sexes après calibrage du modèle. Le rapport *cis:trans* de DCCA calculé dans l'ENNS est de 1:2,43 (ratio des moyennes géométriques).

### 5.3.3.3 Part des sources et voies d'exposition à l'imprégnation

Grâce au modèle PBPK, il est possible d'estimer la part de chaque source et voie d'exposition dans l'exposition à la perméthrine c'est-à-dire dans l'excrétion de DCCA (Table 42). Dans les 3 scénarios, l'ingestion est la voie d'exposition la plus importante, elle explique à elle seule la quasi-totalité de l'imprégnation (de 98 à presque 100%). Selon le scénario envisagé, la part des sources varie, allant de 87% à presque 100% pour les aliments et de 11% à 0,2% pour les poussières. La deuxième voie la plus contributrice à l'imprégnation est la voie cutanée. La source prépondérante à cette voie est représentée par les poussières. Enfin, l'exposition par inhalation ne représente qu'une très faible part de l'imprégnation.

D'après le scénario « bas », les aliments constituent la principale source d'exposition suivie des poussières qui représentent 13% (11,3% par ingestion et 1,48% par contact cutané) et enfin l'air qui expliquerait moins de 1% des niveaux d'imprégnation (0,25% par contact cutané et 0,49% par inhalation).

**Table 42 : Part de l'imprégnation représentée par les différentes sources et voies d'exposition selon les différents scénarios.**

Contribution (%)	Scénario "bas"	Scénario "intermédiaire"	Scénario "haut"
<i>Ingestion</i>	98 [97,6 ; 98,4]	99,9 [99,9 ; 100]	99,97 [99,96 ; 99,98]
Aliments	86,7 [84,2 ; 89,2]	99,6 [99,4 ; 99,7]	99,79 [99,69 ; 99,85]
Poussières	11,3 [9 ; 13,5]	0,38 [0,25 ; 0,52]	0,198 [0,13 ; 0,27]
<i>Contact cutané</i>	1,51 [1,22-1,82]	0,05 [0,03 ; 0,07]	0,03 [0,02 ; 0,04]
Poussières	1,48 [1,18-1,78]	0,05 [0,032 ; 0,068]	0,026 [0,016 ; 0,035]
Air (particule)	0,25 [0,08-0,43]	0,006 [0,002 ; 0,01]	0,003 [0,001 ; 0,005]
<i>Inhalation</i>	0,49 [0,27 ; 0,72]	0,008 [0,005 ; 0,011]	0,004 [0,003 ; 0,006]

## 5.4 Analyse des sources d'incertitude

En évaluation des risques, la source de l'incertitude peut être due à un manque ou une limite des connaissances sur les voies d'exposition considérées, la population cible, le scénario d'exposition, les modèles ou les données utilisées... (Anses 2016). Cette analyse a pour but d'identifier, décrire et communiquer les incertitudes associées aux résultats.

**Table 43 : Sources d'incertitudes identifiées lors de l'évaluation de l'exposition de la population aux pyréthrinoïdes (1)**

Source de l'incertitude	Origine	Prise en compte	Impact
<i>Typologie des incertitudes des scénarios</i>			
<i>Hypothèses pour le calcul des expositions</i>			
Phase gazeuse dans l'air négligeable	Mesure de la contamination de l'air extérieur et intérieur différente	Sans objet	Négligeable
Phase particulaire entièrement inhalable	Manque de précision de mesure		Surestimation
Les microenvironnements intérieurs ont la même contamination que les logements	Manque de données	Sans objet	Inconnu
Fraction du corps exposé	Manque de données	Conditions estivales	Surestimation
Utilisation de traitement antipuce	Manque de données	Non	Sous-estimation
Ingestion de particules en suspension	Manque de données	Considéré comme inhalé	Inconnu

**Table 44 : Sources d'incertitudes identifiées lors de l'évaluation de l'exposition de la population aux pyréthrinoïdes (2)**

Source de l'incertitude	Origine	Prise en compte	Impact
<i>Typologie des incertitudes des modèles</i>			
<i>Calcul d'exposition</i>			
Utilisation de recettes	Alignement des données de consommation et données des PS/PC	Sans objet	Surestimation
<i>Données de contaminations environnementales</i>			
Sélection des données	Manque de données	Revue bibliographique critères présentés en Annexe 2	Inconnu
Représentativité	Peu de prélèvements	Simulation de lois de probabilité (variabilité)	Inconnu
	Localisation régionale	Sans objet	Inconnu
Précision des mesures	Données censurées	Traitement de la censure différent selon le pourcentage de quantification	Inconnu
<i>Données de contamination des denrées alimentaires</i>			
Sensibilité des méthodes d'analyse	Seuils de censure importants	Application de scénarios (WHO 2013)	Surestimation
Précision des mesures	Données censurées	Application de scénarios (WHO 2013)	Inconnu
<i>Paramètres des modèles</i>			
Calcul du volume respiratoire, surface corporelle	Manque de données	Au niveau individuel en fonction de l'âge, sexe, poids et taille	Inconnu
Quantité de poussières ingérée, quantité de poussières adhérant à la peau, vitesse de sédimentation des particules de l'air vers la peau, fraction de perméthrine contenue dans les poussières	Manque de données	Valeur de la littérature	Inconnu
Budget espace-temps	Manque de données	Calculé au niveau individuel en fonction de l'âge, sexe, PCS et situation professionnelle	Inconnu
Temps d'exposition aux poussières	Manque de données	Valeur maximale	Surestimation

**Table 45 : Sources d'incertitudes identifiées lors de l'évaluation de l'exposition de la population aux pyréthrinoïdes (3)**

Source de l'incertitude	Origine	Prise en compte	Impact
<b>Typologie des incertitudes des modèles</b>			
<i>Modèle PBPK</i>			
Modélisation de la voie sublinguale	Manque de données	Sans objet	Inconnu
Modélisation du compartiment buccal	Manque de données	Sans objet	Inconnu
Estimation de la créatininurie	Manque de données	Estimé au niveau individuel	Inconnu
Volume des compartiments	Manque de données	Estimation individuelle. Prise en compte de la variabilité	Inconnu
Coefficient de partage et de perméabilité, constantes de cinétique, données de métabolisme hépatique	Manque de données	Valeur de la littérature	Inconnu

## 6 Discussion

### 6.1 Mise en place d'une méthode de calcul des expositions externes et interne

Cette étude constitue une première étape dans l'estimation de l'exposition agrégée aux pyréthrinoïdes en population générale française. Les expositions ont été calculées sur la population adulte de l'ENNS. Les travaux réalisés ont permis de mettre en place une méthode d'estimation des expositions de la population générale adulte à partir des informations disponibles sur la contamination de l'air extérieur, l'air intérieur, des poussières et des aliments par les substances de la famille des pyréthrinoïdes jusqu'à l'imprégnation des individus et de la contribution relative des différentes sources et voies d'exposition. Les modèles d'exposition proposés considèrent différentes voies d'exposition (inhalation, ingestion et contact cutané). Cette méthode grâce aux données ENNS, a permis de prendre en compte la variabilité des situations d'exposition. En effet, la plupart des paramètres humains intégrés dans les modèles sont issus d'une enquête. La faisabilité de la mise en place d'une telle méthode, ainsi que les avantages et limites des modèles proposés ont pu être illustrés par une étude de cas à travers le calcul des expositions à la perméthrine. La prise en compte des expositions internes permet d'apprécier la vraisemblance des scénarios d'exposition externe.

#### 6.1.1 Exposition alimentaire

L'estimation de l'exposition alimentaire de la population générale adulte est comprise en moyenne entre 9,46 ng/kg pc/j et 821 ng/kg pc/j, selon le scénario envisagé. Aucun dépassement de la DJA n'est observé. Ce résultat n'est pas étonnant car la perméthrine n'est plus autorisée en agriculture depuis l'année 2000. L'exposition alimentaire calculée dans le présent travail peut être mise en regard des estimations calculées dans les avis relatifs à l'actualisation des indicateurs de risque alimentaire lié aux résidus de pesticides (ANSES 2014) et au programme 2013 de surveillance des résidus de pesticides dans les aliments (ANSES 2012). Dans ces deux avis, l'apport journalier en perméthrine estimé pour la population adulte est de 10 ng/kg pc/j et de 180 ng/kg pc/j, respectivement (estimations basées sur le scénario « haut »). L'ordre de grandeur est similaire à celui déterminé dans la population ENNS, cependant l'exposition de la population ENNS est plus élevée. Ceci s'explique en partie par le nombre plus important de données de contamination prises en compte dans les estimations du présent travail ainsi que par l'utilisation d'un nombre plus important de recettes couvrant l'ensemble du régime alimentaire de la population.

Les études de l'alimentation totale (EAT) menées en population générale, aux États-Unis (Winter 2015), en Nouvelle-Zélande (MAF 2011) et à Hong Kong (Wong *et al.* 2014) montrent une exposition alimentaire chronique moyenne à la perméthrine de l'ordre du nanogramme par kilogramme de poids corporel et par jour (respectivement de 73,4 ng/kg pc/j, de 0,7 ng/kg pc/j et de 35 ng/kg pc/j). Les différences de niveau d'exposition observées entre ce travail et les EAT mentionnées ci-dessus ne sont pas aberrantes compte tenu des divergences méthodologiques. En effet, dans une EAT, le niveau de contamination est mesuré sur un aliment tel que consommé c'est-à-dire éventuellement préparé (cuit, pelé, pressé...). Cette préparation peut engendrer une diminution de la contamination par dénaturation de la substance ou simplement par élimination de la partie de l'aliment contenant la substance. Les données de contamination utilisées dans ce travail proviennent des plans de contrôle et de surveillance des aliments bruts, menés par la DGS, DGAL et DGCCRF. Pour se rapprocher de l'aliment tel que consommé, en plus de l'utilisation des recettes, il serait intéressant d'utiliser des « processing factors ». Ces facteurs, correspondant à des coefficients, traduisent une diminution ou une augmentation de la concentration en substances

actives, lors de la préparation de l'aliment. Ces facteurs sont donc dépendants de la préparation, de la substance ainsi que de l'aliment, rendant complexe leur détermination. L'institut fédéral allemand d'évaluation des risques (BfR) développe un outil recensant ces facteurs mais aucun n'est actuellement disponible pour la perméthrine.

### 6.1.2 Expositions environnementales

Nos résultats sont difficilement comparables avec ceux de la littérature car peu d'études ont été menées sur les expositions des adultes aux pyréthrinoïdes par le biais de l'air et les poussières sédimentées. La plupart des études se focalisent sur les populations sensibles, notamment les enfants (Berger-Preiss et al., 2002 ; Quirós-Alcalá et al., 2011 ; Tolve et al., 2008 ; Zartarian et al., 2012 ; Morgan et al., 2007, 2014). Seulement deux études sont disponibles chez les adultes. Ertl & Butte (2012) ont calculé les expositions des adultes à la perméthrine *via* les poussières sédimentées (fraction particulaire < 63 µm) dans 200 logements en Allemagne, mais ne fournissent pas les valeurs d'exposition obtenues. Il est donc impossible de vérifier si leurs résultats sont du même ordre de grandeur que ceux des expositions estimées dans le cas présent. Par ailleurs, (Li *et al.* 2014) ont calculé l'exposition des adultes à la perméthrine présente dans l'air extérieur en zone résidentielle dans la province de Tianhe en Chine. Ils obtiennent une exposition par inhalation de  $1,6 \cdot 10^{-3}$  ng/kg pc/j, ce qui est supérieure d'un facteur 100 à l'exposition calculée dans le présent travail (moyenne de  $2,5 \cdot 10^{-5}$  [ $1,9 \cdot 10^{-5}$  ;  $3,1 \cdot 10^{-5}$ ] ng/kg pc/j). Cependant, les résultats de (Li *et al.* 2014) sont difficilement comparables aux expositions de la population ENNS étant donné le cadre réglementaire sur les usages de pesticides très différent entre la Chine et la France. En effet, les concentrations en perméthrine mesurées dans l'air extérieur par (Li *et al.* 2014) étaient supérieures aux concentrations considérées dans notre étude (0,07 ng/m<sup>3</sup> dans l'étude de (Li *et al.* 2014), contre une moyenne de  $3 \cdot 10^{-3}$  ng/m<sup>3</sup> dans le présent travail).

Les expositions estimées pourraient être comparées à des valeurs toxicologiques de référence (VTR) mais, à notre connaissance, il n'existe pas de VTR par voie inhalatoire et par voie cutanée pour la perméthrine. En revanche, une VTR par voie orale et pour une durée d'exposition chronique est disponible pour cette substance (JMPR 1987). Cette VTR est fixée à 0,05 mg/kg pc/j (soit à  $5 \cdot 10^4$  ng/kg pc/j). L'estimation de l'exposition de la population générale à la perméthrine par ingestion de poussières (moyenne de 1,1 [0,8 ; 1,3] ng/kg pc/j) est nettement inférieure à cette VTR. Cependant, il est indispensable de mettre en perspective l'ensemble des sources et voies d'exposition, notamment alimentaires. L'exposition alimentaire s'élève à 0,02% (scénario « bas »), 1,64% (scénario « haut ») et 0,83% (scénario « intermédiaire ») de la VTR ; il existe un facteur 10 entre l'exposition par ingestion de poussières et le scénario « bas » d'exposition pour la voie alimentaire (moyenne 9,46 [7,88 ; 11,0]). Compte tenu des très fortes incertitudes associées au présent travail, il serait important d'affiner l'évaluation des expositions et des risques sur les voies non-alimentaires, qui pourraient constituer des sources non négligeables d'exposition aux pyréthrinoïdes.

### 6.1.3 Modèle PBPK

Le modèle PBPK présenté dans ce rapport a été établi à partir de plusieurs modèles préexistants, l'un décrivant les processus ADME de la deltaméthrine chez le rat (Mirfazaelian *et al.* 2006) et deux autres modélisant les processus ADME de la perméthrine chez l'Homme (Tornero-Velez *et al.* 2012, Wei, Isukapalli, et Weisel 2013). Le modèle établi permet ainsi de décrire l'excrétion urinaire de deux métabolites de la perméthrine, le *cis*- et le *trans*-DCCA.

L'analyse de sensibilité a mis en évidence que les paramètres décrivant le métabolisme hépatique de la perméthrine influençaient très fortement l'estimation de l'excrétion urinaire de DCCA. Il était donc important d'affiner l'estimation des paramètres  $K_m$  et  $V_{max}$  afin d'améliorer la prédiction du modèle. Pour cette phase de calibrage, nous disposons de données expérimentales retraçant l'excrétion urinaire des métabolites de la perméthrine chez 6 volontaires sains (Ratelle, Côté, et

Bouchard 2015). Ces données ont été converties en quantité cumulée de *cis-* et *trans*-DCCA de façon à les intégrer dans notre modèle lors du calibrage. Le sexe de l'individu « simulé » étant pris en compte dans le modèle, le calibrage de ces paramètres a été réalisé séparément pour les hommes et pour les femmes. Le nombre suffisant de mesures de la concentration urinaire du DCCA au cours du temps (5 mesures les 12 premières heures puis toutes les 12h jusqu'à 84 h après ingestion permettait d'observer précisément la cinétique d'excrétion urinaire des métabolites au cours des premières heures après ingestion. Néanmoins, le faible nombre de sujets ainsi que l'absence de doses répétées, ne permettaient pas de prendre en compte la variabilité inter- et intra-individuelle du métabolisme hépatique de la perméthrine. Le calibrage a permis d'obtenir, lors des simulations, un ratio *cis:trans*-DCCA de 1:2,60. Ce ratio est plus proche de celui mesuré dans l'ENNS (1:2,43) car avant le calibrage il était de 1:1,79 (cf. paragraphe 4.3.5.2). Toutefois les données relatives aux différences d'activité des carboxyles estérases (CaE), responsables de l'hydrolyse de la perméthrine et de la formation de DCCA, selon le sexe sont divergentes. Des études ont montré que chez le rat adulte, l'activité des CaE est plus faible chez les femelles (Morgan *et al.* 1994, Moser *et al.* 1998). Dans l'étude menée par (Zhu *et al.* 2009), les auteurs concluent qu'il est peu probable que le sexe soit un facteur de régulation de l'activité des CaE dans le foie de souris et le foie humain. (Butte et Kemper 1999) n'ont également pas mis en évidence de corrélation entre l'activité des CaE et l'âge et/ou le sexe de 48 sujets humains.

Une fois le modèle calibré, l'excrétion urinaire de DCCA a été simulée en tenant compte des divers scénarios d'exposition. Ces simulations ont ensuite été mises en regard avec les mesures effectuées sur ces mêmes individus dans l'ENNS. La concentration urinaire en DCCA issue des simulations du scénario « bas » (hypothèse alimentaire basse) est inférieure à celle quantifiée dans la population de l'ENNS. Dans ce scénario, l'exposition alimentaire contribue à 86,7 % à l'exposition à la perméthrine, l'exposition aux poussières représente 13 % de l'imprégnation avec 11,3 % par ingestion et 1,5 % par voie cutanée. L'air semble quant à lui être une source d'exposition négligeable, l'inhalation et l'exposition cutanée par l'air représentent respectivement 0,49 % et 0,25 % de l'imprégnation. Les simulations issues du scénario « haut » (hypothèse alimentaire haute) sont bien supérieures aux concentrations urinaires mesurées dans la population ENNS. Ce scénario semble surestimer les niveaux d'exposition et attribue 99,97% de l'imprégnation à l'exposition alimentaire à la perméthrine, ce qui est une surestimation de la contribution compte tenu du traitement de la censure. Les concentrations urinaires en DCCA issues des simulations du scénario « intermédiaire » semblent plus proches des niveaux quantifiés dans l'ENNS, bien que les concentrations modélisées soient supérieures. Dans ce scénario, la quasi-totalité de l'exposition à la perméthrine est ici imputable à l'exposition alimentaire (99,9 %). Or l'usage de la perméthrine est interdit en milieu agricole depuis 2000 en Europe, les aliments dont la contamination avait été quantifiée ont tous une origine hors Europe. Dans ce cas le scénario « bas » semble être le plus réaliste des trois.

Les écarts entre les concentrations urinaires mesurées et simulées à partir du scénario « bas » ont plusieurs origines. Tout d'abord, certaines expositions environnementales n'ont pas été prises en compte dans l'établissement des scénarios. C'est notamment le cas de certains déterminants, mis en évidence dans l'ENNS, mais pour lesquels aucune information n'était disponible, comme l'usage de pesticides en milieu intérieur (insecticides, traitement des plantes d'intérieur ou des animaux de compagnie, exposition professionnelle) ou en milieu extérieur (traitement d'un jardin, potager...). Le nombre de traitements effectués, leur durée, leur fréquence, le type ou la quantité de produit utilisé (substance active) n'étaient pas spécifiés, rendant ainsi difficile l'affinage des scénarios d'exposition à partir de ces informations. Pourtant l'ENNS a montré que les personnes traitant leurs animaux de compagnie avec des produits antipuces ont un niveau d'imprégnation significativement plus important que celles ne traitant pas leurs animaux ou n'ayant tout simplement pas d'animaux de compagnie. Ces traitements ayant une efficacité de quelques mois, il est possible de supposer que la famille de l'animal traité peut être exposée par voie cutanée mais également par ingestion lors des soins quotidiens et jeux avec l'animal (relargage dans l'air et/ou poussières, contact main bouche...). De plus, le DCCA pourrait également être présent dans l'environnement ou dans l'alimentation. Cette molécule est plus hydrophile que la perméthrine (DCCA : LogP = 4 ; perméthrine : LogP = 6,5) et une fois ingérée sera alors peu absorbée. À notre

connaissance, aucune information n'est disponible sur les niveaux de contamination en DCCA dans l'environnement mais cette hypothèse n'est pas à exclure. D'autre part, le DCCA n'est pas un métabolite spécifique de la perméthrine mais il est également commun à la cyperméthrine et à la cyfluthrine qui sont autorisées en Europe et notamment en usage agricole. La concentration urinaire mesurée dans l'ENNS n'est donc pas entièrement imputable à l'exposition à la perméthrine. De ce fait, un modèle PBPK agrégé intégrant la perméthrine, la cyperméthrine et la cyfluthrine devrait permettre de mieux décrire l'excrétion urinaire du DCCA et d'identifier la contribution de chacun de ces pyréthrinoïdes à l'imprégnation.

## 6.2 Limites et préconisations méthodologiques

### 6.2.1 Exposition alimentaire

L'estimation de l'exposition alimentaire est basée sur des données de contamination de 136 denrées brutes différentes représentant un total de 35 113 échantillons analysés. La fréquence de quantification de la perméthrine sur l'ensemble de ces échantillons est de 0,11 %. Afin d'estimer l'exposition agrégée, il est nécessaire de prendre en compte la voie orale. Mais la faible quantification des données entraîne l'élaboration de scénarios d'exposition ainsi que la formulation d'hypothèses ayant un fort impact sur la contamination des aliments. En effet l'insuffisance des performances analytiques impacte lourdement l'exploitation des scénarios. Cet impact est double car il concerne à la fois le nombre de données censurées ainsi que les hypothèses de calculs (remplacement des données censurées par les valeurs de seuils analytiques). Par exemple les LOQ de la perméthrine dans la viande s'étendent de 0,0002 à 0,05 mg/kg, ces LOQ sont très hétérogènes et pour certaines élevées, reflétant l'utilisation de méthodes analytiques peu performantes et non homogènes entre laboratoires. L'utilisation de données recueillies dans le cadre des plans de contrôle et de surveillance n'est pas réellement adaptée au calcul d'expositions pour les raisons énoncées précédemment. Les laboratoires sont tenus de fournir une précision analytique permettant de conclure sur la conformité d'une denrée au vue de la réglementation, très souvent en fixant le seuil de quantification au niveau du seuil réglementaire et ne sont pas tenus d'améliorer cette performance analytique. Les données issues des plans de contrôle et de surveillance ne sont pas recueillies dans le but de décrire précisément les niveaux de contamination.

La perméthrine étant interdite en usage agricole, le scénario « bas » semble le plus probable. Les distributions de l'exposition alimentaire établies à partir de ces scénarios montrent finalement deux tendances : le scénario « bas » *versus* les scénarios « haut » / « intermédiaire ». Dans le scénario « bas » seules les denrées quantifiées sont contributrices même si elles sont peu consommées car on considère que les denrées ayant un niveau de contamination inférieur au seuil de quantification comme non contaminées. Dans les scénarios « haut » et « intermédiaire », toutes les denrées sont considérées comme contenant de la perméthrine avec comme contamination minimale la limite de détection ou de quantification. Les denrées les plus contributrices deviennent celles qui sont le plus consommées en tant qu'aliment ou qui apparaissent le plus souvent dans les recettes utilisées pour décomposer les aliments. C'est ainsi que seules deux denrées sont communes aux trois scénarios: les produits laitiers de vache et la tomate. Malgré la faible quantification de contamination en perméthrine dans les denrées, la voie alimentaire reste, sur la base de nos calculs, prépondérante en termes d'imprégnation.

## 6.2.2 Expositions environnementales

### 6.2.2.1 Les données de contamination

Les niveaux de contamination de l'air extérieur, l'air intérieur et les poussières par la perméthrine n'ont été mesurés que dans 5 communes en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Air PACA, 2012) et 30 logements en Bretagne (Blanchard et al., 2014). Ces données régionales ont été extrapolées à la population générale française, alors que l'utilisation des pesticides pourrait être variable sur le territoire.

La disponibilité restreinte des données de contamination a impliqué la formulation de nombreuses hypothèses. Premièrement, la concentration en perméthrine a été considérée comme négligeable dans la phase gazeuse de l'air intérieur et extérieur. Cette hypothèse, qui reste assez vraisemblable au regard du comportement de la perméthrine dans l'environnement (Berger-Preiss et al., 1997 ; Leng et al., 2005), pourrait impliquer une sous-estimation des expositions par inhalation et par voie cutanée. De plus, les niveaux de contamination de la fraction particulaire de l'air intérieur n'étaient disponibles que pour les PM10, qui sont majoritairement inhalés (AFSSET 2009). Pour l'air extérieur, nous ne disposons que des niveaux de contamination de la fraction particulaire totale qui comporte un mélange de particules de petite taille majoritairement inhalées et de particules de grande taille majoritairement ingérées (AFSSET 2009). Par conséquent, la phase particulaire de l'air intérieur et extérieur a été considérée comme entièrement inhalable. Cette hypothèse pourrait impliquer une sous-estimation de l'exposition par ingestion, car la contribution des particules en suspension n'a pas pu être évaluée. Cette hypothèse pourrait également impliquer une surestimation de l'exposition par inhalation par le biais de l'air extérieur. En outre, seules les expositions cutanées *via* la phase particulaire de l'air et les poussières ont pu être investiguées en raison de l'absence de données de contamination pour les autres sources, notamment pour la phase gazeuse de l'air. Ce contexte pourrait induire une sous-estimation de l'exposition par voie cutanée. Enfin, les concentrations en perméthrine mesurées dans l'air intérieur et dans les poussières des logements (Blanchard et al., 2014) ont été assimilées à tous les environnements intérieurs. L'impact de cette hypothèse sur les résultats est difficile à estimer car aucune information n'apparaît disponible dans la littérature sur les niveaux de contamination des bureaux ou des véhicules par la perméthrine ou, plus généralement, par les pyréthrinoïdes.

Les méthodes employées pour le prélèvement, l'extraction et la quantification des pyréthrinoïdes dans l'air et les poussières sont très variables d'une étude à l'autre (Annexe 2), ce qui implique une grande hétérogénéité des données de contamination disponibles. Par exemple, les méthodes de prélèvement de l'air varient en termes de volume prélevé (débit et durée du prélèvement) ou de type de filtre et de mousse utilisés, respectivement, pour le prélèvement de la phase particulaire et de la phase gazeuse. De même, les différentes méthodes employées pour le prélèvement des poussières impliquent des disparités d'unités (niveaux de contamination en  $\mu\text{g/g}$  avec un aspirateur et en  $\mu\text{g/m}^2$  avec une lingette). Par conséquent, les données de contamination disponibles ne sont pas toujours comparables et ne peuvent pas être regroupées pour une exploitation commune. Cette hétérogénéité des données de contamination apparaît d'autant plus préoccupante au regard de notre analyse de sensibilité, qui montre que la variabilité des expositions calculées est essentiellement expliquée par celle des données de contamination. En effet, une modification des distributions appliquées aux données de contamination peut faire varier d'un facteur 10 les estimations d'exposition (Annexe 11). L'uniformité des méthodes de mesure de la contamination serait donc primordiale pour une estimation fine des expositions aux pyréthrinoïdes *via* l'air et les poussières.

L'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur a communiqué des concentrations en perméthrine mesurées dans 285 domiciles lors d'une étude nationale menée en 2003-2005 (Mandin *et al.* 2016). L'ordre de grandeur entre ces mesures et les distributions simulées semble le même (médiane :  $55,9 \text{ pg/m}^3$  *versus*  $2 \text{ pg/m}^3$ ). Toutefois, l'accès aux données brutes permettrait de le vérifier et d'infirmer également les différentes hypothèses formulées dans ce travail notamment au sujet de l'extrapolation des données régionales au niveau national ainsi que le choix des lois de probabilités pour simuler les distributions de contamination.

### 6.2.2.2 Les paramètres populationnels

Lorsque les paramètres humains nécessaires aux calculs des expositions n'étaient pas fournis par l'ENNS, la démarche générale pour combler les informations manquantes était de privilégier les données françaises et individuelles. Cependant, il n'a pas toujours été possible de suivre cette démarche.

Le volume respiratoire ( $V_r$ ) et la surface corporelle ( $S$ ) ont été estimés pour chaque individu à partir d'équations dont les paramètres ont été définis sur la population internationale « Oxford » (Henry, 2005) et sur la population américaine (Gehan & George, 1970 ; Basiotis, 1989). Ces équations ne sont pas propres à la population française et leur utilisation pourrait mener à des valeurs de volumes respiratoires et de surface corporelle ne correspondant pas aux valeurs réelles dans la population. Cependant, les valeurs de volume respiratoire obtenues pour la population ENNS (moyenne de 14,9 [14,7 – 15,1] m<sup>3</sup>/j pour les hommes et de 10,3 [10,1 – 10,7] m<sup>3</sup>/j pour les femmes) sont comparables à celles recommandées par l'EFH de l'US-EPA (2011) (valeurs par classe d'âge de 13,0 à 17,0 m<sup>3</sup>/j pour les hommes et de 9,9 à 11,0 m<sup>3</sup>/j pour les femmes). De même, les valeurs de surface corporelle obtenues (moyenne de 1,91 [1,88 – 1,93] m<sup>2</sup> pour les hommes et de 1,71 [1,67 – 1,76] m<sup>2</sup> pour les femmes) sont comparables à celles utilisées par (Wormuth *et al.* 2006) (1,94 m<sup>2</sup> pour les hommes et 1,69 m<sup>2</sup> pour les femmes) et par (Ertl et Butte 2012) (1,94 m<sup>2</sup> pour les hommes) pour leurs calculs d'exposition par voie cutanée. Elles sont également comparables aux valeurs recommandées par l'EFH de l'US-EPA (2011) (valeurs moyennes par classe d'âge comprises entre 1,84 et 2,15 m<sup>2</sup> pour les hommes et entre 1,69 et 1,89 m<sup>2</sup> pour les femmes). Enfin, notre analyse de sensibilité montre que les niveaux d'expositions obtenus restent similaires quelles que soient les méthodes utilisées pour le calcul du volume respiratoire et de la surface corporelle. Les équations et les paramètres de la population ont peu d'impact sur l'exposition externe comparativement aux données de contamination.

Les paramètres provenant de la bibliographie peuvent induire une certaine incertitude sur les niveaux d'exposition calculés car ils ne permettent pas de tenir compte de la variabilité. De plus, certains paramètres provenant de la littérature n'étaient pas adaptés à la perméthrine et/ou n'étaient peut-être pas représentatifs de la population française. D'une part, la fraction de perméthrine contenue dans les poussières disponible à l'exposition ( $f_p$ ) a été fixée à une valeur unique de 0,15 selon (Wormuth *et al.* 2006) et (Bekö *et al.* 2013). Cependant, cette valeur a été utilisée par ces auteurs pour le calcul de l'exposition cutanée à un phtalate (phtalate de diéthyle, DEP), qui est un COSV plus volatil que la perméthrine. D'autre part, les valeurs attribuées à la quantité de poussières ingérée ( $Q$ ), la fraction de perméthrine contenue dans les poussières disponible à l'exposition ( $f_p$ ) et la quantité de poussières adhérant à la peau ( $M_p$ ) sont peu représentatives de la population française, car elles sont issues d'études américaines (Hawley, 1985 ; US-EPA, 2011) et chinoise (Guo & Kannan, 2011). Nos estimations des expositions par le biais des poussières pourraient donc être incertaines, notamment l'exposition par contact cutané dont la valeur est très sensible aux variations du paramètre  $f_p$  (Annexe 11). Une estimation plus fine des expositions nécessiterait la mise en place d'études nationales pour préciser la gamme de variabilité de ces paramètres pour la population française.

Les données disponibles dans la littérature sur les budgets espace-temps ne correspondaient pas toujours à nos besoins. Notamment, nous n'avons pas trouvé de données détaillées et représentatives de la population française concernant le temps passé en environnement intérieur. Les temps passés en milieu intérieur ( $T_i$ ) et en milieu extérieur ( $T_e$ ) ont donc été estimés par application de proportions aux résultats de l'enquête « Emploi du temps » de l'Insee (2009-2010). Ces proportions ont été attribuées à dire d'experts, ce qui pourrait induire des incertitudes sur nos estimations des budgets espace-temps. Cependant, les temps passés en milieu intérieur calculés (en moyenne de 22,3 [22,1 – 22,5] h/j) concordent avec ceux estimés dans d'autres études. En 2010, l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) et l'InVS ont estimé à 16h le temps moyen qu'un français métropolitain passe à l'intérieur de son logement. Cela est cohérent avec nos estimations du temps passé en milieu intérieur qui ne se limitent pas seulement aux logements, mais englobent l'ensemble des environnements intérieurs (logement, bureau,

transport, lieux de loisirs et de sociabilité...). Dans l'étude européenne EXPOLIS (Schweizer et al., 2007), la proportion de temps passé à l'intérieur (i.e. logement, bureau et tout autre environnement intérieur) au cours d'une journée est estimée entre 92 et 98 % (soit entre 22h et 23h30). Dans l'étude américaine NHAPS (Leech et al., 2002), cette proportion est estimée à 87 % (soit environ 21h) et la proportion de temps passé dans un véhicule à 6 % (soit environ 1h30), le reste du temps (7 %) étant passé à l'extérieur. Une enquête nationale pourrait néanmoins être nécessaire pour préciser la gamme de variabilité des temps passés en environnement intérieur et à l'extérieur pour la population française.

### 6.2.2.3 Calcul des expositions

Nos résultats indiquent que les poussières sédimentées constitueraient la deuxième source majeure d'exposition à la perméthrine, avant l'air. Cela s'expliquerait par le comportement de la perméthrine dans l'environnement, qui pourrait induire une accumulation de la substance dans les poussières. En effet, la perméthrine est peu volatile (US-EPA, 2010) et tend à sédimenter rapidement dans les poussières. Cette substance a également une durée de vie plus courte dans l'air en raison de sa grande photosensibilité (Berger-Preiss et al., 1997 ; Leng et al., 2005). Nos résultats montrent également que l'air intérieur représente la troisième source d'exposition à la perméthrine, avant l'air extérieur. Cela s'explique par le fait que cette substance est plus concentrée dans l'air intérieur que dans l'air extérieur (Figure 16). Au regard des 34 études explorées (Annexe 2), les pesticides sont généralement retrouvés en concentrations plus élevées en environnement intérieur qu'en environnement extérieur. En particulier pour la perméthrine, la réglementation en vigueur interdit l'usage agricole de cette substance depuis 2000, mais autorise encore son usage domestique (European Commission 2008). L'absence de détection de la perméthrine par la plupart des AASQA (excepté Air PACA) pourrait en partie s'expliquer par cette réglementation : les méthodes de prélèvement et de quantification employées ne seraient pas suffisamment sensibles pour détecter la présence d'une contamination passée, d'autant plus que la perméthrine est photosensible.

Le contact cutané et l'ingestion constituent les voies majeures d'exposition à la perméthrine, tandis que la voie inhalatoire est secondaire. Ce résultat est en accord avec l'étude d'Ertl & Butte (2012), qui montrent une exposition à la perméthrine présente dans les poussières plus grande par voie cutanée que par ingestion, suivie de très loin par la voie inhalatoire. Cependant, les paramètres spécifiques des substances utilisés dans les modèles d'exposition cutanée ne sont pas décrits pour toutes les substances. Ces modèles sont construits sur le principe de partition à l'équilibre (Weschler et Nazaroff 2008, 2010, 2012) et sont basés sur des coefficients de transfert de masse qui décrivent le transport des substances de l'air jusqu'à la surface de la peau. Ils ne prennent pas en compte de nombreuses situations de la vie quotidienne, notamment le lavage des mains et du corps, les processus de métabolisation cutanée, la variabilité interindividuelle des propriétés de la peau (e.g. adhérence de la poussière à la peau, épaisseur de la peau...). Des recherches complémentaires seraient nécessaires pour intégrer ces situations dans les modèles.

La contribution importante de la voie cutanée aux expositions doit être relativisée par le fait que ces expositions ont été calculées sur la base d'un scénario maximisant. En effet, un scénario « été » a été considéré pour définir la fraction du corps exposée ( $f_s$ ), car une plus grande surface du corps est généralement découverte à cette période de l'année. L'ensemble des parties du corps découvertes (main, pieds, bras, jambes et tête) a été considéré comme exposé aux poussières. Cette hypothèse est formulée dans les études menées sur les enfants en bas âge, car ces derniers ont tendance à être au contact du sol de par leur taille et leur activité (Bekö *et al.* 2013). La description de l'imprégnation en *cis* et *trans*-DCCA en fonction des saisons n'a pas montré de différence significative. Les adultes étant généralement moins au contact du sol, le paramètre  $f_s$  pourrait être surestimé dans le présent travail. De plus, le scénario « corps humain assis » a été privilégié par rapport au scénario « corps humain debout », ce qui implique une plus grande vitesse de sédimentation des particules de l'air vers la peau ( $v_{pp}$ ) (Shi & Zhao, 2013) mais également une plus grande surface exposée. Enfin, la durée d'exposition cutanée aux poussières a été fixée à 24 h/j ( $T_p$ ), alors qu'elle aurait pu être considérée équivalente au temps passé à

l'intérieur ( $T_i$ ). Cependant, si notre analyse de sensibilité montre que l'exposition par contact cutané est sensible aux paramètres  $f_p$  et  $f_s$ , les niveaux d'expositions obtenus restent similaires lorsque d'autres scénarios sont considérés pour les paramètres  $v_p$  et  $T_p$  (Annexe 11).

#### 6.2.2.4 Critique de la méthode d'un point de vue statistique

Les expositions ont été calculées à l'échelle de la population générale, avec pour objectif de décrire au mieux la variabilité dans la population. Le choix de la méthode de traitement des données de contamination s'est alors porté sur la reconstruction de distributions à partir des données brutes et l'attribution aléatoire d'une valeur de contamination à chacun des individus. Cependant, cette méthode comporte quelques limites. Tout d'abord, la forte corrélation qui existe entre les niveaux de contamination dans l'air intérieur et les poussières n'a pas été prise en compte dans l'attribution aléatoire des valeurs aux individus. Puis, une seule valeur de contamination a été attribuée à chaque individu, alors qu'il aurait été possible d'étudier de manière plus approfondie la variabilité des niveaux de contamination au sein de la population en attribuant plusieurs valeurs différentes à chaque individu. Enfin, les hypothèses fortes émises sur les lois de distribution attribuées aux données de contamination entraînent une grande incertitude sur ces variables et peuvent être à l'origine de leur grande sensibilité dans les modèles d'exposition. Une autre approche aurait consisté à distribuer aléatoirement les valeurs brutes aux individus, sans passer par une étape de reconstruction des distributions. Cependant, le manque de données de contamination ne permettait pas d'appliquer cette méthode dans le présent travail. Enfin, les valeurs censurées ont été remplacées par des valeurs couvrant la gamme de variation des niveaux de contamination entre 0 et la LOQ. D'autres méthodes auraient pu être envisagées pour le traitement des valeurs censurées (EFSA, 2010), comme la considération d'une hypothèse basse et d'une hypothèse haute (avec remplacement des valeurs censurées par 0 et la LOQ respectivement), ou encore le remplacement des valeurs censurées par  $\frac{1}{2}$  de la LOQ.

L'analyse de sensibilité a conduit à l'utilisation du test de corrélation des rangs de Spearman. Ce test fait l'hypothèse de l'indépendance des variables d'entrée. Cette hypothèse n'est pas vérifiée dans notre cas (e.g. le volume respiratoire est calculé à partir du poids corporel). Les indices de Sobol d'ordre 1 auraient pu être utilisés pour déterminer l'influence d'une variable d'entrée (ou groupe de variables) sur la variable de sortie, en prenant en compte son interaction avec les autres variables d'entrée (Jacques, 2011).

### 6.2.3 Modèle PBPK

Les *cis*- et *trans*-DCCA sont quantifiés simultanément dans seulement 55 % des prélèvements urinaires. L'absence de quantification de DCCA dans les urines peut signifier que la personne n'a pas été exposée à la perméthrine, à la cyperméthrine ou à la cyfluthrine au cours des jours précédant le prélèvement urinaire. En effet ces 3 pyréthrinoïdes ont une demi-vie d'élimination très courte d'environ 12h pour la perméthrine, 16h pour la cyperméthrine et 7h pour la cyfluthrine (US-EPA 2007). Une enquête « emplois du temps » sur les 3 journées précédant le prélèvement urinaire aurait permis d'affiner les scénarios d'exposition mais aussi de formuler des hypothèses quant à la censure des concentrations urinaires.

Les données fournies par l'ENNS correspondent aux premières urines du matin, susceptibles d'être plus concentrées en DCCA et en créatinine, d'où le fait de tenir compte de la créatininurie. Dans la mesure où notre modèle permet de calculer la concentration en métabolite dans les urines de 24 h, il aurait été intéressant de disposer de plusieurs prélèvements d'urines pendant 24 h et ce par individu. Cela nous aurait permis de conforter le modèle mais aussi de mieux estimer la créatininurie. Dans le modèle, les concentrations mesurées une fois, puis normalisées par la concentration en créatinine, sont supposées représentatives de la concentration en *cis*- et *trans*-DCCA dans les urines de 24 h. Cependant nous n'avons pas d'information concernant la créatininurie de 24 h des individus, mais uniquement la créatininurie dans les urines du matin.

Pour calculer la créatininurie de 24 h dans notre modèle, la créatininurie dans les urines du matin est multipliée par le volume uriné par jour. Nous avons estimé qu'un individu urine en moyenne 1,5 l/j et appliqué cette valeur à l'ensemble des individus. Cependant le volume des urines excrétées quotidiennement est notamment en lien avec la consommation de boissons au cours de la journée. La seconde étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires (INCA 2) indique qu'en règle générale les femmes boivent plus que les hommes<sup>15</sup> (AFSSA 2009). Le volume d'urine produite peut également varier en fonction de l'activité physique, de la température extérieure ...

Le ratio de *cis:trans*-perméthrine est nécessaire à la modélisation des concentrations en *cis*- et *trans*-DCCA. Ce ratio a été fixé à 40:60 par défaut pour l'ensemble des sources d'exposition, faute d'information. Il s'agit néanmoins du ratio le plus étudié et le plus utilisé dans les produits biocides. Le choix de ce ratio permet cependant de modéliser un ratio de *cis:trans*-DCCA très proche de celui mesuré dans l'ENNS (respectivement 1:2,60 et 1:2,43).

Le calibrage de certains paramètres ( $K_m$  et  $V_{max}$ ) du modèle a été fait par la méthode du maximum de vraisemblance. Cette estimation est également possible en utilisant des méthodes bayésiennes (simulations Monté Carlo avec chaîne de Markov). Ces techniques présentent l'avantage de calibrer un plus grand nombre de paramètres en incorporant de l'information *a priori* sur les distributions physiologiquement « vraisemblables » des paramètres. Il serait intéressant de comparer les résultats du calibrage obtenus avec la méthode du maximum de vraisemblance et ceux obtenus avec des méthodes bayésiennes.

En l'absence de données de cinétiques de la perméthrine chez l'Homme autres que celles utilisées pour calibrer le modèle, la fiabilité du modèle élaboré n'a pas pu être estimée. Pour l'évaluer nous aurions pu utiliser une partie des données de l'étude de (Ratelle, Côté, et Bouchard 2015) pour calibrer le modèle, et vérifier la fiabilité du modèle avec l'autre partie. Au vu du faible nombre de données, le choix a été fait d'utiliser l'ensemble des données pour s'assurer de la robustesse du calibrage.

---

<sup>15</sup> Eaux, boissons rafraichissantes sans alcool et boissons chaudes sauf café.

## 7 Conclusion et perspectives

Cette étude a eu pour objectif de déployer une méthodologie d'estimation de l'exposition agrégée de la population française adulte aux pyréthrinoïdes par le biais de diverses sources et voies d'exposition, en vue de la rapprocher des résultats d'imprégnation issus de l'étude ENNS. La revue bibliographique a mis en évidence un manque de données de contamination de l'air extérieur, de l'air intérieur et des poussières par les substances de la famille des pyréthrinoïdes. Malgré le manque de données, une méthode de calcul des expositions à la perméthrine (seule) a été mise en place en considérant différentes voies (inhalation, orale et cutanée). Cet état des lieux des données pèse d'ailleurs de manière significative dans l'évaluation des sources d'incertitudes et de leur impact, développée au § 5 du présent rapport.

Le calcul des expositions à la perméthrine indique que les aliments et, dans une moindre mesure, les poussières sédimentées pourraient constituer une source d'exposition majeure à la perméthrine. L'air, intérieur ou extérieur, représenterait une source mineure d'exposition pour les adultes. L'ingestion et le contact cutané constitueraient des voies d'exposition à la perméthrine plus importantes que l'inhalation. Cependant, de nombreuses incertitudes demeurent sur les modèles d'expositions proposés, notamment en raison de leur grande sensibilité aux données de contamination et des incertitudes sur les paramètres humains et sur le budget espace-temps. La poursuite du travail sur le calcul d'expositions internes qui tiennent compte des différentes modalités d'absorption en fonction de la voie d'exposition permet d'examiner la contribution relative de l'ensemble des sources et voies d'exposition à l'imprégnation. L'intégration de ces résultats dans un modèle PBPK développé à cette occasion, indique que la voie orale est la plus importante des voies d'exposition de la population française adulte à la perméthrine.

Ce travail constitue une étape méthodologique visant à estimer l'exposition agrégée, de la contamination des milieux pour aboutir à la détermination de l'imprégnation des individus qui peut être mise en regard de résultats de campagnes de mesures. La population étudiée est la population française adulte mais cette méthode pourrait être adaptée à des populations plus à risque ou plus sensibles, notamment aux enfants, en raison de la contribution des poussières dans l'exposition aux pyréthrinoïdes et d'une activité ou comportement main-bouche importante. De plus, les scénarios d'exposition étaient seulement envisagés pour la perméthrine, or le DCCA est commun à deux autres substances : la cyperméthrine et la cyfluthrine. En disposant d'informations supplémentaires et complémentaires, en particulier sur les paramètres et les substances, l'exposition serait mieux caractérisée et se rapprocherait de celle observée dans l'ENNS. La variabilité des concentrations en métabolites mesurées dans l'ENNS pourrait permettre d'identifier des profils d'exposition contrastés en termes de sources aidant à affiner les scénarios d'exposition. De plus, ce modèle combiné servirait par la suite de base pour construire un modèle générique des pyréthrinoïdes dans lequel le biomarqueur utilisé serait le 3-PBA. En outre, le modèle PBPK développé pourrait, dans un 2<sup>ème</sup> temps, servir à réaliser des études de dosimétrie inverse permettant, à partir de la concentration urinaire en métabolites mesurée, de déterminer les expositions qui expliqueraient au mieux l'imprégnation.

**Date de validation du rapport :**



## 8 Bibliographie

- AFSSA. 2009. "Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2 (INCA 2) (2006-2007)." Maisons-Alfort, France: Agence française de sécurité sanitaire des aliments. 225 p.
- AFSSET. 2009. "Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur pour les particules." ; .
- Agnihotri, N.P., H.K. Jain, et V.T. Gajbhiye. 1986. "Persistence of some synthetic pyrethroid insecticides in soil, water and sediment." *Journal of entomological research*.
- Air PACA, . . . Available: . 2012. "Observatoire des Résidus de Pesticides en PACAMarseille, France: Certified Associations of Air Quality Monitoring - Association ATMO."
- ANSES. 2010. "Exposition de la population générale aux résidus de pesticides en France." : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.
- ANSES. 2011. "Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2) - Tome 2 - Résidus de pesticides, additifs, acrylamide, hydrocarbures aromatiques polycycliques. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du Travail." : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.
- ANSES. 2012. "Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif au programme 2013 de surveillance des résidus de pesticides dans les aliments." : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.
- ANSES. 2013. "Evaluation des risques du bisphénol A (BPA) pour la santé humaine." : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.
- ANSES. 2014. "Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'actualisation des indicateurs de risque alimentaire lié aux résidus de pesticides." : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.
- Anses. 2016. "AVIS et RAPPORT D'ETAPE de l'Anses : Analyse sur la prise en compte des incertitudes dans les évaluations des risques sanitaires et élaboration d'un cadre d'analyse d'incertitude harmonisée applicable à tous les domaines d'activités de l'Anses." ; .
- ANSES. 2017. "Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à la proposition de modalités pour une surveillance nationale des pesticides dans l'air ambiant." ; .
- ATSDR. 2003. "Toxicological profile for Pyrethrins and pyrethroids. Agency for Toxic Substances and Disease Registry." ; .
- Barr, Dana Boyd, Anders O. Olsson, Lee-Yang Wong, Simeon Udunka, Samuel E. Baker, Ralph D. Whitehead, Melina S. Magsumbol, Bryan L. Williams, et Larry L. Needham. 2010. "Urinary Concentrations of Metabolites of Pyrethroid Insecticides in the General U.S. Population: National Health and Nutrition Examination Survey 1999–2002." *Environmental Health Perspectives* 118 (6):742-748. doi: 10.1289/ehp.0901275.
- Bekö, G., C. J. Weschler, S. Langer, M. Callesen, J. Toftum, et G. Clausen. 2013. "Children's Phthalate Intakes and Resultant Cumulative Exposures Estimated from Urine Compared with Estimates from Dust Ingestion, Inhalation and Dermal Absorption in Their Homes and Daycare Centers." *PLoS ONE* 8 (4). doi: 10.1371/journal.pone.0062442.
- Berger-Preiß, E, A Preiß, K Ielaff, M Raabe, B Ilgen, et K. Levsen. 1997. "The Behaviour of Pyrethroids Indoors: A Model Study." *Indoor Air* 7 (4):248–262. doi: 10.1111/j.1600-0668.1997.00004.x.
- Berger-Preiß, Edith, Karsten Levsen, Gabriele Leng, Helga Idel, Dorothee Sugiri, et Ulrich Ranft. 2002. "Indoor pyrethroid exposure in homes with woollen textile floor coverings." *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 205 (6):459-472. doi: <http://dx.doi.org/10.1078/1438-4639-00181>.
- Bian, Q, L C Xu, S L Wang, Y K Xia, L F Tan, J F Chen, L Song, H C Chang, et X R Wang. 2004. "Study on the relation between occupational fenvalerate exposure and spermatozoa DNA

- damage of pesticide factory workers." *Occupational and Environmental Medicine* 61 (12):999-1005. doi: 10.1136/oem.2004.014597.
- Blanchard, Olivier, Philippe Glorennec, Fabien Mercier, Nathalie Bonvallet, Cécile Chevrier, Olivier Ramalho, Corinne Mandin, et Barbara Le Bot. 2014. "Semivolatile Organic Compounds in Indoor Air and Settled Dust in 30 French Dwellings." *Environmental Science & Technology* 48 (7):3959-3969. doi: 10.1021/es405269q.
- Bouvier, G, M Le Barbier, O Blanchard, I Momas, et N Seta. 2006. "Residential Pesticide Storage and Use in French Households With Children." *Epidemiology* 17 (6):S368.
- Brown, R. P., M. D. Delp, S. L. Lindstedt, L. R. Rhomberg, et R. P. Beliles. 1997. "Physiological parameter values for physiologically based pharmacokinetic models." *Toxicology and Industrial Health* 13 (4):407-484.
- Butte, W., et K. Kemper. 1999. "A spectrophotometric assay for pyrethroid-cleaving enzymes in human serum." *Toxicology Letters* 107 (1-3):49-53. doi: 10.1016/S0378-4274(99)00030-2.
- Butte, W., G. Walker, et B. Heinzow. 1998. "Reference values for the concentration of the permethrin metabolites Cl2CA and 3-PBA in urine." *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 3 (1):21-26.
- Castorina, Rosemary, Asa Bradman, Laura Fenster, Dana Boyd Barr, Roberto Bravo, Michelle G. Vedar, Martha E. Harnly, Thomas E. McKone, Ellen A. Eisen, et Brenda Eskenazi. 2010. "Comparison of Current-Use Pesticide and Other Toxicant Urinary Metabolite Levels among Pregnant Women in the CHAMACOS Cohort and NHANES." *Environmental Health Perspectives* 118 (6):856-863. doi: 10.1289/ehp.0901568.
- Crow, J. Allen, Abdolsamad Borazjani, Philip M. Potter, et Matthew K. Ross. 2007. "Hydrolysis of pyrethroids by human and rat tissues: Examination of intestinal, liver and serum carboxylesterases." *Toxicology and Applied Pharmacology* 221 (1):1-12. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.taap.2007.03.002>.
- Dereumeaux, Clémentine, Abdesattar Saoudi, Marie Pecheux, Bénédicte Berat, Perrine de Crouy-Chanel, Cécile Zaros, Serge Brunel, Corinne Delamaire, Alain le Tertre, Agnès Lefranc, Stéphanie Vandentorren, et Laurence Guldner. 2016. "Biomarkers of exposure to environmental contaminants in French pregnant women from the Elfe cohort in 2011." *Environment International* 97:56-67. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.013>.
- Deurenberg, P., J. A. Weststrate, et J. C. Seidell. 1991. "Body mass index as a measure of body fatness: Age- and sex-specific prediction formulas." *British Journal of Nutrition* 65 (2):105-114.
- EFSA. 2009. "General principles for the collection of national food consumption data in the view of a pan-European dietary survey." *EFSA Journal* 7 (12):51. doi: 10.2903/j.efsa.2009.1435.
- EFSA. 2013. "Scientific Opinion on Dietary Reference Values for energy." ; .
- EFSA. 2015. "Reporting data on pesticide residues in food and feed according to Regulation (EC) No 396/2005 (2014 data collection)." : European Food Safety Authority.
- Egerer, E., B. Roßbach, A. Muttray, M. Schneider, et Letzel S. 2004. "Biomonitoring of pyrethroid metabolites in environmental medicine." *Umweltmed. Forsch. Prax.*, 9.
- Elliott, M., A. W. Farnham, N. F. Janes, P. H. Needham, D. A. Pulman, et J. H. Stevenson. 1973. "A Photostable Pyrethroid." *Nature* 246:169. doi: 10.1038/246169a0.
- Ertl, H., et W. Butte. 2012. "Bioaccessibility of pesticides and polychlorinated biphenyls from house dust: in-vitro methods and human exposure assessment." *J Expo Sci Environ Epidemiol* 22 (6):574-83. doi: 10.1038/jes.2012.50.
- European Commission. 2008. "EU Pesticides database." <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN>.
- FAO/WHO. 1980. "Pesticide residues in food - 1979. Report of the Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Expert Group on Pesticide Residues."
- Fortin, M. C., M. Bouchard, G. Carrier, et P. Dumas. 2008. "Biological monitoring of exposure to pyrethrins and pyrethroids in a metropolitan population of the Province of Quebec, Canada." *Environmental Research* 107 (3):343-350. doi: 10.1016/j.envres.2008.03.002.

- Fréry, N., L. Guldner, A. Saoudi, R. Garnier, A. Zeghnoun, et ML. Bidondo. 2013. "Exposition de la population française aux substances chimiques de l'environnement. Tome 2 - Polychlorobiphényles (PCB-NDL). Pesticides." ; Rapport N°: 978-2-11-131112-1. 178.
- Fréry, N; Guldner, L; Saoudi, A; Garnier, R; Zeghnoun, A; Bidondo, ML. 2013. "Exposition de la population française aux substances chimiques de l'environnement. Tome 2 - Polychlorobiphényles (PCB-NDL) et pesticides." : Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; . 178 p.
- Gaughan, L. C., T. Unai, et J. E. Casida. 1976. "Permethrin metabolism in rats." *J Agric Food Chem* 25 (1):9-17.
- Hardt, J., U. Heudorf, et J. Angerer. 1999. "Pyrethroid exposure load on the general population." *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 4 (1):54-55.
- HAS. 2015. "COMMISSION DE LA TRANSPARENCE : Topiscab 5%, crème." : Haute autorité de santé.
- Health Canada. 2010. "Report on Human Biomonitoring of Environmental Chemicals in Canada - Results of the Canadian Health Measures Survey Cycle 1 (2007–2009)." ; .
- Holmstead, Roy L., John E. Casida, Luis O. Ruzo, et Donald G. Fullmer. 1978. "Pyrethroid photodecomposition: permethrin." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 26 (3):590-595. doi: 10.1021/jf60217a020.
- IARC. 1991. "Permethrin." : International Agency for Research on Cancer. 20.
- INSEE. 2006. "POP6 - Population de 15 ans ou plus par sexe, âge et catégorie socioprofessionnelle."  
[http://www.insee.fr/fr/themes/tableau\\_local.asp?ref\\_id=POP6&millesime=2006&niveau=2&ypgeo=METRODOM&codgeo=1](http://www.insee.fr/fr/themes/tableau_local.asp?ref_id=POP6&millesime=2006&niveau=2&ypgeo=METRODOM&codgeo=1).
- INSEE. 2012. "Résultats de l'enquête emploi du temps 2009-2010."  
[http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref\\_id=edt2010&reg\\_id=0&page=irweb/edt2010/synt/cad/cadrage.htm](http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=edt2010&reg_id=0&page=irweb/edt2010/synt/cad/cadrage.htm).
- Ji, Guixiang, Yankai Xia, Aihua Gu, Xiangguo Shi, Yan Long, Ling Song, Shoulin Wang, et Xinru Wang. 2011. "Effects of non-occupational environmental exposure to pyrethroids on semen quality and sperm DNA integrity in Chinese men." *Reproductive Toxicology* 31 (2):171-176. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.reprotox.2010.10.005>.
- JMPR. 1987. "Pesticides residues in food. Part II, toxicological evaluations. Permethrin." : Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Core Assessment Group on Pesticide Residues.
- JMPR. 1999. "Pesticide residues in food. Part II, toxicological evaluations. Permethrin." : Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Core Assessment Group on Pesticide Residues.
- JMPR. 2002. "Pesticides residues in food." : Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Core Assessment Group on Pesticide Residues.
- Kingsbury, P.D., et D.P. Kreuzweiser. 1980. "Environmental impact assessment of a semi-operational permethrin application." Sault Ste. Marie, Ontario: Forest Pest Management Institute, D.P. Canadian Forestry Service; Contract No.: FPM-X-30. 47.
- Layton, D. W. 1993. "Metabolically consistent breathing rates for use in dose assessments." *Health Physics* 64 (1).
- Leng, Gabriele, Edith Berger-Preiß, Karsten Levsen, Ulrich Ranft, Dorothee Sugiri, Wolfgang Hadnagy, et Helga Idel. 2005. "Pyrethroids used indoor - ambient monitoring of pyrethroids following a pest control operation." *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 208 (3):193-199. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2005.01.016>.
- Li, Huizhen, Hongzhu Ma, Michael J. Lydy, et Jing You. 2014. "Occurrence, seasonal variation and inhalation exposure of atmospheric organophosphate and pyrethroid pesticides in an urban community in South China." *Chemosphere* 95 (0):363-369. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.09.046>.
- MacBean, C., et British Crop Protection Council. 2012. *The Pesticide Manual: A World Compendium*: CABI.
- MAF. 2011. "2009 New Zealand total diet study." : Ministry of agriculture and Forestry.

- Mandin, Corinne, Fabien Mercier, Olivier Ramalho, Jean-Paul Lucas, Erwann Gilles, Olivier Blanchard, Nathalie Bonvallot, Philippe Glorennec, et Barbara Le Bot. 2016. "Semi-volatile organic compounds in the particulate phase in dwellings: A nationwide survey in France." *Atmospheric Environment* 136:82-94. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.04.016>.
- Meeker, John D., Dana B. Barr, et Russ Hauser. 2009. "Pyrethroid insecticide metabolites are associated with serum hormone levels in adult men." *Reproductive Toxicology* 27 (2):155-160. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.reprotox.2008.12.012>.
- Meister, R.T., G.L Berg, C. Sine, S. Meister, et J. Poplyk. 1983. *Farm chemicals handbook. Section C, Pesticides Dictionary*. Meister publishing Co.
- Mirfazaelian, Ahmad, Kyu-Bong Kim, Sathanandam S. Anand, Hyo J. Kim, Rogelio Tornero-Velez, James V. Bruckner, et Jeffrey W. Fisher. 2006. "Development of a Physiologically Based Pharmacokinetic Model for Deltamethrin in the Adult Male Sprague-Dawley Rat." *Toxicological Sciences* 93 (2):432-442. doi: 10.1093/toxsci/kfl056.
- Morgan, E. W., B. Yan, D. Greenway, et A. Parkinson. 1994. "Regulation of two rat liver microsomal carboxylesterase isozymes: Species differences, tissue distribution, and the effects of age, sex, and xenobiotic treatment of rats." *Archives of Biochemistry and Biophysics* 315 (2):513-526. doi: 10.1006/abbi.1994.1532.
- Morgan, Marsha K., Denise K. MacMillan, Dan Zehr, et Jon R. Sobus. 2016. "Pyrethroid insecticides and their environmental degradates in repeated duplicate-diet solid food samples of 50 adults." *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 28:40. doi: 10.1038/jes.2016.69  
<https://www.nature.com/articles/jes201669#supplementary-information>.
- Moser, V. C., S. M. Chanda, S. R. Mortensen, et S. Padilla. 1998. "Age- and gender-related differences in sensitivity to chlorpyrifos in the rat reflect developmental profiles of esterase activities." *Toxicological Sciences* 46 (2):211-222. doi: 10.1006/toxs.1998.2526.
- Ramsey, J. C., et M. E. Andersen. 1984. "A physiologically based description of the inhalation pharmacokinetics of styrene in rats and humans." *Toxicology and Applied Pharmacology* 73 (1):159-175. doi: 10.1016/0041-008X(84)90064-4.
- Ratelle, Mylène, Jonathan Côté, et Michèle Bouchard. 2015. "Toxicokinetics of permethrin biomarkers of exposure in orally exposed volunteers." *Toxicology Letters* 232 (2):369-375. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.12.003>.
- Riederer, Anne M., Ronald E. Hunter Jr, Steven W. Hayden, et P. Barry Ryan. 2010. "Pyrethroid and Organophosphorus Pesticides in Composite Diet Samples from Atlanta, USA Adults." *Environmental Science & Technology* 44 (1):483-490. doi: 10.1021/es902479h.
- Schettgen, T., H. M. Koch, H. Drexler, et J. Angerer. 2002. "New gas chromatographic-mass spectrometric method for the determination of urinary pyrethroid metabolites in environmental medicine." *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences* 778 (1-2):121-130. doi: 10.1016/S0378-4347(01)00452-2.
- Scollon, E. J., J. M. Starr, S. J. Godin, M. J. DeVito, et M. F. Hughes. 2009. "In vitro metabolism of pyrethroid pesticides by rat and human hepatic microsomes and cytochrome P450 isoforms." *Drug Metabolism and Disposition* 37 (1):221-228. doi: 10.1124/dmd.108.022343.
- Shafer, Timothy J., Douglas A. Meyer, et Kevin M. Crofton. 2005. "Developmental Neurotoxicity of Pyrethroid Insecticides: Critical Review and Future Research Needs." *Environmental Health Perspectives* 113 (2):123-136. doi: 10.1289/ehp.7254.
- Shi, S., et B. Zhao. 2013. "Deposition of indoor airborne particles onto human body surfaces: A modeling analysis and manikin-based experimental study." *Aerosol Science and Technology* 47 (12):1363-1373. doi: 10.1080/02786826.2013.843772.
- Soderlund, David M., John M. Clark, Larry P. Sheets, Linda S. Mullin, Vincent J. Piccirillo, Dana Sargent, James T. Stevens, et Myra L. Weiner. 2002. "Mechanisms of pyrethroid neurotoxicity: implications for cumulative risk assessment." *Toxicology* 171 (1):3-59. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0300-483X\(01\)00569-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0300-483X(01)00569-8).
- Starr, James, Stephen Graham, Daniel Stout II, Kim Andrews, et Marcia Nishioka. 2008. "Pyrethroid pesticides and their metabolites in vacuum cleaner dust collected from homes

- and day-care centers." *Environmental Research* 108 (3):271-279. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.022>.
- Tornero-Velez, Rogelio, Jimena Davis, Edward J. Scollon, James M. Starr, R. Woodrow Setzer, Michael-Rock Goldsmith, Daniel T. Chang, Jianping Xue, Valerie Zartarian, Michael J. De Vito, et Michael F. Hughes. 2012. "A Pharmacokinetic Model of cis- and trans-Permethrin Disposition in Rats and Humans With Aggregate Exposure Application." *Toxicological Sciences* 130 (1):33-47.
- Tornero-Velez, Rogelio, Ahmad Mirfazaelian, Kyu-Bong Kim, Sathanandam S. Anand, Hyo J. Kim, Wendy T. Haines, James V. Bruckner, et Jeffrey W. Fisher. 2010. "Evaluation of deltamethrin kinetics and dosimetry in the maturing rat using a PBPK model." *Toxicology and Applied Pharmacology* 244 (2):208-217. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.taap.2009.12.034>.
- US-EPA. 2007. "Assessing Approaches for the Development of PBPK Models of Pyrethroid Pesticides. United States Environmental Protection Agency." ; .
- US-EPA. 2010. "Risks of Permethrin Use to Federally Threatened - Pesticide Effects Determinations. United States Environmental Protection Agency - Environmental Fate and Effects Division Office of Pesticide Programs." ; .
- US-EPA. 2011a. *Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final)*.
- US-EPA. 2011b. "Pyrethrins/Pyrethroid Cumulative Risk Assessment." : Office of Pesticides Programs.
- Usen, Unité de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle. 2007. "Étude nationale nutrition santé (ENNS, 2006). Situation nutritionnelle en France en 2006 selon les indicateurs d'objectif et les repères du Programme national nutrition santé (PNNS)." : Institut de veille sanitaire, Université de Paris 13, Conservatoire national des arts et métiers. 74 p.
- Wei, Binnian, Sastry S. Isukapalli, et Clifford P. Weisel. 2013. "Studying permethrin exposure in flight attendants using a physiologically based pharmacokinetic model." *J Expos Sci Environ Epidemiol*.
- Wells, David, B. Terence Grayson, et Eric Langner. 1986. "Vapour pressure of permethrin." *Pesticide Science* 17 (5):473-476. doi: doi:10.1002/ps.2780170503.
- Weschler, Charles J., et William W. Nazaroff. 2008. "Semivolatile organic compounds in indoor environments." *Atmospheric Environment* 42 (40):9018-9040. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.052>.
- Weschler, Charles J., et William W. Nazaroff. 2010. "SVOC partitioning between the gas phase and settled dust indoors." *Atmospheric Environment* 44 (30):3609-3620. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.06.029>.
- Weschler, Charles J., et William W. Nazaroff. 2012. "SVOC exposure indoors: Fresh look at dermal pathways." *Indoor Air* 22 (5):356-377. doi: 10.1111/j.1600-0668.2012.00772.x.
- WHO. 2010. "Characterization and Application of Physiologically Based Pharmacokinetic Models in Risk Assessment." ; .
- WHO. 2013. Reliable evaluation of low-level contamination of food - Addendum of the report on GEMS/Food-EURO Second Workshop of the 26-27th May 1995.
- Willemin, M. E., A. Kadar, G. de Sousa, E. Leclerc, R. Rahmani, et C. Brochot. 2015. "In vitro human metabolism of permethrin isomers alone or as a mixture and the formation of the major metabolites in cryopreserved primary hepatocytes." *Toxicology in Vitro* 29 (4):803-812. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tiv.2015.03.003>.
- Winter, Carl K. 2015. "Chronic dietary exposure to pesticide residues in the United States." *International Journal of Food Contamination* 2 (1):1-12. doi: 10.1186/s40550-015-0018-y.
- Wong, W. W. K., A. T. C. Yau, S. W. C. Chung, C. H. Lam, S. Ma, Y. Y. Ho, et Y. Xiao. 2014. "Dietary exposure of Hong Kong adults to pesticide residues: Results of the first Hong Kong total diet study." *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment* 31 (5):852-871. doi: 10.1080/19440049.2014.900573.
- Wormuth, M., M. Scheringer, M. Vollenweider, et K. Hungerbühler. 2006. "What are the sources of exposure to eight frequently used phthalic acid esters in Europeans?" *Risk Analysis* 26 (3):803-824. doi: 10.1111/j.1539-6924.2006.00770.x.

- Xia, Yankai, Qian Bian, Lichun Xu, Senping Cheng, Lin Song, Jiayin Liu, Wei Wu, Shoulin Wang, et Xinru Wang. 2004. "Genotoxic effects on human spermatozoa among pesticide factory workers exposed to fenvalerate." *Toxicology* 203 (1–3):49-60. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tox.2004.05.018>.
- Zhu, Hao-Jie, David I. Appel, Yan Jiang, et John S. Markowitz. 2009. "Age- and Sex-Related Expression and Activity of Carboxylesterase 1 and 2 in Mouse and Human Liver." *Drug Metabolism and Disposition* 37 (9):1819-1825. doi: 10.1124/dmd.109.028209.

---

# ANNEXES

---

## Annexe 1 : Auto-saisine



Décision n°

2015 -SA- 0 2 0 3

### AUTOSAISINE

Le directeur général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses),

Vu le code de la santé publique, et notamment son article L. 1313-3 conférant à l'Anses la prérogative de se saisir de toute question en vue de l'accomplissement de ses missions,

Décide :

**Article 1<sup>er</sup>.**- L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail se saisit afin de réaliser un appui scientifique et technique dont les caractéristiques sont listées ci-dessous.

#### 1.1 Thématiques et objectifs de l'appui scientifique et technique

Cette autosaisine s'inscrit dans la thématique « Méthodologie de l'évaluation de l'exposition agrégée et combinée de l'Homme aux substances chimiques en vue d'une évaluation des risques sanitaires » du programme de travail 2015 de l'Anses (fiche 561).

Elle poursuit les objectifs suivants :

- développer des méthodologies d'évaluation des expositions en population générale, en considérant les différentes sources (alimentaires et environnementales) et voies d'exposition (ingestion, inhalation, contact cutané) ;
- établir un lien entre l'exposition externe évaluée et l'exposition interne (imprégnation biologique des matrices humaines : urine), si les données le permettent ;
- établir la part respective des différentes sources et voies d'exposition à l'imprégnation totale et, le cas échéant, proposer des recommandations ciblées visant à réduire les expositions et à améliorer les connaissances.

Ces travaux porteront sur la famille des pyréthrinoïdes avec une étude de cas sur la perméthrine.

#### 1.2 Contexte de l'autosaisine

Dans le cadre de l'Enquête Nationale Nutrition Santé (ENNS), l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) a mesuré les concentrations urinaires des métabolites de pyréthrinoïdes au sein de la population générale française. Une sur-imprégnation de la population française aux pyréthrinoïdes a été mise en évidence par rapport aux niveaux observés dans les populations nord-américaines et allemande (cf InVS Rapport Exposition de la population française aux substances chimiques de l'environnement Tome 2, avril 2013).

Les pyréthrinoïdes sont des insecticides qui, compte tenu de leurs usages (domestiques et agricoles) et de leurs applications (aérosols, pulvérisation, fumigation), se retrouvent dans l'air, dans les poussières ainsi que dans les produits alimentaires. L'exposition est possible aussi bien par inhalation d'air intérieur pendant un usage d'aérosols ou de fumigènes contenant des pyréthrinoïdes, par inhalation d'air extérieur après l'application de produits dans les jardins ou dans une zone agricole, par

ingestion indirecte de poussières, par contact cutané à l'air ainsi qu'aux poussières, mais également par ingestion directe de produits alimentaires.

Différentes pistes ont été envisagées pour expliquer la sur-imprégnation mise en évidence dans l'étude ENNS, comme la contribution des différentes sources (air, poussières, etc.), la consommation d'aliments contributeurs à l'exposition ... L'Anses dispose d'études sur l'exposition par voie alimentaire aux pyréthrinoides (EAT2 (2010), étude des PSPC (2014)) qui ont conduit à considérer que l'exposition à ces substances n'était pas associée à un risque sanitaire en population générale pour cette voie d'exposition. Cette conclusion reste-t-elle valable lorsque l'on considère l'ensemble des voies d'exposition possibles, comme le reflète la mesure de l'imprégnation ?

### 1.3 Questions à investiguer

L'exposition agrégée est définie comme l'exposition provenant de l'ensemble des sources et voies d'exposition. Pour évaluer ce type d'exposition, différents types de données seront rassemblées : des données de contamination (alimentation, air, poussières), des données sur le budget espace-temps de la population, des données physiologiques mais aussi toxicologiques. Pour acquérir certaines de ces données, l'Anses a répondu à un appel à projet d'analyse des données de l'étude ENNS lancé par l'InVS, mettant ainsi à disposition des données individuelles collectées en population générale.

L'appui scientifique et technique portera sur les étapes suivantes :

1. Une revue bibliographique portant sur la contamination des milieux, l'imprégnation biologique de la population générale aux pyréthrinoides, les facteurs d'exposition, les méthodes d'évaluation des expositions agrégées, la biodisponibilité, la toxico-cinétique et le métabolisme des pyréthrinoides, les modèles PBPK appliqués aux pyréthrinoides ;
2. Le calcul des expositions pour chaque voie d'exposition ainsi que de l'exposition agrégée ;
3. La réalisation de la modélisation des imprégnations à partir de l'exposition externe, via l'utilisation de modèle PB-PK ;
4. L'estimation de la contribution des différentes voies et sources d'exposition à l'exposition globale.
5. Sur la base de ces travaux, la méthodologie de calcul de l'exposition agrégée pourra être appliquée à d'autres familles de substances actives de type pesticides.

**Article 2.-** Un rapport d'appui scientifique et technique sera émis et publié par l'Agence à l'issue des travaux.

Fait à Maisons-Alfort, le 23 SEP. 2015



Marc MORTUREUX  
Directeur général

## Annexe 2 : Revue bibliographique des données de contamination

La revue bibliographique menée avait pour but de :

- Recueillir des informations sur les substances de la famille des pyréthrinoïdes, notamment les caractéristiques physico-chimiques des substances et leur comportement dans l'environnement ;
- Élaborer une liste de substances pour lesquelles les niveaux de contamination de l'air extérieur, l'air intérieur et les poussières sédimentées sont documentés ;
- Extraire les données de contamination disponibles pour ces substances.

La revue bibliographique a été menée sur le moteur de recherche Scopus ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)) à partir des mots-clés listés ci-après. L'ensemble des rapports publiés sur les sites internet des AASQA a également été exploré. La revue s'est focalisée sur les études récentes (i.e. au maximum 20 ans) comportant des données de contamination par les pyréthrinoïdes de l'air extérieur, l'air intérieur et les poussières sédimentées. L'objectif de ce présent travail étant de calculer les expositions chroniques en population générale adulte, seules les études mesurant les concentrations en résidus de pesticides dans des lieux fréquentés régulièrement par la population générale adulte ont été retenues (e.g. logement, lieux publics...). Les études se focalisant sur les milieux professionnels ou les lieux occupés essentiellement par les enfants ont été exclues (e.g. serres agricoles, écoles, crèches...). Les travaux consistant à mesurer les niveaux de contamination immédiatement après une application de pyréthrinoïdes ont également été exclus, car ils sont représentatifs des expositions aiguës. Afin de sélectionner les niveaux de contamination les plus représentatifs de la population française, la priorité a été donnée aux études menées en France, suivies des études menées dans les autres pays européens, puis aux États-Unis. Les travaux menés en Asie ont été exclus en raison des différences de cadre réglementaire sur les pesticides entre ce continent et la France. La revue bibliographique a finalement conduit à l'extraction de 22 articles scientifiques et 12 rapports des AASQA.

**Table 46 : Liste des mots- clés utilisés pour la revue bibliographique menée en mai 2014 dans le moteur de recherche Scopus (1)**

Informations recherchées	Mots-clés	Nombre de publications
Comportement des pyréthrinoïdes dans les sources non-alimentaires	pyrethroid* + "half-life" + "indoor air" or "outdoor air" or "house dust" or "airborne particles" or "suspended particles" or atmospher* or "ambient air"	2
	pyrethroid* + degradation or persistence or stability + "indoor air" or "outdoor air" or "house dust" or "airborne particles" or "suspended particles" or atmospher* or "ambient air"	14
	pyrethroid* + transfer or deposition or volatilization + "indoor air" or "outdoor air" or "house dust" or "airborne particles" or "suspended particles" or atmospher* or "ambient air"	17
Contamination des sources non-alimentaires	pyrethroid* + concentration or contamination + "outdoor air" + French or France	0
	pyrethroid* + concentration or contamination + atmospher* or "ambient air" + French or France	0
	pyrethroid* + concentration or contamination + "house dust" + French or France	1
	pyrethroid* + concentration or contamination + "gas phase" + French or France	1
	pyrethroid* + concentration or contamination + "airborne particles" or "suspended particles" + French or France	1
	pyrethroid* + concentration or contamination + "indoor environment" + French or France	1
	pyrethroid* + concentration or contamination + "outdoor air"	2
	pyrethroid* + concentration or contamination + "indoor air" + French or France	2
	pyrethroid* + concentration or contamination + "gas phase"	6
	pyrethroid* + concentration or contamination + "indoor environment"	11
	pyrethroid* + concentration or contamination + French or France	16
	pyrethroid* + concentration or contamination + "airborne particles" or "suspended particles"	17
	pyrethroid* + concentration or contamination + "house dust"	23
pyrethroid* + concentration or contamination + atmospher* or "ambient air"	41	
pyrethroid* + concentration or contamination + "indoor air"	50	
Calculs d'exposition aux pyréthrinoïdes dans les sources non-alimentaires	pyrethroid* + chronic* + exposure + "outdoor air"	0
	pyrethroid* + chronic* + exposure + "gas phase"	1
	pyrethroid* + chronic* + exposure + "airborne particles" or "suspended particles"	1
	pyrethroid* + exposure + "gas phase"	2
	pyrethroid* + chronic* + exposure + "indoor environment"	2
	pyrethroid* + exposure + "outdoor air"	3
	pyrethroid* + chronic* + exposure + "house dust"	4

**Table 47 : Liste des mots- clés utilisés pour la revue bibliographique menée en mai 2014 dans le moteur de recherche Scopus (2)**

Informations recherchées	Mots-clés	Nombre de publications
Calculs d'exposition aux pyréthri-noïdes dans les sources non-alimentaires	pyrethroid* + chronic* + exposure + atmospher* or "ambient air"	4
	pyrethroid* + chronic* + exposure + "indoor air"	5
	pyrethroid* + exposure + "indoor environment"	7
	pyrethroid* + exposure + "airborne particles" or "suspended particles"	9
	pyrethroid* + exposure + French or France	13
	pyrethroid* + exposure + "house dust"	22
	pyrethroid* + exposure + atmospher* or "ambient air"	32
Voies d'exposition aux pyréthri-noïdes	pyrethroid* + exposure + "indoor air"	47
	pyrethroid* + "skin contact" or cutaneous or "dermal exposure" + "indoor air" or "outdoor air" or "house dust" or "airborne particles" or "suspended particles" or atmospher* or "ambient air"	6
	pyrethroid* + "indirect ingestion" or oral* + "indoor air" or "outdoor air" or "house dust" or "airborne particles" or "suspended particles" or atmospher* or "ambient air"	7
	pyrethroid* + "exposure route*" or "exposure pathway*"	20
Populations exposées aux pyréthri-noïdes	pyrethroid* + inhalation or breathing or respiratory + "indoor air" or "outdoor air" or "house dust" or "airborne particles" or "suspended particles" or atmospher* or "ambient air"	21
	pyrethroid* + population or adult* + exposure + French or France	10
Évaluation des risques liés à une exposition aux pyréthri-noïdes	pyrethroid* + population* or adult* + exposure + "indoor air" or "outdoor air" or "house dust" or "airborne particles" or "suspended particles" or atmospher* or "ambient air"	40
	pyrethroid* + "risk assessment" + "indoor air" or "outdoor air" or "house dust" or "airborne particles" or "suspended particles" or atmospher* or "ambient air"	24

À l'issue de cette revue bibliographique, on observe qu'une dizaine de pyréthri-noïdes est généralement recherchée dans l'air et les poussières. Parmi eux, la perméthrine, la deltaméthrine, la cyperméthrine et la  $\lambda$ -cyhalothrine sont les plus courants (ils sont recherchés respectivement dans 20, 18, 16 et 12 études parmi les 34 sélectionnées lors de la revue bibliographique). La perméthrine est interdite en usage agricole depuis 2000, mais reste autorisée en usage domestique. Dans le cadre domestique, cette substance est l'un des pyréthri-noïdes les plus utilisés en France, en remplacement de pesticides organophosphorés comme le DDT et le lindane (Fréry et al., 2013). C'est pourquoi ce pyréthri-noïde est l'un des plus étudiés. La perméthrine est détectée dans les trois milieux ciblés par le présent travail (air extérieur, air intérieur et poussières sédimentées). De plus, la plupart des études disponibles sur les niveaux de contamination de ces trois milieux par la perméthrine présentent des méthodes de mesure de qualité, avec notamment des limites de quantification faibles. Cette substance a donc finalement été choisie pour illustrer par une étude de cas notre méthode de calcul des expositions. Le reste du rapport traite alors exclusivement de la perméthrine.

Table 48 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (1)

Référence	Substances	Source d'exposition	Phase dans l'air	Fraction particulaire	Sites	n	F (%)	Méthode			Origine	
								Prélèvement	Extraction	Quantification		
1	Air Pays De La Loire (2004)	deltaméthrine λ-cyhalothrine	Air extérieur	Totale	Totale	Vallet	16	0	QFF-PUF, 1 m <sup>3</sup> /h, 168h	Soxhlet	GC/MS	France
						Briacé	17	0				
						Nantes	18	0				
2	Air Pays De La Loire (2006)	deltaméthrine λ-cyhalothrine	Air extérieur	Totale	Totale	Moulin Turquais	12	0	QFF-PUF, 1 m <sup>3</sup> /h, 168h	Soxhlet	GC/MS	France
						Martigné Briand	12	0				
3	Air PACA (2012)	cyperméthrine deltaméthrine λ-cyhalothrine perméthrine	Air extérieur	Totale	Totale	Avignon	24	0	QFF-PUF-XAD-2, 10 m <sup>3</sup> /h, 48h	ÀSE	GC/MS/MS	France
						Arles	23	9,5				
						Les Vignères	24	4,3				
						Cannes	18	29,4				
						Toulon	24	52,2				
4	AIRPARIF (2007)	cyfluthrine cyperméthrine	Air extérieur	Totale	Totale	Coulommier	14	0,0	QFF-PUF, 1 m <sup>3</sup> /h, 168h	ND	GC/MS	France
						Bois-Herpin	14	0,0				
						Chelles	14	0,0				
						Gennevilliers	14	0,0				
						Paris	14	0,0				
5	ATMO Champagne-Ardenne (2003)	cyperméthrine deltaméthrine	Air extérieur	Gazeuse particulaire	PM10	Reims	12	0,0	QFF-PUF, 30 m <sup>3</sup> /h, 24h	SE	GC/MS	France
						Châlons-en-Champagne	3	0,0				
						Charleville-Mézières	3	0,0				
						Chaumont	3	0,0				
6	ATMO Poitou-Charentes (2007)	λ-cyhalothrine	Air extérieur	Totale	PM10	Poitiers	24	4,2	QFF-PUF, 1 m <sup>3</sup> /h, 168h	ND	GC/MS	France
						Troyes	3	0,0				
7	ATMO Poitou-Charentes (2008)	deltaméthrine	Air extérieur	Totale	PM10	Poitiers	23	4,3	QFF-PUF, 1 m <sup>3</sup> /h, 168h	ND	GC/MS	France
8	ATMO Poitou-Charentes (2010)	deltaméthrine b-cyfluthrine	Air extérieur	Totale	PM10	Aigre	25	4	QFF-PUF, 1 m <sup>3</sup> /h, 168h	SE	GC/MS	France
						Tauché	25	4				

Table 49 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (2)

Référence	Substances	Source d'exposition	Phase dans l'air	Fraction particulaire	Sites	n	F (%)	Méthode			Origine	
								Prélèvement	Extraction	Quantification		
9	ATMO Poitou-Charentes (2012)	deltaméthrine λ-cyhalothrine	Air extérieur	Totale	PM10	Poitiers	25	4	QFF-PUF, 1 m <sup>3</sup> /h, 168h	ND	GC/MS/MS	France
						Juillac-le-Coq	25	0				
10	ATMOSF'Air Bourgogne (2005)	cyperméthrine I et II	Air extérieur	Totale	ND	Chenôve	52	3,8	QFF-PUF, 1 m <sup>3</sup> /h, 168h	SE	GC/MS	France
11	Baraud et al. (2003)	deltaméthrine	Air extérieur	Totale	ND	Viapres-le-Petit	5	ND	QFF-PUF, 2,3 m <sup>3</sup> /h, 48h	Soxhlet	HPLC	France
						Paris	4	ND	QFF-PUF, 12,5 m <sup>3</sup> /h, 24h			
12	Becker et al. (2006)	cyfluthrine cyperméthrine deltaméthrine empenthrine perméthrine sumithrin λ-cyhalothrine	Poussières	-	< 2 mm	Berlin et 2 villages	503	0 – 79	Aspirateur	SE	GC/MS	Allemagne
13	Berger-Preiss et al. (2002)	perméthrine	Air intérieur	Particulaire	PM30	Hannover	79		Filtre Pallflex, 2,8 m <sup>3</sup> /h, 3,5h	SÂE	GC/MS	Allemagne
			Poussières	-	< 2 mm ; > 2 mm		80		Aspirateur	Soxhlet		
14	Blanchard et al. (2014)	cyperméthrine Perméthrine tétraméthrine	Air intérieur	Gazeuse		Bretagne	30	0,0	PUF	PLE	GC/MS/MS	France
				Particulaire	PM10		30	40	QFF	TD	GC/MS	
				Poussières	-		< 100 µm	25	84	Aspirateur	PLE	

Table 50 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (3)

Référence	Substances	Source d'exposition	Phase dans l'air	Fraction particulaire	Sites	n	F (%)	Méthode			Origine
								Prélèvement	Extraction	Quantification	
15	Bradman et al. (2007) <i>cis</i> -alléthrine ; <i>trans</i> -alléthrine ; bifenthrine ; cyfluthrine ; cyperméthrine ; deltaméthrine ; esfenvalérate ; <i>cis</i> -perméthrine ; <i>trans</i> -perméthrine ; resméthrine ; sumithrine ; $\lambda$ -cyhalothrine	Air extérieur	Gazeuse		Californie	20	0,0 - 30,0	PUF, 0,15 m <sup>3</sup> /h, 24h	ASE	GC/MS	USA
		Air intérieur	Gazeuse	20		0,0 - 40,0					
		Poussières	-	< 150 $\mu$ m		20	0,0 - 100,0	Aspirateur ; lingette	ASE ; SAE		
16	Hwang et al. (2008) Cyperméthrine ; <i>cis</i> -perméthrine ; <i>trans</i> -perméthrine ; $\lambda$ -cyhalothrine	Poussières	-	< 10 $\mu$ m	Californie	11	45,4 - 90,9	Aspirateur	Soxhlet	GC/MS	USA
17	Julien et al. (2008) Bifenthrine ; cyfluthrine ; cyhalothrine ; cyperméthrine ; deltaméthrine ; esfenvalérate ; perméthrine ; resméthrine ; sumithrine ; tétraméthrine	Poussières	-	ND	Massachusetts	30 - 42	0,0 - 100,0	Aspirateur ; lingette	ÀSE ; SÀE	GC/MS	USA
18	Leng et al. (2005) Cyfluthrine cyperméthrine deltaméthrine perméthrine	Air intérieur	Particulaire	PM30	ND	18	0 - 38,9	Filtre Pallflex, 2,8 m <sup>3</sup> /h, 3,5h	SAE	GC/MS	Allemagne
		Poussières	-	ND		18	16,7 - 94,4	Aspirateur	Soxhlet		
		Air intérieur	Totale	-		125	18 - 22,0				
		Poussières	-	ND		13 - 97	39 - 100				

Table 51 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (4)

Référence	Substances	Source d'exposition	Phase dans l'air	Fraction particulaire	Sites	n	F (%)	Méthode			Origine	
								Prélèvement	Extraction	Quantification		
18	Leng et al. (2005)	cyfluthrine cyperméthrine deltaméthrine perméthrine	Air intérieur	Particulaire	PM30	ND	18	0 – 38,9	Filtre Pallflex, 2,8 m <sup>3</sup> /h, 3,5h	SAE	GC/MS	Allemagne
			Poussières	-	ND		18	16,7 – 94,4	Aspirateur	Soxhlet		
			Air intérieur	Totale	-		125	18 – 22,0				
			Poussières	-	ND		13 - 97	39 – 100				
19	Lig'Air (2013)	λ-cyhalothrine	Air extérieur	Totale	ND	Oysonville	16	6,0	ND	ND	GC/MS	France
20	LIMAIR (2009)	Bifenthrine λ-cyhalothrine	Air extérieur	Totale	PM10	Brive La Gaillarde	3	0	QFF-PUF, 1 m <sup>3</sup> /h, 168h	ASE	GC/MS	France
21	Lu et al. (2013)	alléthrine cyhalothrine cyperméthrine esfenvalérate fenpropathrine perméthrine téfluthrine	Air intérieur	Gazeuse	-	Massachusetts	20	5 – 40	PUF, 4,2 m <sup>3</sup> /h, 24h	SE	GC/MS	USA
			Poussières	-	ND		60	5,0 – 38,0	Lingette			
22	Mercier et al. (2012)	perméthrine	Air intérieur	Particulaire	PM10	ND	6	16,7	QFF, 0,12 m <sup>3</sup> /h, 168h	TD	GC/MS	France
23	Morgan et al. (2007)	cis- perméthrine trans- perméthrine	Air extérieur	Totale	-	Ohio	127	21 – 24	ND	ND	GC/MS	USA
24	Morgan et al. (2014)	cyfluthrine cis- perméthrine trans- perméthrine	Air extérieur	Totale	-	Caroline du Nord ; Ohio	129	0 – 16,0	QFF-XAD-2, 0,24 m <sup>3</sup> /h, 48h	Soxhlet	GC/MS	USA
			Air intérieur	Totale	-		129	4,0 – 66,0				
			Poussières	-	ND		129	48 – 100	Aspirateur	SAE		

Table 52 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (5)

Référence	Substances	Source d'exposition	Phase dans l'air	Fraction particulaire	Sites	n	F (%)	Méthode			Origine	
								Prélèvement	Extraction	Quantification		
25	ORAMIP (2005)	Deltaméthrine	Air extérieur	ND	-	Lizac	ND	ND	ND, 48h	ND	ND	France
26	Quiros-Àlcala et al. (2011)	Alléthrine Bifenthrine Cyperméthrine Deltaméthrine Esfenvalérate Imiprothrine cis-perméthrine trans-perméthrine pralléthrine sumithrine	Poussières	-	< 150 µm	Californie	25 - 29	0 - 100	Aspirateur	SAE	GC/MS	USA
27	Regueiro et al. (2007)	Alléthrine Cyfluthrine Cyperméthrine Cyphénothrine Deltaméthrine Perméthrine Tétraméthrine Transfluthrine λ-cyhalothrine	Poussières	-	< 60 µm	Nord-Ouest de l'Espagne	8	0 - 100	Aspirateur	MASE	GC/µECD	Espagne
28	Seifert et al. (2000)	Perméthrine	Poussières	-	< 2 mm	ND	1215	90,6	Aspirateur	SE	GC/MS	Allemagne

Table 53 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (6)

Référence	Substances	Source d'exposition	Phase dans l'air	Fraction particulaire	Sites	n	F (%)	Méthode			Origine	
								Prélèvement	Extraction	Quantification		
29	Starr et al. (2008)	Alléthrine Cyfluthrine Cyhalothrine Cyperméthrine Deltaméthrine Esfenvalérate Imiprothrine <i>cis</i> -perméthrine <i>trans</i> -perméthrine phénothrine tétraméthrine sous-produits de dégradation	Poussières	-	< 150 µm	Caroline du Nord; Ohio	85	4,7 – 100	Aspirateur	SAE	GC/MS	USA
30	Trunnelle et al. (2013)	Cyperméthrine ; deltaméthrine ; esfenvalérate ; <i>cis</i> -perméthrine ; <i>trans</i> -perméthrine ; resméthrine	Poussières	-	< 150 µm	Californie	55	ND	Aspirateur	SAE	GC/MS	USA
31	Trunnelle et al. (2014)	Alléthrine ; bifenthrine ; cyfluthrine ; cyperméthrine ; deltaméthrine ; esfenvalérate ; <i>cis</i> -perméthrine ; <i>trans</i> -perméthrine ; sumithrine ; tétraméthrine ; λ-cyhalothrine	Poussières	-	ND	Nord de la Californie	81	2,5 – 97,5	Lingette	SAE	GC/MS	USA

Table 54 : Description des 34 études sélectionnées lors de la revue (7)

Référence	Substances	Source d'exposition	Phase dans l'air	Fraction particulaire	Sites	n	F (%)	Méthode			Origine
								Prélèvement	Extraction	Quantification	
32	Tulve et al. (2008)	Bifenthrine ; <i>cis</i> -alléthrine ; <i>trans</i> -alléthrine ; cyfluthrine ; cyperméthrine ; deltaméthrine ; esfenvalérate ; <i>cis</i> -perméthrine ; <i>trans</i> -perméthrine ; sumithrine ; tétraméthrine ; $\lambda$ -cyhalothrine	Air extérieur	Gazeuse	-	9	0,0 – 100,0	PUF, 0,23 m <sup>3</sup> /h, 24h			USA
			Air intérieur	Gazeuse	-	9	0,0 – 88,9				
			Poussières	-	ND	9	11,0 – 88,9	Lingette			
33	Whyatt et al. (2007)	<i>cis</i> -perméthrine ; <i>trans</i> -perméthrine	Air intérieur	Totale	-	New York	96 - 337	12,5 – 16,9	QMF-PUF, 0,24 m <sup>3</sup> /h, 48h	Soxhlet	GC/MS
34	Williams et al. (2008)	<i>cis</i> -perméthrine ; <i>trans</i> -perméthrine	Air intérieur	Totale	-	New York	490 - 495	17,8 – 19,4	QMF-PUF, 0,24 m <sup>3</sup> /h, 48h	Soxhlet	GC/MS

*n* : effectif ; *F* : fréquence de détection ou de quantification (selon les études) ; *ND* : information non-disponible ; - : sans objet ; *PM10* et *PM30* : particules en suspension de taille médiane inférieure à 10  $\mu$ m et 30  $\mu$ m respectivement ; *PUF* : mousse en polyuréthane ; *QFF* : filtre en fibres de quartz ; *QMF* : filtre en microfibres de quartz ; *XAD-2* : type de résine ; *SE* : extraction par solvant ; *Soxhlet* : extraction continue par solvant sur un appareil de Soxhlet ; *PLE* : extraction liquide sous pression ; *TD* : désorption thermique ; *ÀSE* : extraction accélérée par solvant ; *SÀE* : extraction assistée par sonication ; *MÀSE* : extraction par solvant assistée par micro-ondes ; *GC/MS/MS* : chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (en tandem) ; *HPLC* : chromatographie en phase liquide à haute performance ; *GC/ $\mu$ ECD* : chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur à capture d'électrons.

## Références bibliographiques

1. Air PACA. (2012) Observatoire des Résidus de Pesticides en PACA. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
2. Air Pays de La Loire. (2004). Mesure de produits phytosanitaires en zones viticoles et urbaines de Loire-Atlantique - Campagne 2004. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
3. Air Pays de La Loire. (2006). Mesures de produits phytosanitaires dans l'air en Anjou - Campagne de mesure été 2006. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
4. AIRPARIF. (2007). Évaluation des concentrations en pesticides dans l'air francilien : campagne exploratoire. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
5. ATMO Champagne-Ardenne. (2003). Mesure des produits phytosanitaires dans l'air en 2003 en Champagne-Ardenne. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
6. ATMO Poitou-Charentes. (2007). Suivi annuel des pesticides dans l'air sur Poitiers - Campagne 2007. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
7. ATMO Poitou-Charentes. (2008). Étude des phytosanitaires dans l'air en zone de vergers - Campagne 2008. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
8. ATMO Poitou-Charentes. (2010). Mesure des pesticides dans l'air en région Poitou-Charentes - Campagne 2010. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
9. ATMO Poitou-Charentes. (2012). Mesures des pesticides dans l'air en Poitou-Charentes - Campagne 2012. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
10. ATMOSF'Air Bourgogne. (2005). Evaluation de l'exposition des populations aux pesticides dans l'air en zone urbaine - Mairie de Chenôve. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
11. Baraud, L., Tessier, D., Aaron, J.J., Quisefit, J.P., Pinart J. (2003). A multi-residue method for characterization and determination of atmospheric pesticides measured at two French urban and rural sampling sites. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 377, 1148–1152. doi: 10.1007/s00216-003-2196-3
12. Becker, K., Seiwert, M., Angerer, J., Kolossa-Gehring, M., Hoppe, H.-W., Ball, M., ... Seifert, B. (2006). GerES IV pilot study: assessment of the exposure of German children to organophosphorus and pyrethroid pesticides. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 209(3), 221–233. doi:10.1016/j.ijheh.2005.12.002
13. Berger-Preiss, E., Levsen, K., Leng, G., Idel, H., Sugiri, D., & Ranft, U. (2002). Indoor pyrethroid exposure in homes with woollen textile floor coverings. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 205(6), 459–472. doi:10.1078/1438-4639-00181
14. Blanchard, O., Glorennec, P., Mercier, F., Bonvallot, N., Chevrier, C., Ramalho, O., ... Bot, B. L. (2014). Semivolatile Organic Compounds in Indoor Air and Settled Dust in 30 French Dwellings. *Environmental Science & Technology*, 48(7), 3959–3969. doi:10.1021/es405269q
15. Bradman, A., Whitaker, D., Quirós, L., Castorina, R., Claus Henn, B., Nishioka, M., ... Eskenazi, B. (2007). Pesticides and their metabolites in the homes and urine of farmworker children living in the Salinas Valley, CA. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 17(4), 331–349. doi:10.1038/sj.jes.7500507
16. Hwang, H.-M., Park, E.-K., Young, T. M., & Hammock, B. D. (2008). Occurrence of endocrine-disrupting chemicals in indoor dust. *The Science of the Total Environment*, 404(1), 26–35. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.05.031
17. Julien, R., Adamkiewicz, G., Levy, J.I., Bennett, D., Nishioka, M., Spengler, J.D. (2008). Pesticide loadings of select organophosphate and pyrethroid pesticides in urban public housing. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 18, 167–174.
18. Leng, G., Berger-Preiss, E., Levsen, K., Ranft, U., Sugiri, D., Hadnagy, W., & Idel, H. (2005). Pyrethroids used indoor-ambient monitoring of pyrethroids following a pest control operation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 208(3), 193–199. doi:10.1016/j.ijheh.2005.01.016
19. Lig'Air. (2013). Contamination de l'air par les produits phytosanitaires en région Centre - Année 2013. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
20. LIMAIR. (2009). La surveillance des phytosanitaires : de la connaissances à la mesure exploratoire. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
21. Lu, C., Adamkiewicz, G., Atfield, K. R., Kapp, M., Spengler, J. D., Tao, L., & Xie, S. H. (2013). Household pesticide contamination from indoor pest control applications in urban low-income public housing dwellings: a community-based participatory research. *Environmental Science & Technology*, 47(4), 2018–2025. doi:10.1021/es303912n

22. Mercier, F., Glorennec, P., Blanchard, O., & Le Bot, B. (2012). Analysis of semi-volatile organic compounds in indoor suspended particulate matter by thermal desorption coupled with gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of Chromatography*, 1254, 107–114. doi:10.1016/j.chroma.2012.07.025
23. Morgan, M. K., Sheldon, L. S., Croghan, C. W., Jones, P. A., Chuang, J. C., & Wilson, N. K. (2007). An observational study of 127 preschool children at their homes and daycare centers in Ohio: environmental pathways to cis- and trans-permethrin exposure. *Environmental Research*, 104(2), 266–274. doi:10.1016/j.envres.2006.11.011
24. Morgan, M., Wilson, N., & Chuang, J. (2014). Exposures of 129 Preschool Children to Organochlorines, Organophosphates, Pyrethroids, and Acid Herbicides at Their Homes and Daycares in North Carolina. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(4), 3743–3764. doi:10.3390/ijerph110403743
25. ORAMIP. (2005). Evaluation des concentrations en phytosanitaires en secteur arboricole. Association Agréée de Surveillance de La Qualité de l'Air - Fédération ATMO.
26. Quirós-Alcalá, L., Bradman, A., Nishioka, M., Harnly, M. E., Hubbard, A., McKone, T. E., ... Eskenazi, B. (2011). Pesticides in house dust from urban and farmworker households in California: an observational measurement study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 10, 19. doi:10.1186/1476-069X-10-19
27. Regueiro, J., Llompart, M., Garcia-Jares, C., & Cela, R. (2007). Development of a high-throughput method for the determination of organochlorinated compounds, nitromusks and pyrethroid insecticides in indoor dust. *Journal of Chromatography*, 1174(1-2), 112–124. doi:10.1016/j.chroma.2007.08.052
28. Seifert, B., Becker, K., Helm, D., Krause, C., Schulz, C., Seiwert, M. (2000). The German Environmental Survey 1990/1992 (GerES II): reference concentrations of selected environmental pollutants in blood, urine, hair, house dust, drinking water, and indoor air. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 10, 552-565.
29. Starr, J., Graham, S., Stout, D., 2nd, Andrews, K., & Nishioka, M. (2008). Pyrethroid pesticides and their metabolites in vacuum cleaner dust collected from homes and day-care centers. *Environmental Research*, 108(3), 271–279. doi:10.1016/j.envres.2008.07.022
30. Trunnelle, K. J., Bennett, D. H., Tancredi, D. J., Gee, S. J., Stoecklin-Marois, M. T., Hennessy-Burt, T. E., Schenker, M. B. (2013). Pyrethroids in house dust from the homes of farm worker families in the MICASA study. *Environment International*, 61, 57–63. doi:10.1016/j.envint.2013.09.007
31. Trunnelle, K. J., Bennett, D. H., Tolve, N. S., Clifton, M. S., Davis, M. D., Calafat, A. M., ... Hertz-Picciotto, I. (2014). Urinary Pyrethroid and Chlorpyrifos Metabolite Concentrations in Northern California Families and Their Relationship to Indoor Residential Insecticide Levels, Part of the Study of Use of Products and Exposure Related Behavior (SUPERB). *Environmental Science & Technology*, 48(3), 1931–1939. doi:10.1021/es403661a
32. Tolve, N. S., Egeghy, P. P., Fortmann, R. C., Whitaker, D. A., Nishioka, M. G., Naeher, L. P., & Hilliard, A. (2008). Multimedia measurements and activity patterns in an observational pilot study of nine young children. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 18(1), 31–44. doi:10.1038/sj.jes.7500600
33. Whyatt, R. M., Garfinkel, R., Hoepner, L. A., Holmes, D., Borjas, M., Williams, M. K., ... Camann, D. E. (2007). Within- and between-home variability in indoor-air insecticide levels during pregnancy among an inner-city cohort from New York City. *Environmental Health Perspectives*, 115(3), 383–389. doi:10.1289/ehp.9546
34. Williams, M. K., Rundle, A., Holmes, D., Reyes, M., Hoepner, L. A., Barr, D. B., ... Whyatt, R. M. (2008). Changes in pest infestation levels, self-reported pesticide use, and permethrin exposure during pregnancy after the 2000-2001 U.S. Environmental Protection Agency restriction of organophosphates. *Environmental Health Perspectives*, 116(12), 1681–1688. doi:10.1289/ehp.11367

### Critères définis pour sélectionner les études contenant des données de contamination en perméthrine :

- 1. Les mesures ont été effectuées simultanément dans l'air intérieur et dans les poussières sédimentées, afin de prendre en compte la forte corrélation qui existe entre les niveaux de contamination de ces deux milieux ;
- 2. Les prélèvements ont été réalisés simultanément dans la phase gazeuse et dans la phase particulaire de l'air, afin de disposer de niveaux de contamination pour l'ensemble du compartiment aérien ;
- 3. Les niveaux de contamination de la phase gazeuse et de la phase particulaire de l'air ont été quantifiés séparément, afin de distinguer la contribution de ces deux phases dans les expositions ;
- 4. La fraction particulaire de l'air prélevé est connue et de taille médiane inférieure à 10  $\mu\text{m}$  (PM10). Les PM10 correspondent à la fraction particulaire de l'air majoritairement inhalable, i.e. qui sera peu retenue par les voies respiratoires supérieures pour être finalement ingérée (Anses, 2009). Cela permet de considérer que les concentrations en substances mesurées dans la phase particulaire de l'air intérieur contribuent à l'exposition par inhalation, mais ne constituent pas une part importante à l'exposition par ingestion ;
- 5. La taille du tamisage des poussières sédimentées est décrite par les auteurs. En effet, les particules les plus fines ayant une plus grande surface d'adsorption, la fraction particulaire des poussières prélevées pourrait influencer les niveaux de contamination (OQAI, 2011) ;
- 6. Les études présentant les limites de détection (LOD) et de quantification (LOQ) les plus faibles ont été privilégiées. Cela a conduit à exclure les études qui réalisent le prélèvement de la phase particulaire de l'air avec un préleveur bas débit ( $2,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) muni d'un filtre de type "Pallflex" sur une durée de 3,5h. En effet, l'utilisation de cette méthode par plusieurs études conduit à des LOD plus élevées que les autres méthodes. Par exemple, la LOD est égale à  $1 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$  pour la perméthrine avec l'utilisation de cette méthode (e.g. Berger-Preiss et al., 2002), contre une LOQ de  $0,002 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$  pour l'utilisation d'un préleveur bas débit ( $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) muni d'un filtre en fibre de quartz pendant 168h (e.g. Mercier et al., 2012 ; Blanchard et al., 2014) ;
- 7. Les méthodes de prélèvement fournissant la meilleure estimation possible des niveaux de contamination dans l'air ont été privilégiées. Lorsque les phases gazeuse et particulaire de l'air sont quantifiées séparément, cela implique de privilégier le prélèvement de l'air à bas débit ( $< 6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ). En effet, le prélèvement à haut débit induit un phénomène de désorption des COSV depuis la phase particulaire retenue sur le filtre vers la phase gazeuse retenue dans la mousse (ou la résine). La contamination de la phase gazeuse peut alors être surestimée au détriment de la phase particulaire. Il faut noter que le débit de prélèvement n'a pas d'impact dans les études qui quantifient de manière cumulée les deux phases de l'air (e.g. Air PACA, 2012) ;
- 8. Le prélèvement de l'air a duré plus de 48h, ou plusieurs prélèvements ont été réalisés sur une longue période. Cela permet l'exploitation des niveaux de contamination pour le calcul des expositions chroniques ;
- 9. Le prélèvement des poussières à l'aide d'un aspirateur a été réalisé par les auteurs, selon un protocole constant d'un échantillon à l'autre. Les études dont le protocole consiste à récupérer le sac de l'aspirateur domestique ont été exclues ;
- 10 et 11. La méthode de traitement des valeurs censurées et les LOD et/ou LOQ sont décrites par les auteurs. Ces informations sont indispensables à l'exploitation des données pour le calcul des expositions ;
- 12. La priorité est donnée aux études menées en France, afin de travailler à partir de niveaux de contamination représentatifs de la population française.

**Table 55 : Identification des études qui remplissent ces critères (marquées d'une croix). Les données sélectionnées sont finalement issues des études d'Air PACA (2012) (référence n°3) et de Blanchard et al. (2014) (référence n°14) (cf. texte pour les détails).**

Critères de sélection	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
Milieu étudié	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P	IP	IP	EIP	P	P	IP	E	E	IP	I	EIP	EIP	E	P	P	P	P	P	P	P	EIP	I	I	
1. Étude de l'air intérieur et des poussières simultanément														x	x	x			x			x		x	x										x	
2. Étude des deux phases de l'air (gazeuse et particulaire)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x						x	x			x	x										x	x
3. Séparation des phases gazeuse et particulaire de l'air					x									x																						
4. Fraction particulaire de l'air connue et ≤ PM10				x	x	x	x	x	x					x							x		x												x	x
5. Taille du tamisage des poussières connue													x	x	x	x	x										x	x	x	x	x					
6. Le filtre utilisé n'est pas de type "Pallflexfilter"	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x						x		x		x										x	x	x
7. Débit de prélèvement de l'air < 6 m³/h		x		x		x	x	x	x	x				x	x	x					x	x	x		x									x	x	x
8. Durée de prélèvement de l'air > 48h	x	x		x		x	x	x	x	x				x					x		x		x													
9. Prélèvement avec aspirateur réalisé par les auteurs														x	x		x	x						x		x	x			x	x					
10. Méthode de traitement des valeurs censurées connue													x	x	x		x	x						x		x		x	x	x	x			x	x	
11. Valeur de LOD ou LOQ connue	x	x		x	x						x	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	
12. Étude menée en France	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x						x	x		x													

*x : l'étude remplit le critère ; E : air extérieur ; I : air intérieur ; P : poussières sédimentées ; LOD : limite de détection ; LOQ : limite de quantification ; PM10 : particules en suspension de taille médiane inférieure à 10 µm ; GC/MS(MS) : chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (en tandem)*

### Annexe 3 : Limites analytiques dans les aliments

La gamme de limites analytiques est présentée au niveau du groupe selon la nomenclature pesticide Foodex2.

Groupes alimentaires	LOQ	Unité
Fruits et noix	0,01	µg/g
Légumes	0,01	µg/g
Légumineuses	0,01	µg/g
Oléagineux	0,01	µg/g
Céréales	0,01	µg/g
Thé, café, infusion	0,01	µg/g
Épices	0,01	µg/g
Plantes sucrières	0,01	µg/g
Produits d'origine animale (terrestre)	De 0,0002 à 0,05	µg/g
Produits d'origine animal (marin, eau douce)	0,01	µg/g
Eau	De $4 \cdot 10^{-6}$ à $10^{-4}$	µg/ml

## Annexe 4 : Plan de sondage de l'ENNS

C'est une enquête transversale, réalisée auprès d'un échantillon représentatif de la population résidant en ménage ordinaire (pas en institution) en France continentale pendant la période d'inclusion.

Seuls les adultes ont été concernés par les prélèvements sanguins et urinaires. Les pesticides ont été dosés dans le sous-échantillon, d'environ 400 adultes tirés au sort, mentionné ci-dessus. Trois familles chimiques ont été retenues : les pesticides organochlorés, organophosphorés et pyréthrinoides

L'ENNS devait permettre de disposer d'un échantillon aléatoire de taille suffisante, dont les caractéristiques sociodémographiques principales étaient proches de celles de la population source, à savoir la population générale vivant en France continentale, et qui inclut à la fois des enfants et des adultes. In fine, l'étude a porté sur un échantillon représentatif de la population vivant en France continentale, de 3 à 74 ans, de nationalité française ou étrangère.

Le nombre d'individus à inclure par région et type de zone a été défini proportionnellement à la population selon les données de l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). La sélection des sujets a été effectuée d'après un plan de sondage à trois degrés:

- Tirage au sort des unités primaires (UP, communes ou regroupements de communes) avec une stratification régionale (huit grandes régions) et sur le type de zone (zones urbaines en trois classes selon le nombre d'habitants dans l'UP, zone rurale, Paris) ;
- Tirage des foyers dans ces UP sur des bases téléphoniques (liste "blanche", liste "rouge", liste des foyers avec téléphone(s) portable(s) uniquement) ;
- Tirage d'un individu au sein du foyer selon la méthode de la date anniversaire.

**Table 56 : Description des variables de stratification**

Stratification sur la région		Stratification sur la taille d'agglomération	
Région	Zone géographique	Degré	Descriptif
1	Île-de-France	0	UP rurales
2	Nord, Picardie, Basse-Normandie, Haute Normandie	1	UP de moins de 20 000 habitants
3	Bretagne, Pays de la Loire, Poitou-Charentes	2	UP de 20 000 à 100 000 habitants
4	Centre, Bourgogne, Limousin, Auvergne	3	UP de plus de 100 000 habitants
5	Aquitaine, Midi-Pyrénées	4	Agglomération parisienne
6	Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur		
7	Rhône-Alpes, Franche-Comté		
8	Lorraine, Alsace, Champagne-Ardenne		

Des critères d'exclusion ont été définis :

- Absence de compréhension et d'utilisation de la langue française ;
- Communication impossible par téléphone ;
- État de santé nécessitant une nutrition artificielle ;
- Déménagement prochain hors de France continentale ;
- Résidents de foyers collectifs, etc.

## Annexe 5 : Table de correspondance entre les aliments ENNS et INCA2

Table 57 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (1)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
abatilles	abatilles eau plate
abricot	abricot frais
abricot au sirop	abricot au sirop en conserve
abricot sec	abricot sec
acras de morue	acra de morue
ail frais	ail frais
aile de dinde rôtie	dinde viande rôtie
algue, nori, crue	autre légume frais ou crudité, sans assaisonnement
amandes non salées	amande
ananas	ananas frais
ananas au sirop	ananas au sirop en conserve
andouille	andouille réchauffée
andouillette	andouillette réchauffée
apéritif à base de gentiane, type suze	apéritif à la gentiane
apéritif à base de vin ou vermouth, type martini	apéritif à base de vin ou vermouth type martini
apéritif anisé sans alcool	boisson ou apéritif anisé sans alcool
artichaut	artichaut cuit
asperge	asperge cuite
aubergine	aubergine cuite
aubergine farcie à la chair à saucisse	légumes divers farcis sauf tomate
avocat	avocat frais
baba au rhum	baba au rhum
bacon fumé	bacon filet cuit
badoit	badoit eau gazeuse
baguette	pain baguette
baguette sans sel	pain baguette sans sel
baklawa (pâtisserie orientale aux amandes et au sirop)	pâtisserie orientale aux amandes et au sirop
banane	banane fraîche
banane plantain	banane fraîche
bar / loup	bar ou loup commun cru
barre chocolatée à la noix de coco (type bounty)	barre à la noix de coco enrobée de chocolat type bounty
barre chocolatée aux fruits oléagineux (type snickers)	barre chocolatée aux fruits secs type nuts ou snickers

barre chocolatée biscuitée (type kitkat)	barre chocolatée biscuitée type kit-kat lion ou twix
--	--

**Table 58 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (2)**

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
barre chocolatée non biscuitée (type mars)	barre chocolatée non biscuitée enrobée type mars
barre de céréales à la banane	barre céréalière aux fruits
barre de céréales à la pomme	barre céréalière aux fruits
barre de céréales à l'abricot	barre céréalière aux fruits
barre de céréales au chocolat	barre chocolatée céréalière type grany céréales chocolat
barre de céréales aux fruits	barre céréalière aux fruits
barre goûter frais au cacao (type kinder pingoui)	barre pour enfant au lait et au cacao type pingui
barre hyperprotéinée	barre céréalière diététique hypocalorique type gerlinéa nesvital nutrition & santé
barres glacées (type mars glacé)	barre chocolatée glacée type mars twix snickers
bâtonnet de dinde pané	autre volaille cuite
bâtonnet de poisson pané	poisson pané frit
bâtonnet de surimi	limande-sole cuite à la vapeur
beaufort	beaufort fromage à pâte pressée cuite 45% m.g.
beignet de crevette	beignet de crevette industriel
beignet de fruits	beignet fourré aux fruits
beignet nature (type merveilles, bugnes...)	beignet sucré nature
betterave	betterave rouge cuite
betteraves rouges assaisonnées	betterave rouge cuite
beurre de cacahuètes	pâte d'arachide ou beurre de cacahuète
beurre demi-sel	beurre demi-sel sel maxi 3%
beurre demi-sel allégé	beurre allégé 60-62 % m.g. demi-sel
beurre doux	beurre doux
beurre doux allégé	beurre allégé sans précision
biche rôtie	autre gibier
bière blonde	bière cœur de marché à 4-5° d'alcool type kronenbourg ou 33 export
bière brune	bière brune
bière sans alcool	bière sans alcool type tourtel
bigorneau	bigorneau cuit
biscotte	biscotte classique type heudebert lu
biscotte complète ou riche en fibres	biscotte complète ou riche en fibres
biscotte multicéréales	biscotte multicéréales type heudebert aux six céréales
biscotte sans sel	biscotte sans adjonction de sel

biscuit apéritif allégé (type crackers)	biscuit apéritif type cracker allégé en matière grasse
biscuit apéritif nature (type crackers)	biscuit apéritif type cracker nature type tuc ou triangolini

**Table 59 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (3)**

<b>Libellé des aliments ENNS</b>	<b>Libellé des aliments INCA2</b>
biscuit apéritif sans fromage	biscuit apéritif type cracker nature type tuc ou triangolini
biscuit apéritif soufflé à base de maïs (type curly)	biscuit apéritif soufflé à base de maïs sans cacahuète
biscuit apéritif soufflé à base de pomme de terre (type monster munch)	biscuit apéritif soufflé à base de pomme de terre type chipster lu
biscuit au chocolat (type gerblé, céréal...)	biscuit diététique à teneur garantie en vitamines
biscuit aux céréales (type gerblé, céréal...)	biscuit diététique à teneur garantie en vitamines
biscuit aux fruits (type gerblé, céréal...)	biscuit diététique à teneur garantie en vitamines
biscuit chocolaté	biscuit sec au chocolat sans précision
biscuit nappé aux fruits, type barquette	barquette à la pulpe de fruit fabrication industrielle
biscuit pour petit déjeuner	biscuit sec pour petit déjeuner type lu ou prince
biscuit sec	biscuit sec sans précision
biscuit sec avec tablette de chocolat (type petit ecolier)	biscuit sec petit beurre + tablette de chocolat type lu petit ecolier
biscuit sec nappage chocolat (type pépito)	biscuit sec nappé de chocolat type pépito ou mikado lu
biscuit type langue de chat	langue de chat
biscuit type palmier	biscuit sec feuilleté type petits cœurs nature ou palmito
biscuit type petit beurre	biscuit sec petit beurre
biscuit, barre fourrée (supprimé)	autre biscuit sucré
blanc de poulet rôti	blanc de poulet cuit
blanc d'oeuf cru	blanc d'œuf dur
blanquette de veau	blanquette de veau
blé (type ebly)	blé dur précuit nature type ebly
blette	bette ou blette cuite
bleu	bleu au lait de vache fromage à pâte persillée sans précision
blinis	blinis
boeuf à pot-au-feu	bœuf à pot-au-feu cuit
bœuf bourguignon	bœuf bourguignon
boeuf braisé	bœuf braisé
bœuf carottes	bœuf carottes
bœuf en préparation chinoise (supprimé)	autre viande
boisson (lait) au soja	boisson au soja ou tonyu ou lait de soja nature
boisson à base de malt et d'orge (type caro) en poudre	poudre maltée et sucrée pour boisson
boisson à base de malt et d'orge (type caro)	poudre maltée et sucrée pour boisson

reconstituée à l'eau	
boisson à l'orange sans bulles	boisson plate à l'orange 10 à 50% de jus sucrée type oasis orange

**Table 60 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (4)**

<b>Libellé des aliments ENNS</b>	<b>Libellé des aliments INCA2</b>
boisson au jus de fruits et au lait	boisson au jus de fruits et au lait type danao
boisson aux fruits exotiques sans bulles	boisson plate aux fruits exotiques 10 à 50% de jus sucrée type banga exotique ou oasis cocktail tropical
boisson aux fruits sans bulles	boisson plate aux fruits exotiques 10 à 50% de jus sucrée type banga exotique ou oasis cocktail tropical
boisson végétale au soja enrichie en calcium	boisson au soja ou tonyu ou lait de soja nature
bonbon	bonbons tout type sauf gélifiés
bonbon au caramel	bonbons tout type sauf gélifiés
bonbon praline	bonbons tout type sauf gélifiés
bouchée à la reine au poulet	bouchée à la reine au poulet
boudin antillais	boudin noir cuit
boudin blanc	boudin blanc cuit
boudin noir	boudin noir cuit
boudoir / biscuit à la cuillère	biscuit sec aux œufs à la cuillère ou boudoir
bouillon cube	cube pour bouillon de bœuf
bouillon de volaille déshydraté, reconstitué	bouillon de volaille déshydraté reconstitué type bouillon de poule knorr
boulettes de bœuf	bœuf boulettes cuites
boulghour	blé dur précuit nature type ebyl
boursin	boursin fromage frais salé aromatisé 70% m.g.
brandade de morue (sans pommes de terre)	brandade de morue recette traditionnelle
brandade de morue parmentière	brandade de morue recette traditionnelle
bretzel nature salé	biscuit apéritif type cracker nature type tuc ou triangolini
brie	brie fromage à pâte molle à croûte fleurie 45% m.g.
brioche	brioche sans précision
brioche individuelle	brioche industrielle préemballée
brochette d'agneau/mouton	brochette d'agneau
brochette de bœuf	brochette de bœuf
brochette de poisson	brochette de poisson
brochette de volailles	brochette de volaille
brocoli	brocoli cuit
brownie au chocolat	brownie au chocolat
brownie au chocolat et aux noix	brownie au chocolat
brugnon	nectarine non pelée fraîche

bulot	bulot ou buccin cuit
cabillaud	cabillaud cuit au four

Table 61 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (5)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
cacahuètes grillées non salées	cacahuète ou arachide
cacahuètes grillées salées	cacahuète grillée salée
cacao en poudre non sucré	cacao en poudre non sucré type van houten
café	café noir prêt à boire non sucré
café décaféiné	café décaféiné prêt à boire non sucré
café expresso	café expresso non sucré
café instantané décaféiné en poudre	café soluble décaféiné reconstitué prêt à boire non sucré
café instantané en poudre	café soluble en poudre
café liégeois glacé	glace crème glacée sorbet ou glace à l'eau parfums divers
café viennois	café au lait ou café crème ou cappuccino non sucré
caille	caille cuite viande et peau
cake aux fruits	cake aux fruits
cake aux raisins	cake aux fruits
cake salé jambon, olives	cake salé avec garniture (viande poisson volaille fromage légumes ...)
calmar	calmar ou calamar frit
calvados	eau-de-vie
camembert 45% mg	camembert fromage à pâte molle à croûte fleurie 45% m.g.
canard laqué	canard viande rôtie
canard rôti	canard viande rôtie
cancoillotte	cancoillotte spécialité fromagère fondue 40% m.g.
canelé	autre gâteau
cannelloni à la viande	cannellonis à la viande
cantal	cantal salers ou laguiole fromages à pâte pressée non cuite 45% m.g.
capitaine	perche cuite au four
cappuccino	café au lait ou café crème ou cappuccino non sucré
cappuccino en poudre	café au lait ou café crème ou cappuccino non sucré
câpres	câpres
caprice des dieux	caprice des dieux fromage à pâte molle 60% m.g.
caramel au beurre	bonbons tout type sauf gélifiés
carotte	carotte crue
carotte crue	carotte crue

carottes râpées assaisonnées	carotte crue
carpaccio de bœuf	carpaccio de boeuf
carpaccio de saumon à l'huile d'olive	carpaccio de saumon

**Table 62 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (6)**

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
carré de l'est	carré de l'est fromage à pâte molle à croûte fleurie 45-50% m.g.
carré frais (supprimé)	carré frais fromage à tartiner 40% m.g.
cassolette de noix de saint-jacques aux poireaux	poisson en sauce surgelé
cassoulet	cassoulet en conserve
caviar d'aubergine	aubergine cuite
céleri branche	céleri branche cuit
céleri rémoulade	céleri rémoulade
céleri-rave cru	céleri-rave cru
céleri-rave cuit	céleri-rave cuit
céréales au son (type all bran +)	céréales riches en fibres enrichies en vitamines et minéraux type all-bran
céréales chocolatées non fourrées (type chocapic)	pétales de blé chocolatés enrichis en vitamines et minéraux type chocos kellogg's ou chocapic nestlé
céréales fourrées au chocolat ou chocolat-noisettes	céréales fourrées au chocolat ou chocolat-noisette enrichies en vitamines et minéraux type kellogg's frosties grr ou smacks choco trésor
céréales riches en fibres	céréales riches en fibres enrichies en vitamines et minéraux type all-bran
cerfeuil frais	cerfeuil frais
cerise	cerise fraîche
cervelas	cervelas
cervelle d'agneau / mouton	cervelle d'agneau cuite
cervelle de veau sautée	autre abat
chabichou	chabichou fromage de chèvre
chair à saucisse	chair à saucisse
champagne	champagne
champignon à la grecque	champignons à la grecque
champignon cru	champignon tout type cru sans précision
champignon de paris	champignon de paris en conserve
chaource	chaource fromage à pâte molle à croûte fleurie 50% m.g.
chapon	autre volaille cuite
charlotte aux fruits	charlotte aux fruits artisanale
chausson aux pommes	chausson aux pommes

cheeseburger	cheeseburger
chevreuil rôti	chevreuil rôti
chewing-gum	chewing-gum sucré

Table 63 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (7)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
chewing-gum sans sucre	chewing-gum sans sucre
chicorée en poudre	chicorée en poudre soluble type leroux
chicorée reconstituée à l'eau	chicorée en poudre soluble type leroux
chili con carne	chili con carne
chipolata	chipolata cuite
chips chinoises salées	chips de maïs ou tortilla chips type nacho cheese ou dippas nature doritos
chips de maïs salées ou tortillas chips	chips de maïs ou tortilla chips type nacho cheese ou dippas nature doritos
chips de pomme de terre salées	chips de pomme de terre salées
chocolat au lait	chocolat au lait en tablette ou en barre type kinder maxi
chocolat au lait avec fruits secs et noisettes	chocolat au lait aux fruits secs (amande noisette raisin sec) en tablette ou en barre type kinder bueno
chocolat au lait avec riz soufflé	chocolat au lait et aux céréales croustillantes en tablette type crunch
chocolat au lait et aux noisette (type ferrero rocher)	chocolat au lait aux fruits secs (amande noisette raisin sec) en tablette ou en barre type kinder bueno
chocolat au lait fourré	chocolat au lait fourré au praliné en tablette
chocolat blanc	chocolat blanc en tablette type galak
chocolat en poudre sucré	poudre cacaotée et sucrée pour boisson au chocolat
chocolat liégeois	chocolat viennois ou liégeois
chocolat noir	chocolat noir 40% de cacao minimum en tablette à pâtisser ou à croquer
chocolat noir 70% cacao	chocolat noir 70% de cacao minimum en tablette
chocolat noir avec fruits secs et noisettes	chocolat noir aux fruits secs (amande noisette raisin sec praliné) en tablette
chocolat noir fourré	chocolat noir fourré au praliné en tablette
chorba	soupe à la tomate préemballée à réchauffer ou déshydratée reconstituée
chorizo sec	chorizo sec
chou à la crème pâtissière	chou à la crème chantilly ou pâtissière
chou blanc cru	chou blanc cru
chou blanc cuit	chou blanc cru
chou de bruxelles	chou de bruxelles cuit

chou farci à la chair à saucisse	légumes divers farcis sauf tomate
chou rouge cru	chou rouge cru
chou vert cuit	chou vert cuit
choucroute	choucroute sans garniture

Table 64 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (8)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
choucroute garnie	choucroute garnie en conserve
chou-fleur	chou-fleur cuit
chouquette	chouquette artisanale
ciboulette fraîche	ciboule ou ciboulette fraîche
cidre brut	cidre brut
cidre doux	cidre doux
citron jaune	citron frais
citron vert	citron frais
clafoutis	clafoutis aux fruits
clémentine / mandarine	clémentine ou mandarine fraîche
cocktail de fruits au sirop	macédoine de fruits au sirop en conserve
cocktail de jus de fruits sans alcool	cocktail de jus de fruits à base de concentré pasteurisé
coeur d'agneau / mouton	autre abat
coeur de palmier	cœur de palmier en conserve
coeur de veau	autre abat
cognac / armagnac	cognac armagnac
colin	lieu ou colin noir cuit
compote de fruits divers allégée	compote de fruits divers allégée en conserve
compote de fruits mélangés sucrée	compote de fruits divers en conserve
compote de pomme sucrée	compote de pomme en conserve
compote de rhubarbe sucrée	compote de fruits divers en conserve
compote pomme-banane sans sucre ajouté	compote de fruits divers allégée en conserve
compote sans sucre ajouté	compote de fruits divers allégée en conserve
comté	comté fromage à pâte pressée cuite 45% m.g.
concentré de tomate	concentré de tomate
concombre	concombre cru pulpe
cône chocolat pistache	glace en cornet
cône vanille	glace en cornet
cône, autre parfum	glace en cornet
confiserie au chocolat dragéifiée (type smarties)	confiserie dragéifiée au chocolat type smarties

confit de canard / oie	confit de canard
confiture	confiture ou marmelade tout type
confiture allégée	confiture allégée
contrex	contrex eau plate
cookie	cookie

Table 65 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (9)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
coq au vin	coq au vin
coquelet	autre volaille cuite
coquille de poisson	poisson en sauce surgelé
coquille saint-jacques, noix et corail	coquille saint-jacques noix et corail cuite
cordons bleus	cordons bleus de volaille type père dodu ou le gaulois
cornichon	cornichon au vinaigre
côte de boeuf grillée	autre viande
côte de porc grillée	porc côtelette grillée
côte de veau	veau côte cuite
côte de veau maigre braisée	autre viande
côtelette d'agneau / mouton grillée	agneau côtelette grillée
coulommiers	coulommiers fromage à pâte molle à croûte fleurie 40-45% m.g.
courgette	courgette cuite
courgette farcie à la chair à saucisse	légumes divers farcis sauf tomate
couscous au poulet	couscous au poulet
couscous royal	couscous royal à la viande
crabe	crabe ou tourteau cuit à l'eau
crème anglaise	crème anglaise
crème au chocolat allégée en matière grasse	crème dessert au chocolat industrielle type danette ou petits filous
crème aux œufs	crème dessert aux œufs ou crème renversée type senoble crème aux œufs saveur vanille ou rians crème aux œufs
crème brûlée	crème brûlée
crème caramel	crème caramel type charles gervais
crème chantilly	crème chantilly sucrée sous pression uht
crème chantilly allégée	crème chantilly sucrée sous pression uht
crème de cassis	liqueurs
crème de marron vanillée	crème de marrons vanillée en conserve
crème de poulet	autre sauce
crème de soja	crème dessert au soja nature rayon frais type sojasun

	nature
crème de yaourt aromatisé	yaourt nature au lait entier sucré
crème de yaourt aux pépites de chocolat	spécialité laitière au lait entier enrichie en crème au chocolat type stracciatella danone
crème dessert	crème dessert rayon frais ou appertisée sans précision
crème dessert à la vanille	crème dessert rayon frais type danette

**Table 66 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (10)**

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
crème dessert au chocolat	crème dessert au chocolat industrielle type danette ou petits filous
crème dessert au soja aromatisé	crème dessert au soja aromatisée rayon frais type sojasun chocolat
crème dessert au soja aux fruits	crème dessert au soja aux fruits rayon frais type sojadélice aux pruneaux
crème fraîche épaisse	crème fraîche ou crème de lait épaisse au moins 30% m.g. rayon frais
crème fraîche épaisse allégée	crème fraîche ou crème de lait épaisse allégée 15 à 20% m.g. rayon frais
crème glacée à la fraise	glace crème glacée sorbet ou glace à l'eau parfums divers
crème glacée à la vanille	crème glacée à la vanille type carte d'or vanille
crème glacée à la vanille allégée en sucre et matière grasse	crème glacée à la vanille type carte d'or vanille
crème glacée au chocolat	crème glacée au chocolat type carte d'or chocolat
crème glacée, autre parfum	glace crème glacée sorbet ou glace à l'eau parfums divers
crème pâtissière	crème pâtissière
crêpe au sarrasin (galette)	crêpe ou galette bretonne au blé noir ou sarrasin
crêpe fourrée au chocolat du commerce	crêpe au froment fourrée au chocolat ou ou à la pâte à tartiner chocolat et noisettes
crêpe fourrée béchamel, jambon, fromage	crêpe fourrée béchamel jambon fromage
crêpe nature	crêpe au froment nature
crêpe sucrée	crêpe au froment sucrée non fourrée
crevette grise	crevette cuite
crevette rose	crevette cuite
crystaline	eau de source
croissant au beurre	croissant au beurre artisanal
croissant au jambon	croissant au jambon
croissant aux amandes	croissant aux amandes artisanal
croissant ordinaire	croissant ordinaire artisanal
croque-monsieur	croque-monsieur
croquette de poisson	croquette ou nugget de poisson frit

crottin de chèvre	crottin fromage de chèvre
cuisse de dinde rôtie avec peau	dinde viande rôtie
cuisse de dinde rôtie sans peau	dinde viande rôtie
cuisse de poulet rôtie avec peau	poulet cuisse rôtie viande et peau
curry en poudre	curry en poudre
datte sèche	datte sèche

Table 67 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (11)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
daurade	dorade ou daurade grise crue
dinde rôtie	dinde viande rôtie
double hamburger	hamburger
eau aromatisée non sucrée	eau minérale ou de source aromatisée sans précision
eau aromatisée sucrée	eau minérale ou de source aromatisée sans précision
eau de source	eau de source
eau de vie / schnaps	eau-de-vie
eau de ville (du robinet)	eau du robinet
eau minérale	eau minérale sans précision
eau minérale gazeuse	eau gazeuse sans précision
échalote	échalote crue
échine de porc rôti	porc échine rôtie
éclair chocolat, café	éclair
edam	autre fromage
édulcorant à l'aspartam	édulcorant à l'aspartame
églefin	églefin cuit à la vapeur
emmental	emmental fromage à pâte pressée cuite 45% m.g.
endive crue	endive crue
endive cuite	endive cuite
entrecôte de boeuf grillée	bœuf entrecôte grillée
épaule d'agneau / mouton maigre braisée	autre viande
épaule d'agneau / mouton maigre rôtie	autre viande
épaule d'agneau / mouton rôtie	agneau épaule rôtie
épaule de veau	autre viande
épaule de veau braisée	autre viande
épinard	épinard cuit
épinard en branches à la crème fraîche	épinard cuit
épinard haché à la crème fraîche	épinard cuit
escalope de dinde rôtie	dinde ou autre volaille escalope sautée

escalope de poulet	dinde ou autre volaille escalope sautée
escalope de poulet panée	autre volaille cuite
escalope de veau	veau escalope cuite
escargot	escargot cru
espadon	espadon cuit au four
esquimau ou bâtonnet vanille	glace enrobée de chocolat type esquimau

**Table 68 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (12)**

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
esquimau ou bâtonnet, autre parfum	glace enrobée de chocolat type esquimau
evian	évian eau plate
faisselle 0% mg	fromage blanc de campagne nature 0% m.g.
faisselle 40% mg nature (6% sur produit fini)	fromage blanc de campagne nature 40% m.g. type senoble fromage frais 43% campagne
far breton	gâteau breton ou far aux pruneau
farine blanche	blé dur précuit nature type ebly
faux-filet de boeuf grillé	bœuf faux-filet grillé
fenouil	fenouil cru
féta 45% mg	féta de brebis
feuille de brick garnie	brick garni (garniture : crevettes légumes volaille viande poisson...)
feuilleté au fromage	friand au fromage artisanal
feuilleté au poisson	feuilleté au saumon
fève	fève cuite
figue fraîche	figue fraîche
figue sèche	figue sèche
filet d'anchois à l'huile d'olive, égoutté	anchois filets à l'huile semi-conserve
filet de bacon	bacon filet cuit
filet de maquereau au vin blanc	maquereau filet au vin blanc en conserve
filet de maquereau sauce moutarde	maquereau filet à la sauce moutarde en conserve
filet de poisson pané	poisson pané frit
filet de porc maigre	porc filet rôti maigre cuit
fines herbes fraîches	herbes aromatiques fraîches
flageolet	haricot flageolet en conserve
flammekueche	flamenkueche (tarte salée aux lardons)
flan	flan pâtissier aux œufs ou à la parisienne
flan (supprimé)	flan pâtissier aux œufs ou à la parisienne
flan aux œufs (supprimé)	flan pâtissier aux œufs ou à la parisienne

flan caramel	flan pâtissier aux œufs ou à la parisienne
flan coco	flan pâtissier aux œufs ou à la parisienne
flétan	flétan cru
flocons d'avoine	flocons d'avoine cuits à l'eau
foie d'agneau / mouton	foie d'agneau cuit
foie de boeuf sauté	autre abat
foie de génisse	foie de génisse cuit

Table 69 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (13)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
foie de poulet mijoté	foie poulet cuit
foie de veau	foie de veau cuit
foie de veau sauté	foie de veau cuit
foie de volaille	foie de volaille cuit
foie gras (oie / canard)	foie gras en conserve
foie gras de canard avec morceaux (supprimé)	foie gras en conserve
fond d'artichaut	artichaut cuit
fond de sauce	autre sauce
fondue bourguignonne	fondue bourguignonne
forêt noire	autre pâtisserie
fraise	fraise fraîche
framboise	framboise fraîche
friand à la saucisse	friand à la viande artisanal
friand à la viande	friand à la viande artisanal
friand au fromage	friand au fromage artisanal
frisée	autre salade sans assaisonnement
frites	pomme de terre frite non salée
frites fast food	pomme de terre frite non salée
fromage à pâte ferme, type bonbel - babybel	fromage et mini fromage type bonbel-babybel
fromage à raclette	raclette fromage à pâte pressée non cuite 45% m.g.
fromage apéritif en cube (type apéricube)	fromage fondu en portions ou en cubes 45-50% m.g.
fromage blanc 0% mg aromatisé	fromage blanc battu nature 0% m.g.
fromage blanc 0% mg aux fruits, édulcoré	fromage blanc battu aux fruits 0% m.g. aux édulcorants type yoplait câlin 0% sur lit de fruits
fromage blanc 0% mg nature	fromage blanc battu nature 0% m.g.
fromage blanc 20% mg nature (3% sur produit fini)	fromage blanc battu 20% m.g. nature
fromage blanc 40% mg aux fruits (6% sur produit fini)	fromage blanc aux fruits sucré 30-40% m.g.
fromage blanc 40% mg nature (6% sur produit fini)	fromage blanc battu nature 40% m.g. type danone jockey

	40% ou yoplait calin 40%
fromage blanc aux fruits	fromage blanc aux fruits sucré 30-40% m.g.
fromage blanc et crème fouettée (type gervita aux fruits)	spécialité laitière aux fruits à base de fromage blanc enrichie en crème type gervita
fromage blanc et crème fouettée (type gervita nature)	spécialité laitière nature à base de fromage blanc enrichie en crème type fjord ou gervita nature
fromage de brebis (pâte molle)	fromage des pyrénées au lait de brebis
fromage de chèvre frais	fromage de chèvre frais
fromage de chèvre mi-sec	fromage de chèvre mi-sec

Table 70 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (14)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
fromage de chèvre sec	fromage de chèvre sec
fromage de chèvre type bûche	fromage de chèvre affiné au lait pasteurisé ou cru
fromage de tête	pâté de tête ou fromage de tête
fromage fondu 25% mg	fromage fondu 25% m.g. type sylphide ou vache qui rit équilibre et ligne
fromage fondu 65% mg	fromage fondu 60-65% m.g. type six de savoie
fromage fondu 70% mg	kiri crème fromage fondu double crème 70% m.g.
fromage frais nature	fromage blanc battu nature 40% m.g. type danone jockey 40% ou yoplait calin 40%
fromage pâte ferme 25% mg	fromage à pâte pressée non cuite allégé 20-30% m.g.
fromage type camembert 25% mg	fromage à pâte molle à croûte fleurie genre camembert allégé 20-30% m.g.
fruit de la passion	fruit de la passion frais
galette bretonne (type st michel)	galette ou sablé ou palet type galette du mont saint michel
galette de céréales (quinoa, avoine, seigle, riz...)	muesli sans précision
galette de maïs, tortilla (sans garniture)	chips de maïs ou tortilla chips type nacho cheese ou dippas nature doritos
galette de pomme de terre	pomme de terre dauphine cuite
galette des rois à la frangipane	galette des rois feuilletée fourrée à la frangipane
gambas	autre fruit de mer
gâteau au chocolat	gâteau au chocolat
gâteau au fromage blanc (type cheesecake)	gâteau au fromage blanc
gâteau au yaourt	autre gâteau
gâteau basque	autre gâteau
gâteau coco	autre gâteau
gâteau de riz	gâteau de riz nappé de caramel rayon frais
gâteau de savoie	gâteau de savoie
gâteau de semoule	gâteau de semoule au lait rayon frais
gâteau moelleux aux fruits type mini-roulé ou mini cake	gâteau moelleux fourré aux fruits type mini roulé fraise

fourré	captain choc
gâteau moelleux fourré au chocolat, pépites de chocolat au lait	gâteau moelleux fourré au chocolat ou aux pépites de chocolat noir ou au lait
gaufre	gaufre bruxelloise ou liégeoise avec ou sans chocolat préemballée
gaufrette	gaufrette fourrée fourrage autre qu'aux fruits (chocolat vanille noisette...)
gaufrette au chocolat	gaufrette fourrée fourrage autre qu'aux fruits (chocolat vanille noisette...)
germe de blé	germes de blé

Table 71 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (15)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
germe ou pousse de soja	germe ou pousse de soja cru
gésier de canard rôti	autre abat
gésier de poulet mijoté	autre abat
gigot d'agneau / mouton rôti	agneau gigot rôti
gin	gin
gnocchi à la semoule de blé	gnocchis de pommes de terre
gouda	gouda fromage à pâte pressée non cuite 30-40% m.g.
goûter fourré chocolat ou fruit (type bn)	goûter sec fourré au chocolat type prince ou bn au chocolat
graines de sésame	graine de sésame et autres
graines de tournesol	graine de tournesol
grains de blé soufflés au miel ou caramel (type smacks)	grains de blé soufflés au miel ou au caramel enrichis en vitamines et minéraux type smacks kellogg's
graisse de canard	graisse de canard
graisse d'oie	graisse d'oie
gratin dauphinois	gratin dauphinois
gratin de légumes	gratin de légumes
gratin de pâtes	gratin de pâtes
gratin de pomme de terre	gratin dauphinois
gressins	autre biscotte
groseille	groseille fraîche
gruyère	gruyère fromage à pâte pressée cuite 45% m.g.
gruyère rapé	gruyère râpé ajouté au service
guimauve	bonbons tout type sauf gélifiés
hachis parmentier	hachis parmentier
hamburger à la viande	hamburger
hamburger au poulet pané	hamburger
hareng au vinaigre / rollmops	hareng mariné

hareng fumé	hareng fumé
haricot beurre	haricot beurre en conserve
haricot blanc	haricot blanc cuit
haricot rouge	haricot rouge cuit
haricot vert	haricot vert cuit
hépar	hépar eau plate
hoki	autre poisson
homard	homard cuit à l'eau

Table 72 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (16)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
huile d'arachide	huile d'arachide
huile de colza	huile de colza
huile de maïs	huile de maïs
huile de noix	huile de noix
huile de pépins de raisin	huile de pépins de raisin
huile de sésame	autre huile végétale
huile de soja	huile de soja
huile de tournesol	huile de tournesol
huile d'olive	huile d'olive vierge
huile mélangée	huile mélangée équilibrée type isio 4
huître	huître creuse crue
igname	patate douce cuite
île flottante, œufs en neige	île flottante ou œufs à la neige
jambon blanc	jambon cuit
jambon blanc fumé	jambon cuit fumé
jambon blanc supérieur	jambon cuit supérieur
jambon blanc supérieur, découenné et dégraissé	jambon cuit supérieur dd (découenné dégraissé)
jambon blanc, découenné et dégraissé	jambon cuit dd (découenné dégraissé)
jambon de volaille	blanc de poulet cuit
jambon sec découenné, dégraissé	jambon sec dd (découenné dégraissé)
jambon sec type bayonne, parme	jambon sec dd (découenné dégraissé)
jambonneau	jambonneau cuit
jardinière de légumes	légumes cuits sans précision
jarret d'agneau / mouton braisé	autre viande
jarret de veau braisé	autre viande
jarret de veau maigre braisé	autre viande

jaune d'œuf cru	jaune d'œuf cuit
jus d'ananas pur jus	pur jus d'ananas pasteurisé
jus de canne à sucre	sirop aux extraits de fruits à diluer type menthe ou fraise
jus de carotte	pur jus de carottes pasteurisé
jus de citron pressé	jus de citron pressé maison
jus de gingembre	autre jus de fruits
jus de pamplemousse pressé	pur jus de pamplemousse frais
jus de pamplemousse pur jus	pur jus de pamplemousse pasteurisé
jus de pomme pur jus	pur jus de pomme pasteurisé

Table 73 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (17)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
jus de pruneaux	autre jus de fruits
jus de raisin pur jus	pur jus de raisin pasteurisé
jus de tomate	pur jus de tomate pasteurisé
jus d'orange à base de jus concentré	jus d'orange à base de concentré pasteurisé
jus d'orange pressé	jus d'orange pressé maison
jus d'orange pur jus	pur jus d'orange pasteurisé
jus d'orange pur jus avec pulpe	pur jus d'orange pasteurisé
kaki	kaki frais
ketchup	ketchup
kir (au vin blanc)	kir
kiri	kiri crème fromage fondu double crème 70% m.g.
kiwi	kiwi frais
la vache qui rit	vache qui rit fromage fondu 50% m.g.
lait aromatisé au chocolat	lait demi-écrémé aromatisé au chocolat
lait aromatisé autre parfum	lait demi-écrémé aromatisé
lait d'amande	aliment non codifié
lait de noix de coco	lait de noix de coco
lait demi-écrémé frais ou pasteurisé	lait demi-écrémé pasteurisé
lait demi-écrémé uht	lait demi-écrémé uht
lait écrémé en poudre	lait écrémé en poudre
lait écrémé uht	lait écrémé uht
lait entier concentré non sucré	lait entier concentré non sucré
lait entier pasteurisé	lait entier pasteurisé
lait entier uht	lait entier uht
lait fermenté à boire au l.caséi aromatisé (type actimel)	lait fermenté à boire au lait demi-écrémé nature type actimel
lait fermenté à boire au l.caséi nature (type actimel)	lait fermenté à boire au lait demi-écrémé nature type actimel

laitue	laitue crue
laitue cuite	laitue cuite
langoustine	autre fruit de mer
langue de boeuf	langue de bœuf cuite
langue de veau	langue de veau cuite
lapin	lapin viande cuite
lard gras	lardon nature cuit
lardons fumés, crus (supprimé)	lardon nature cru
lardons natures, crus (supprimé)	lardon nature cru

Table 74 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (18)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
lasagnes	lasagnes à la bolognaise
lentilles	lentille cuite
levure de bière	levure alimentaire
lieu noir	lieu ou colin noir cuit
limande	limande-sole cuite à la vapeur
limonade	limonade ou clear lime sucrée type seven'up ou sprite
liqueur	liqueurs
litchi frais	litchi frais
lotte	lotte ou baudroie grillée
macaron	macaron moelleux fourré à la confiture ou à la crème artisanal
macédoine de légumes	macédoine de légumes en conserve
mâche	mâche crue
madeleine	madeleine
magret de canard rôti	canard magret cuit à la poêle
maïs doux	maïs doux en conserve
maïs en épi	maïs doux en épis cuit
maïs soufflé au miel (type miel pops)	boules de maïs soufflé au miel enrichies en vitamines et minéraux type miel pops kellogg's
mangue	mangue fraîche
maquereau	maquereau cuit au four
margarine 60% mg (type primevère)	margarine type primevère 60% m.g. ajoutée au service
margarine allégée enrichie en stérols 35% mg (type pro-activ)	matière grasse légère 35% m.g. enrichie en stérols/stanols type proactive tartine
margarine au tournesol	margarine au tournesol en barquette 80% m.g. type fruit d'or
margarine enrichie en oméga 3	matière grasse allégée 55-60% m.g. riche en oméga 3 et 6
margarine ordinaire	margarine de cuisine 80% m.g.

margarine ordinaire allégée	matière grasse allégée 55-60% m.g. riche en oméga 3 et 6
margarine riche en oméga 3 et 6 55-60% mg	matière grasse allégée 55-60% m.g. riche en oméga 3 et 6
maroilles	maroilles fromage à pâte molle à croûte lavée 45% m.g.
marrons chauds / châtaignes	châtaigne cuite à l'eau
marrons, châtaignes grillés	châtaigne grillée
mayonnaise	mayonnaise
mayonnaise allégée	mayonnaise allégée
mélange de fruits exotiques et graines séchées	fruits secs ou séchés et graines oléagineuses sans précision
mélange de fruits exotiques séchés	mélange pour apéritif de fruits exotiques séchés

Table 75 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (19)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
melon	melon frais
menthe verte fraîche	menthe fraîche
merguez	merguez de bœuf et de mouton cuite
meringue	meringue
merlan	merlan cuit à la vapeur
mérou	autre poisson
miel	miel
miel à la gelée royale	miel
miette de crabe	crabe ou tourteau en conserve
mille-feuilles	millefeuille
mimolette	mimolette fromage à pâte pressée non cuite 45% m.g.
mini boudin	boudin noir cuit
mini-babybel	fromage et mini fromage type bonbel-babybel
mini-boursin	boursin fromage frais salé aromatisé 70% m.g.
mini-bresse bleu	bleu et mini bleu de bresse fromage à pâte persillée 45% m.g.
mini-caprice des dieux	caprice des dieux fromage à pâte molle 60% m.g.
mini-roquefort	roquefort fromage de brebis à pâte persillée 52% m.g.
mini-tartare	tartare fromage frais aromatisé salé 70% m.g.
mirabelle	mirabelle fraîche
montclar	eau de source
morbier	morbier fromage à pâte pressée non cuite 45% m.g.
mortadelle	mortadelle
morue	morue salée pochée
moule	moule cuite à l'eau

moussaka	moussaka
mousse au chocolat	mousse au chocolat industrielle rayon frais
mousse aux fruits	mousse aux fruits
mousse aux fruits allégée en mg et en sucre	mousse aux fruits
mousse de canard	mousse de foie
mousse de foie	mousse de foie
mousse de poisson	mousse de poisson
moutarde	moutarde
mozzarella	mozzarella
müesli aux fruits	muesli croustillant aux fruits ou aux fruits secs enrichi en vitamines et minéraux

Table 76 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (20)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
müesli nature	muesli sans précision
muffin au chocolat	muffin
mulet	mulet cuit au four
munster	munster fromage à pâte molle à croûte lavée 45-50% m.g.
mûre	mûre de ronce fraîche
museau vinaigrette	pâté de tête ou fromage de tête
navarin d'agneau aux petits légumes	navarin d'agneau
navarin d'agneau/mouton	navarin d'agneau
navet	navet cuit
nectar d'abricot	nectar d'abricot pasteurisé
nectar de mangue	nectar de cocktail de fruits multivitaminé pasteurisé
nectar de poire	nectar de poire pasteurisé
nectar d'orange	nectar d'orange pasteurisé
nectar fruits exotiques	nectar de cocktail de fruits pasteurisé
nectar multifruits	nectar de cocktail de fruits multivitaminé pasteurisé
nectarine	nectarine non pelée fraîche
noisettes non salées	noisette
noix	noix
noix de cajou salées	noix de cajou salée
noix de coco sèche	noix de coco amande sèche
nougat	nougat ou touron
nouilles sautées chinoises	pâtes alimentaires cuites
nuggets de volaille	autre volaille cuite
oeuf à la coque	oeuf à la coque

oeuf au plat	oeuf au plat salé
oeuf brouillé	oeufs brouillés au beurre
oeuf cru	oeuf entier cru
oeuf dur	oeuf dur
œuf en gelée au jambon	oeuf dur
oeuf frit	oeuf au plat salé
oeufs de poisson	oeufs de lump ou lompe semi-conservé
oignon cru	oignon cru
oignon cuit	oignon cuit
olive noire	olive noire en saumure
olive verte	olive verte en saumure

Table 77 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (21)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
omelette nature	omelette nature cuite au beurre
orange	orange fraîche
oseille crue	oseille crue
osso bucco	osso buco à la milanaise
paëlla	paella
pain au chocolat	pain au chocolat feuilleté artisanal
pain au lait	pain au lait artisanal
pain au maïs	autre pain
pain aux céréales	pain aux céréales artisanal
pain aux raisins	pain aux raisins
pain complet	pain complet ou intégral artisanal
pain croustillant (type wasa)	autre biscotte
pain de campagne ou bis	pain de campagne ou bis
pain de mie complet	pain de mie
pain de mie nature	pain de mie
pain de seigle	pain de seigle et froment
pain d'épice	pain d'épices
pain grillé du commerce au froment	pain grillé au froment type tranches pain grillé pelletier lu braisotte jacquet
pain grillé du commerce complet	pain grillé au froment type tranches pain grillé pelletier lu braisotte jacquet
pain grillé du commerce multicéréales	pain grillé multicéréales type pain grillé multicéréales heudebert lu
pain grillé maison	pain grillé maison
pain perdu	pain perdu

pain pita blanc	autre pain
pain suédois	autre pain
pain type poilâne	pain type poilâne
pain viennois ou brioché	pain brioché ou viennois
palette de veau rôtie	autre viande
pamplemousse	pamplemousse frais
pan bagnat	pan bagna
panaché	panaché
parmesan	parmesan fromage à pâte pressée cuite 45% m.g.
parmesan en poudre	parmesan fromage à pâte pressée cuite 45% m.g.
pastèque	pastèque fraîche

Table 78 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (22)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
pastis (pur)	pastis
patate douce	patate douce cuite
pâté à base de poisson ou de crustacés	pâté à base de poisson ou de crustacé
pâte à tartiner au chocolat et aux noisettes (type nutella)	pâte à tartiner au chocolat et aux noisettes type nutella
pâte brisée	pâte brisée cuite
pâte d'amande	pâte d'amande fabrication industrielle
pâté de campagne	pâté de campagne
pâté de foie de porc	pâté de foie de porc
pâté de foie de volaille	pâté de foie de volaille
pâte de fruits	pâte de fruits
pâté de lapin	pâté de lapin
pâté en croûte	pâté en croûte
pâte feuilletée	pâte feuilletée cuite
pâté impérial/nem	nem ou pâté impérial
pâté/terrine	pâté de campagne
pâtes	pâtes alimentaires cuites
pâtes à la carbonara	pâtes à la carbonara
pâtes aux oeufs	pâtes alimentaires aux oeufs cuites
pâtes complètes	pâtes alimentaires au blé complet cuites
pâtes fraîches	pâtes alimentaires aux oeufs cuites
paupiette de veau	paupiette de veau
pêche	pêche non pelée fraîche
pêche au sirop	pêche au sirop en conserve
perche	perche cuite au four

perrier	perrier eau gazeuse
persil frais	persil frais
pétales de maïs glacés au sucre (type frosties)	pétales de maïs glacés au sucre enrichis en vitamines et minéraux type kellogg's frosties
pétales de maïs natures (corn flakes)	pétales de maïs ou corn-flakes nature sucrés enrichis en vitamines et minéraux type kellogg's corn flakes
pétales de riz et blé complet au chocolat (type spécial k)	céréales chocolatées enrichies en vitamines et minéraux type spécial k au chocolat de kellogg's
pétales de riz et blé complet aux fruits (type spécial k)	céréales aux fruits enrichies en vitamines et minéraux type fitness & fruits de nestlé
pétales de riz et blé complet natures (type spécial k)	céréales nature enrichies en vitamines et minéraux type kellogg's spécial k ou nestlé fitness
petit salé aux lentilles	petit salé aux lentilles ou saucisse aux lentilles

Table 79 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (23)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
petit suisse 0% mg	fromage blanc de campagne nature 0% m.g.
petit suisse 20% mg	petit-suisse nature 20% m.g. type gervais petit vitalité
petit suisse 40% mg (9% sur produit fini)	petit-suisse nature 40% m.g.
petit suisse aromatisé	petit suisse aux fruits au lait demi-écrémé type petits filous
petit suisse au chocolat	crème dessert au chocolat industrielle type danette ou petits filous
petit suisse aux fruits	petit suisse aux fruits au lait demi-écrémé type petits filous
petite asperge (supprimé)	asperge cuite
petits fours sucrés	autre biscuit sucré
petits pois	petit pois cuit
picon-bière	bière de spécialités ou d'abbaye régionales ou de brasserie degré d'alcool variable type leffe chimay grimbergen affligem jenlain ou hoe
pierval	eau de source
pignons de pin	pignon de pin
pintade	autre volaille cuite
pissaladière	autre pizza
pissenlit	pissenlit cru
pistaches salées	pistache rôtie salée
pizza	pizza sans précision
pizza au fromage, viande et légumes	autre pizza
pizza avec pepperoni	autre pizza
pizza fromage	pizza au fromage
pizza jambon, fromage	pizza jambon fromage
pizza royale (jambon, fromage, champignons)	pizza royale (jambon fromage champignon)

plateau de fruits de mer	plateau de fruits de mer
poire	poire non pelée fraîche
poire au sirop	poire au sirop en conserve
poireau	poireau cuit
pois cassés	pois cassé cuit
pois chiches	pois chiche cuit
poisson à la provençale et riz	poisson en sauce surgelé
poisson à l'oseille	poisson sauce oseille type cabillaud à l'oseille marie
poitrine de porc fumée	poitrine de porc fumée
poitrine de veau	autre viande
poivron	poivron vert jaune ou rouge cuit

Table 80 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (24)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
poivron farci au riz	légumes divers farcis sauf tomate
poivron rouge	poivron vert jaune ou rouge cuit
pomme	pomme non pelée fraîche
pomme dauphine salée	pomme de terre dauphine cuite
pomme de terre au four	pomme de terre cuite au four
pomme de terre cuite à la vapeur	pomme de terre cuite à la vapeur
pomme de terre sautée	pomme de terre rissolée surgelée
pomme noisette salée	pomme noisette précuite surgelée
pont-l'évêque	pont l'évêque fromage à pâte molle à croûte lavée 45% m.g.
popcorn non salé	pop corn ou maïs éclaté à l'huile salé
porc en préparation chinoise (supprimé)	autre viande
port-salut	port salut fromage à pâte pressée non cuite à croûte lavée 50% m.g.
pot-au-feu	pôt-au-feu
potée auvergnate	potée auvergnate
potiron	potiron cuit
poule bouillie	poule bouillie viande et peau
poulet au curry	poulet au curry
poulet basquaise et pâtes	poulet basquaise aux pâtes
poulpe	autre fruit de mer
pousse de bambou	autre légume frais ou crudité, sans assaisonnement
profiterole	profiteroles glace vanille et sauce chocolat
prune	prune reine-claude fraîche
prune de cythère	mangue fraîche

pruneau	pruneau sec
p'tit louis	p'tit louis fromage fondu 65% m.g.
pulpe de tomates en dés	pulpe de tomate en conserve
punch/planteur	cocktail type punch planteur
purée d'avocat (guacamole)	guacamole industriel
purée de carottes	légume en purée hors pomme de terre non salé
purée de légumes	légume en purée hors pomme de terre non salé
purée de pommes de terre cuisinée	purée de pomme de terre avec lait et beurre non salée
purée de pommes de terre salée	purée de pomme de terre à base de flocons reconstituée au lait demi-écrémé
purée de sésame (tahin)	graine de sésame et autres
pyrénées au lait de brebis	fromage des pyrénées au lait de brebis

Table 81 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (25)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
pyrénées au lait de vache	fromage des pyrénées au lait de vache
quatre-quarts	quatre-quarts fabrication industrielle
quenelle au naturel en sauce	quenelle en sauce en conserve
quenelle de poisson en sauce	quenelle de poisson cuite
quenelle de volaille en sauce	quenelle de volaille en conserve
queue de boeuf, bouillie	autre viande
quezac	quézac eau gazeuse
quiche lorraine	quiche lorraine
quinoa	blé dur précuit nature type ebyl
radis	radis rouge cru
radis noir	radis noir cru
ragoût de lapin	lapin en ragoût
raie	raie au court-bouillon
raifort	raifort cru
raisin blanc	raisin blanc frais
raisin noir	raisin noir frais
raisins secs	raisin sec
rascasse	rascasse crue
ratatouille	ratatouille niçoise
ravioli aux légumes	raviolis à la viande à la sauce tomate en conserve
ravioli boeuf	raviolis à la viande à la sauce tomate en conserve
ravioli fromage	ravioles ou raviolis au fromage
ravioli jambon	raviolis à la viande à la sauce tomate en conserve

ravioli tomate mozzarella	raviolis à la viande à la sauce tomate en conserve
reblochon	reblochon fromage à pâte pressée non cuite 45% m.g.
rhum	rhum
ricoré chocolat bonjour. nestlé	poudre soluble à base de chicorée et de café type ricoré
ricoré en poudre	poudre soluble à base de chicorée et de café type ricoré
ricoré reconstituée à l'eau	poudre soluble à base de chicorée et de café type ricoré
rillettes	rillettes
risotto aux champignons	riz blanc cuit
riz au lait	riz au lait rayon frais
riz blanc	riz blanc cuit
riz cantonais	riz cantonais
riz complet	riz complet cuit

Table 82 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (26)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
riz soufflé au chocolat (type coco pops)	riz soufflé chocolaté enrichi en vitamines et minéraux type choco pops kellogg's
rocher coco	barre à la noix de coco enrobée de chocolat type bounty
rognons d'agneau / mouton	rognon d'agneau braisé
rognons de boeuf	rognon de bœuf cuit
rognons de porc	rognon de porc cuit
romaine	autre salade sans assaisonnement
roquefort	roquefort fromage de brebis à pâte persillée 52% m.g.
rosbif de boeuf	bœuf rosbif rôti
rosette / fuseau	rosette ou fuseau
rôti de porc	porc rôti cuit
rôti de porc, filet maigre	porc filet rôti maigre cuit
rôti de veau	veau rôti
rouleau de printemps	rouleau de printemps
roussette	roussette ou saumonette braisée
rouy	rouy fromage à pâte molle à croûte lavée 40% m.g.
sablé	galette ou sablé ou palet type galette du mont saint michel
sainte-maure	sainte-maure fromage de chèvre
saint-honoré	gâteau à la crème
saint-marcellin	saint-marcellin fromage à pâte molle à croûte naturelle 40-50% m.g.
saint-môret	saint-moret fromage fondu demi-sel 30% m.g.
saint-nectaire	saint-nectaire fromage à pâte pressée non cuite 45% m.g.

saint-paulin	saint-paulin fromage à pâte pressée non cuite 45-50% m.g.
saint-yorre	saint yorre eau gazeuse
salade de fruits frais non sucrée	salade de fruits frais
salade de légumes	légumes cuits sans précision
salade de légumes avec crevettes	salade de thon et légumes en conserve
salade de légumes avec poulet	salade composée avec viande ou poisson en conserve
salade de légumes avec thon	salade de thon et légumes en conserve
salade de légumes et fromage	salade composée avec viande ou poisson en conserve
salade de pomme de terre nature	salade de pommes de terre
salade endive, noix et roquefort	salade composée avec viande ou poisson en conserve
salade niçoise	salade de thon et légumes en conserve
salade piémontaise	salade de pommes de terre
salade verte	salade verte sans assaisonnement sans précision

Table 83 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (27)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
salami	salami
salsifis	salsifis cuit
salvetat	salvetat eau gazeuse
samossa (supprimé)	samossas
san pellegrino	san pellegrino eau gazeuse
sandwich crudités jambon	sandwich baguette jambon œuf dur crudités
sandwich crudités œuf dur	sandwich baguette œuf crudités
sandwich crudités œuf mayonnaise	sandwich baguette crudités diverses mayonnaise
sandwich crudités poulet	sandwich baguette poulet crudités
sandwich crudités poulet mayonnaise	sandwich baguette poulet crudités
sandwich crudités rosbif	autre sandwich
sandwich crudités thon	sandwich baguette thon crudités
sandwich crudités thon mayonnaise	sandwich baguette thon crudités
sandwich grec aux crudités	sandwich grec ou kebab pita et crudités
sandwich jambon beurre	sandwich baguette jambon beurre
sandwich jambon gruyère beurre	sandwich baguette jambon emmental beurre
sandwich merguez frites	sandwich baguette merguez ketchup moutarde
sandwich pâté	sandwich baguette pâté cornichons
sandwich saumon fumé	sandwich baguette saumon fumé beurre
sangria	sangria
sardine	sardine grillée
sardine à l'huile, égouttée	sardine à l'huile en conserve égouttée

sauce aigre-douce	sauce aigre-douce
sauce aioli	mayonnaise
sauce au curry	sauce au curry
sauce au roquefort	sauce au fromage
sauce au vin blanc	sauce au vin rouge
sauce barbecue	sauce barbecue
sauce basquaise	sauce tomate sans viande
sauce béarnaise	sauce béarnaise
sauce béchamel	sauce béchamel en brique
sauce beurre blanc	sauce au beurre
sauce blanche	sauce blanche ajoutée au service
sauce bolognaise	sauce tomate à la viande ou bolognaise type panzani ou butoni

Table 84 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (28)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
sauce bordelaise	sauce tomate sans viande
sauce bourguignonne	sauce au vin rouge
sauce carbonara	sauce à la crème
sauce champignons	sauce aux champignons
sauce chasseur	sauce au vin rouge
sauce court-bouillon créole	autre sauce
sauce de soja	sauce de soja
sauce hollandaise	sauce hollandaise
sauce madère	sauce au vin rouge
sauce marchand de vin	sauce au vin rouge
sauce mornay	sauce mornay
sauce moutarde	sauce moutarde
sauce napolitaine	sauce tomate sans viande
sauce pesto	sauce pesto
sauce poivre vert	sauce au poivre ajoutée au service
sauce provençale	sauce tomate sans viande
sauce salade moutarde	vinaigrette sans précision
sauce tartare	sauce béarnaise
sauce tomate	sauce tomate sans viande
saucisse cocktail	saucisse cocktail
saucisse de francfort	saucisse de francfort

saucisse de montbéliard	saucisse de montbéliard
saucisse de morteau	saucisse de morteau cuite
saucisse de strasbourg (type knacki)	saucisse de strasbourg
saucisse de toulouse	saucisse de toulouse cuite
saucisse de volaille	autre charcuterie
saucisse sèche	saucisse sèche
saucisson à l'ail	saucisson à l'ail
saucisson sec	saucisson sec
saumon	saumon cuit à la vapeur
saumon accompagné de riz	saumon cuit à la vapeur
saumon fumé	saumon fumé cru
saumon sauvage	saumon cuit à la vapeur
seiche	seiche crue
sel	sel fin ou gros

Table 85 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (29)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
semoule	couscous (graine seule) semoule cuite
semoule au lait	gâteau de semoule au lait rayon frais
semoule de maïs (polenta)	polenta ou semoule de maïs cuite
sirop de fruit à diluer	sirop aux extraits de fruits dilué
soda à l'orange	boisson gazeuse aux fruits 10 à 50% de jus sucrée type fanta orange
soda à l'orange light	boisson gazeuse aux fruits et aux édulcorants type fanta light orange ou orangina light tentation
soda au cola	soda au cola type coca-cola ou pepsi-cola
soda au cola light	soda au cola light type coca-cola light ou pepsi-cola light
soda light	soda sans jus de fruit light
soda tonique (type schweppes)	tonic type schweppes indian tonic
sole	limande-sole cuite à la vapeur
sorbet	sorbet tout type
soufflé au fromage	soufflé au fromage
soupe à l'oignon	soupe à l'oignon
soupe au pistou	soupe au pistou préemballée à réchauffer ou déshydratée reconstituée
soupe au potiron (supprimé)	soupe au potiron
soupe aux champignons	soupe aux champignons
soupe chinoise	soupe chinoise
soupe de cresson	soupe aux légumes préemballée à réchauffer

soupe de légumes variés	soupe aux légumes préemballée à réchauffer
soupe de lentilles	soupe aux lentilles
soupe de poireaux	soupe aux légumes préemballée à réchauffer
soupe de poireaux et pommes de terre	soupe poireau pomme de terre préemballée à réchauffer
soupe de poisson	soupe de poissons et/ou de crustacés préemballée à réchauffer
soupe de tomate	soupe à la tomate préemballée à réchauffer ou déshydratée reconstituée
soupe de tomate et légumes	soupe aux légumes préemballée à réchauffer
soupe poulet vermicelle	soupe à la volaille et aux vermicelles préemballée à réchauffer ou déshydratée reconstituée
spécialités chinoises à la vapeur (supprimé)	raviolis à la viande à la sauce tomate en conserve
steak de soja nature	escalopes végétales à base de soja
steak de soja tomate-basilic	escalopes végétales à base de soja
steak haché de boeuf 10% mg cuit	steak haché 10% m.g. cuit

Table 86 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (30)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
steak haché de boeuf 15% mg cru	autre viande
steak haché de boeuf 15% mg cuit	steak haché 15% m.g. cuit
steak haché de boeuf 20% mg cuit	steak haché 20% m.g. cuit
steak haché de boeuf 5% mg cru	steak haché 5% m.g. cru
steak haché de boeuf 5% mg cuit	steak haché 5% m.g. cuit
steak haché de veau grillé	autre viande
steak/bifteck de boeuf grillé	boeuf bifteck grillé
sucre blanc	sucre blanc
surimi de crabe	surimi en bâtonnets
sushi au saumon	saumon cru d'élevage
taboulé	taboulé ou salade de couscous
taco/burrito garni	crêpe fourrée béchamel jambon fromage
tajine poulet et semoule	tajine de mouton
tapenade	tapenade d'olives
tapioca	blé dur précuit nature type ebly
tarama	tarama industriel
tarte à la morue	tarte au saumon et à l'oseille
tarte à la tomate	tarte aux légumes
tarte à l'oignon	tarte aux légumes
tarte au citron meringuée	tarte ou tartelette aux fruits

tarte au fromage	tarte au fromage ou quiche au fromage
tarte au saumon	tarte au saumon et à l'oseille
tarte aux amandes	autre pâtisserie
tarte aux fruits	tarte ou tartelette aux fruits
tarte aux fruits de mer	tarte au saumon et à l'oseille
tarte aux légumes	tarte aux légumes
tarte aux poireaux	tarte aux poireaux
tarte aux pommes	tarte ou tartelette aux pommes
tartelette aux pommes	tarte ou tartelette aux pommes
tartiflette	tartiflette
tartine craquante (type cracotte)	tartine extrudée fourrée au chocolat ou aux fruits type craquinet de lu
tartine craquante fourrée chocolat ou fruits (type craquinet)	tartine extrudée fourrée au chocolat ou aux fruits type craquinet de lu
tempeh	escalopes végétales à base de soja
terrines de canard	terrines de canard

Table 87 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (31)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
terrines ou mousses de légumes	terrines ou mousses de légumes
thé	thé infusé non sucré
thé glacé	boisson au thé aromatisée sucrée type nestea pêche blanche
thon à l'huile, égoutté	thon à l'huile en conserve égoutté
thon au naturel	thon au naturel en conserve égoutté
thon germon ou thon blanc	thon germon ou thon blanc cuit à la vapeur
thon rouge	thon cru
thonon	thonon eau plate
tiramisu	tiramisu
tisane, infusion	tisane infusée non sucrée
tofu	tofu
tomate	tomate crue
tomate à la provençale	tomate à la provençale
tomate cerise	tomate cerise crue
tomate entière pelée au jus	tomate pelée en conserve
tomate farcie à la chair à saucisse	tomate farcie
tomme	tomme ou tomme fromage à pâte pressée non cuite 45% m.g.
topinambour	topinambour cuit
tortellini à la viande	cannellonis à la viande

tournedos de boeuf rôti	autre viande
tourteau	crabe ou tourteau cuit à l'eau
tranche de blanc de poulet doré au four	blanc de poulet cuit
tranche de filet de dinde braisé	autre volaille cuite
tranches fines d'emmental	emmental fromage à pâte pressée cuite 45% m.g.
tranches fines d'emmental allégées	emmental allégé
travers de porc braisé	porc travers braisé
tripes à la mode de caen	tripes à la mode de caen artisanales
tripes préparées (gras double)	tripes à la mode de caen artisanales
truffe au chocolat	chocolat noir fourré au praliné en tablette
truite	autre poisson
truite de rivière	autre poisson
truite saumonée	truite arc-en-ciel d'élevage cuite au four
tuile aux amandes	tuile aux amandes
tzatziki (fromage blanc au concombre)	concombre cru pulpe

Table 88 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (32)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
vacherin	vacherin mont d'or fromage à pâte molle à croûte lavée au moins 45% m.g
valvert	valvert eau plate
végétaline	corps gras pour friture 100% m.g. type végétaline
velouté d'asperges	soupe aux légumes préemballée à réchauffer
velouté de légumes verts	soupe aux légumes préemballée à réchauffer
velouté de tomate	soupe à la tomate préemballée à réchauffer ou déshydratée reconstituée
vermicelle	pâtes alimentaires cuites
vernière	la vernière eau gazeuse
viande de cheval rôtie	cheval viande rôtie
viande des grisons	autre charcuterie
viandox	autre sauce
vichy célestins	vichy célestins eau gazeuse
vin blanc	vin blanc 11°
vin blanc liquoreux, moelleux	vin blanc 11°
vin blanc mousseux	vin blanc mousseux
vin doux (porto, sherry, vin cuit...)	vin doux naturel ou vin muté autre que porto type muscat banyuls ou maury
vin rosé	vin rosé 11°
vin rouge	vin rouge 11°

vinaigre	vinaigre
vinaigrette	vinaigrette sans précision
vinaigrette à l'huile d'olive	vinaigrette à l'huile d'olive
vinaigrette allégée	vinaigrette allégée
vinaigrette au yaourt	vinaigrette sans précision
vittel	vittel eau plate
vodka	vodka
volvic	volvic eau plate
whisky - soda	whisky
whisky / bourbon	whisky
yaourt 0% mg aromatisé, sucré	spécialité laitière type yaourt 0% aromatisée sucrée type weight watcher
yaourt 0% mg aux fruits, édulcoré	spécialité laitière type yaourt 0% aux fruits aux édulcorants type panier de yoplait 0% ou taillefine 0% fruits danone
yaourt 0% mg aux fruits, sucré	spécialité laitière type yaourt 0% aux fruits sucrée type sveltesse aux fruits pâtisseries

Table 89 : Table de correspondance entre les aliments INCA2 et ENNS (33)

Libellé des aliments ENNS	Libellé des aliments INCA2
yaourt à boire à la pulpe de fruit	yaourt à boire aromatisé au lait demi-écrémé sucré type yopi
yaourt à boire aromatisé	yaourt à boire aromatisé au lait demi-écrémé sucré type yopi
yaourt à boire sans sucre	yaourt à boire au lait demi-écrémé aux édulcorants
yaourt à la grecque	spécialité laitière nature à base de fromage blanc enrichie en crème type fjord ou gervita nature
yaourt aromatisé	yaourt aromatisé au lait demi-écrémé sucré
yaourt au bifidus aromatisé	spécialité laitière type yaourt au bifidus aromatisé au lait entier sucrée type danone activia vanille
yaourt au bifidus aux fruits	spécialité laitière type yaourt au lait entier au bifidus et aux fruits sucrée
yaourt au bifidus nature	lait fermenté au bifidus nature au lait entier type danone activa
yaourt au lait de brebis	autre yaourt ou spécialité laitière nature ou aux fruit
yaourt au lait entier aromatisé	yaourt aromatisé au lait entier sucré
yaourt au lait entier aux fruits	yaourt aux fruits au lait entier sucré type danone recette crémeuse aux fruits ou velouté fruit
yaourt au lait entier nature	yaourt nature au lait entier
yaourt au soja nature	crème dessert au soja nature rayon frais type sojasun nature
yaourt aux fruits	yaourt ou spécialité laitière aux fruits sans précision
yaourt brassé 0% mg	yaourt nature 0% m.g. type taillefine nature 0% danone

	yoplait silhouette
yaourt brassé aux fruits	yaourt ou spécialité laitière aux fruits sans précision
yaourt brassé nature	yaourt brassé nature au lait entier type danone velouté nature
yaourt nature	yaourt ou spécialité laitière nature
yaourt nature sucré	yaourt nature au lait entier sucré
yaourt ordinaire 0% mg	yaourt nature 0% m.g. type taillefine nature 0% danone yoplait silhouette

## Annexe 6 : Les paramètres de l'estimation de l'exposition

**Table 90 : Proportion de temps passé à l'intérieur ( $p_j$ ) pour chacune des activités  $j$  décrites par l'enquête « Emploi du Temps » de l'Insee (2009-2010).**

Activité	$p_j$ (%)
<i>Besoins physiologiques (sommeil, toilette, soins, repas...)</i>	100
<i>Travail et études</i>	
Travail	0, 50 ou 100
Études	100
Recherche d'emploi, de formation	100
Trajets domicile-travail/études	66,7
<i>Travaux domestiques</i>	
Ménage, cuisine, vaisselle, linge, courses...	100
Soins aux personnes (enfants et adultes)	100
Bricolage	50
Jardinage	0
Soins aux animaux	100
<i>Temps libre</i>	
Télévision, vidéo	100
Lecture	83,3
Promenade	0
Sport	50
Spectacles	66,7
Détente, sieste, ne rien faire	83,3
Jeux	91,7
Sociabilité (conversations, cérémonies civiles...)	83,3
Sociabilité à distance (téléphone, chat, courrier...)	100
Informatique (hors sociabilité à distance)	100
Sorties, visites, réceptions <sup>3</sup>	83,3
<i>Transport (hors trajet domicile-travail/études)</i>	100

Les proportions de temps passé à l'intérieur dans le cadre du travail, des études, de la recherche d'emploi et des trajets domicile-travail/études ont été attribuées au cas-par-cas à chaque individu selon les informations fournies par l'ENNS : situation professionnelle actuelle, PCS et les précisions sur la nature de l'emploi occupé (e.g. une proportion de 100% du temps de travail à l'intérieur a été appliquée aux professeurs des écoles, contre 0% aux agriculteurs).

Le temps de trajet domicile-travail/études a été considéré comme nul pour les personnes retraitées, les femmes ou hommes au foyer et les personnes en recherche d'emploi ou de formation.

Les activités de lecture, de sociabilité, de sorties, de visites, de réceptions et de détente ont été considérées comme se passant à l'extérieur en été, soit 10 mois de l'année (5/6<sup>ème</sup> du temps) à l'intérieur.

Les activités de jeux ont été considérées comme se passant à l'intérieur pendant 11 mois de l'année (soit 11/12<sup>ème</sup> du temps).

**Table 91 : Répartition de la population selon l'âge, le sexe et le niveau d'éducation**

Diplôme	Age	Homme		Femme	
		Pourcentage	IC 95%	Pourcentage	IC 95%
Aucun certificat	18-34	2,3	[0 ; 5,6]	5,1	[3,6 ; 6,6]
	35-54	17,7	[5,4 ; 29,9]	33,3	[20,2 ; 46,4]
	55 et plus	55,3	[38,8 ; 71,9]	70,5	[61,8 ; 79,3]
CAP-BEP-BEPC	18-34	52,0	[31,5 ; 72,5]	32,7	[14,8 ; 50,6]
	35-54	38,9	[27,3 ; 50,5]	35,0	[26 ; 44]
	55 et plus	28,2	[13,7 ; 42,7]	17,1	[9,4 ; 24,8]
Bac, Brevet pro, Bac+2	18-34	29,3	[10,3 ; 48,3]	44,9	[30,4 ; 59,4]
	35-54	35,0	[24,8 ; 45,2]	21,7	[15,3 ; 28,2]
	55 et plus	12,2	[3,8 ; 20,6]	6,9	[4,2 ; 9,6]
Bac+3 et plus	18-34	16,4	[7,5 ; 25,3]	17,3	[9,2 ; 25,4]
	35-54	8,4	[4,3 ; 12,6]	10,0	[7,4 ; 12,5]
	55 et plus	4,3	[1,9 ; 6,7]	5,4	[3,1 ; 7,8]

**Table 92 : Description des termes *c*, *d* et *e* de l'équation de Henry (2005) permettant le calcul du taux métabolique de base des individus.**

Classe d'âge (ans)	Sexe	c	d	e
[18 – 30[	H	0,0600	1,31	0,4730
[30 – 60[	H	0,0476	2,26	-0,5740
≥ 60	H	0,0478	2,26	-1,0700
[18 – 30[	F	0,0433	2,57	-1,1800
[30 – 60[	F	0,0342	2,10	-0,0486
≥ 60	F	0,0356	1,76	0,0448

*H* : hommes ; *F* : femmes.

**Table 93 : Description des termes *a0*, *a1* et *a2* de l'équation de Gehan & George (1970)**

Classe d'âge des individus ENNS	a0	a1	a2
≥ 18 à < 20 ans	0,03050	0,35129	0,54375
≥ 20 ans	0,01545	0,54468	0,46336

**Table 94: Distributions des valeurs de volume respiratoire, de surface corporelle et de temps passé à l'intérieur et à l'extérieur pour la population ENNS**

	Sexe	Min	P25	P50	P95	Max	Moy	IC 95%
Volume respiratoire (m3/j)	H	11,4	13,9	14,7	17,7	20,0	14,9	[14,7 ; 15,1]
	F	8,13	9,63	10,2	13,2	14,5	10,4	[10,1 ; 10,7]
Surface corporelle (m <sup>2</sup> )	H	1,55	1,79	1,90	2,15	2,48	1,91	[1,88 ; 1,93]
	F	1,23	1,58	1,69	2,18	2,33	1,71	[1,67 ; 1,76]
Temps passé à l'intérieur (h/j)	H + F	17,1	21,5	22,9	23,7	23,7	22,3	[22,1 ; 22,5]
Temps passé à l'extérieur (h/j)	H + F	0,29	0,55	1,07	4,90	6,87	1,70	[1,48 ; 1,91]

*H : hommes ; F : femmes ; Min, Max : valeur minimale et maximale de la distribution respectivement ; P25, P50, P95 : centile 25%, 50% et 95% respectivement ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95% autour de la moyenne.*

## Annexe 7 : Code du modèle PBPK calibré

PROGRAM

! Modèle PBPK

! Voies d'absorption ORALE + INHALATION + CUTANEE chez l'Homme

! Les compartiments décrits sont le cerveau, la peau, le tissu adipeux, le foie,

! les tissus richement et modérément perfusés et le tractus gastro intestinal.

! Pas de temps : journée

INITIAL

! Paramètres physiologiques

CONSTANT BW = 70 ! Poids corporel (kg)

CONSTANT AGE = 30 ! Age en année

CONSTANT SEX = 1 ! 1 si homme; 0 si femme

CONSTANT IMC = 22.5 ! Indice de masse corporel (kg/m<sup>2</sup>)

CONSTANT CREA = 2.5 ! Créatininurie (g/j)

CONSTANT KQC = 367.2 ! Débit cardiaque (l/j/kg\*\*0.75)

! Volumes : fraction du BW

CONSTANT KVG = 0.214 ! Fraction gras

CONSTANT KVF = 0.026 ! Fraction foie

CONSTANT KVMP = 0.59 ! Fraction tissu modérément perfusé

CONSTANT KVR = 0.096 ! Fraction tissu rapidement perfusé + sang

CONSTANT KVCE = 0.02 ! Fraction cerveau

CONSTANT KVSK = 0.037 ! Fraction peau

CONSTANT KVGI = 0.017 ! Fraction tractus gastro-intestinal (GI)

CONSTANT DG = 0.916 ! Densité du tissu adipeux

! Volumes : fraction de BW corrigée par l'âge, le sexe et l'IMC

$FVG = (1.2 * IMC + 0.23 * AGE - 10.8 * SEX - 5.4) / (100 * DG)$  ! Fraction gras

$FVF = (KVF / (1 - KVG)) * (KVG - FVG) + KVF$  ! Fraction foie

$FVMP = (KVMP / (1 - KVG)) * (KVG - FVG) + KVMP$  ! Fraction tissu modérément perfusé

$FVR = (KVR / (1 - KVG)) * (KVG - FVG) + KVR$  ! Fraction tissu richement perfusé

$FVCE = (KVCE / (1 - KVG)) * (KVG - FVG) + KVCE$  ! Fraction cerveau V

$FVSK = (KVSK / (1 - KVG)) * (KVG - FVG) + KVSK$  ! Fraction peau

$FVGI = (KVGI / (1 - KVG)) * (KVG - FVG) + KVGI$  ! Fraction GI

! Volume sanguin (% du volume du compartiment)

CONSTANT FVBG = 0.02 ! Fraction sang:gras

CONSTANT FVBMP = 0.01 ! Fraction sang:modérément perfusé

CONSTANT FVBCE = 0.04 ! Fraction sang:cerveau

! Fraction du débit cardiaque QC

! Constantes Homme

IF(SEX.EQ.1) KQG = 0.05 ! Fraction gras

IF(SEX.EQ.1) KQF = 0.06 !Fraction foie (artère hépatique)  
 IF(SEX.EQ.1) KQGI = 0.19 !Fraction GI (veine porte)  
 IF(SEX.EQ.1) KQMP = 0.275 !Fraction tissu modérément perfusé  
 IF(SEX.EQ.1) KQR = 0.255 !Fraction tissu richement perfusé  
 IF(SEX.EQ.1) KQCE = 0.12 !Fraction cerveau  
 IF(SEX.EQ.1) KQSK = 0.05 !Fraction peau  
 !Constantes Femme  
 IF(SEX.EQ.0) KQG = 0.085 !Fraction gras  
 IF(SEX.EQ.0) KQF = 0.06 !Fraction foie (artère hépatique)  
 IF(SEX.EQ.0) KQGI = 0.21 !Fraction GI (veine porte)  
 IF(SEX.EQ.0) KQMP = 0.225 !Fraction tissu modérément perfusé  
 IF(SEX.EQ.0) KQR = 0.25 !Fraction tissu richement perfusé  
 IF(SEX.EQ.0) KQCE = 0.12 !Fraction cerveau  
 IF(SEX.EQ.0) KQSK = 0.05 !Fraction peau  
 ! Paramètres physico-chimiques  
 CONSTANT MPARENT = 391.3 !Masse molaire de la perméthrine  
 CONSTANT MDCCA = 209.1 !Masse molaire du DCCA  
 CONSTANT PAG = 2.4 !Coefficient de perméabilité gras:sang(l/j)  
 CONSTANT PAMP = 16.8 !Coefficient de perméabilité modérément perfusé:sang(l/j)  
 CONSTANT PACE = 0.072 !Coefficient de perméabilité cerveau:sang(l/j)  
 !cis-perméthrine  
 CONSTANT PRGC = 150 !Coefficient de partage gras:sang  
 CONSTANT PRCEC = 1.5 !Coefficient de partage cerveau:sang  
 CONSTANT PRMPC = 5.59 !Coefficient de partage modérément perfusé:sang VI  
 CONSTANT PRRC = 0.44 !Coefficient de partage richement perfusé:sang  
 CONSTANT PRSKC = 5.60 !Coefficient de partage peau:sang  
 CONSTANT PRFC = 0.44 !Coefficient de partage foie:sang  
 CONSTANT PRGIC = 0.44 !Coefficient de partage GI:sang  
 !trans-perméthrine  
 CONSTANT PRGT = 50 !Coefficient de partage gras:sang  
 CONSTANT PRCET = 0.4 !Coefficient de partage cerveau:sang  
 CONSTANT PRMPT = 5.59 !Coefficient de partage modérément perfusé:sang  
 CONSTANT PRRT = 0.44 !Coefficient de partage richement perfusé:sang  
 CONSTANT PRSKT = 5.60 !Coefficient de partage peau:sang  
 CONSTANT PRFT = 0.44 !Coefficient de partage foie:sang  
 CONSTANT PRGIT = 0.44 !Coefficient de partage GI:sang  
 ! Paramètres biochimiques  
 CONSTANT CLIC = 0.00 !Clairance intestinal cis-perméthrine (l/j)  
 CONSTANT CLIT = 18.72 !Clairance intestinal trans-perméthrine (l/j)  
 CONSTANT KS = 0.24 !Taux d'absorption estomac:GI (/j)  
 CONSTANT KI = 21.6 !Taux d'absorption intestin:GI (/j)  
 CONSTANT KSI = 16.8 !Transfert estomac:intestin (/j)

CONSTANT KFEC = 14.16 !Taux d'élimination fécal (/j)  
CONSTANT DABS = 0.015 !Absorption cutanée (%)  
CONSTANT KEL = 1.56 !Taux d'excrétion urinaire de DCCA (/j)  
!cis-permethrine  
CONSTANT KMC = 42 ! Constante Michaelis cis-perméthrine ( $\mu\text{mol/l}$ )  
CONSTANT KVMAXC = 1560 ! Vmax cis-perméthrine ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
VMAXC = KVMAXC\*BW ! Vmax cis-perméthrine ( $\mu\text{g/j}$ )  
!trans-permethrine  
CONSTANT KMT = 138 ! Constante Michaelis trans-perméthrine ( $\mu\text{mol/l}$ )  
CONSTANT KVMAXT = 13248 ! Vmax transperméthrine ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
VMAXT = KVMAXT\*BW ! Vmax transperméthrine ( $\mu\text{mol/j}$ )  
!cis-DCCA  
IF(SEX.EQ.1) KMDCCAC = 49.2 ! Constante Michaelis cis-DCCA ( $\mu\text{mol/l}$ )  
IF(SEX.EQ.1) KVMAXDCCAC = 1006 ! Vmax cis-DCCA ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ ) VII  
IF(SEX.EQ.0) KMDCCAC = 40.0 ! Constante Michaelis cis-DCCA ( $\mu\text{mol/l}$ )  
IF(SEX.EQ.0) KVMAXDCCAC = 888 ! Vmax cis-DCCA ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
VMAXDCCAC = KVMAXDCCAC\*BW ! Vmax cis-DCCA ( $\mu\text{g/j}$ )  
!trans-DCCA  
IF(SEX.EQ.1) KMDCCAT = 28.8 ! Constante Michaelis trans-DCCA ( $\mu\text{mol/l}$ )  
IF(SEX.EQ.1) KVMAXDCCAT = 2746 ! Vmax trans-DCCA ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
IF(SEX.EQ.0) KMDCCAT = 34.1 ! Constante Michaelis trans-DCCA ( $\mu\text{mol/l}$ )  
IF(SEX.EQ.0) KVMAXDCCAT = 3385 ! Vmax trans-DCCA ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
VMAXDCCAT = KVMAXDCCAT\*BW ! Vmax trans-DCCA ( $\mu\text{mol/j}$ )  
!-----  
!Paramètres de simulation  
!Dose orale, mélange de cis:trans (40:60)  
ALIM = 0.205 !Exposition alimentaire( $\mu\text{g/kg pc/j}$ )  
ALIMC = 0.4\*ALIM/MPARENT !Dose cis-perméthrine ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
ALIMT = 0.6\*ALIM/MPARENT !Dose trans-perméthrine ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
!Dose orale poussières, mélange de cis:trans (40:60)  
ING = 8.3\*10\*\*(-6) !Exposition par ingestion ( $\mu\text{g/kg pc/j}$ )  
INGC = 0.4\*ING/MPARENT !Dose cis-perméthrine ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
INGT = 0.6\*ING/MPARENT !Dose trans-perméthrine ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
!Exposition air inhalée, mélange de cis:trans (40:60)  
CINH = 1\*10\*\*(-7) !Exposition par inhalation ( $\mu\text{g/kg pc/j}$ )  
CINHC = 0.4\*CINH/MPARENT !Dose cis-perméthrine ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
CINHT = 0.6\*CINH/MPARENT !Dose trans-perméthrine ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
!Exposition cutané, mélange de cis:trans (40:60)  
ECUT = 4.7\*10\*\*(-5) !Exposition cutanée par les poussières ( $\mu\text{g/kg pc/j}$ )  
ECUTC = 0.4\*ECUT/MPARENT !Dose cis-perméthrine ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )  
ECUTT = 0.6\*ECUT/MPARENT !Dose trans-perméthrine ( $\mu\text{mol/kg/j}$ )  
EAP = 4.3\*10\*\*(-7) !Exposition cutanée par l'air ( $\mu\text{g/kg pc/j}$ )

EAPC = 0.4\*EAP/MPARENT !Dose cis-perméthrine ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )

EAPT = 0.6\*EAP/MPARENT !Dose trans-perméthrine ( $\mu\text{mol/kg pc/j}$ )

CONSTANT TSTOP = 10 !Temps de simulation (j)

CONSTANT CINT = 0.1 !Intervalle de sauvegarde des résultats

!----- VIII

! Extrapolation au poids corporel

! Débit cardiaque (l/j)

QC = KQC\*BW\*\*0.75

! Volumes (l)

VG =FVG\*BW !Volume gras

VF = FVF\*BW !Volume foie

VMP = FVMP\*BW !Volume tissu modérément perfusé

VR = FVR\*BW !Volume tissu richement perfusé

VCE = FVCE\*BW !Volume cerveau

VSK = FVSK\*BW !Volume peau

VGI = FVGI\*BW !Volume GI

!Volume tissu:sang (compartiments a diffusion limite)

!Gras

VBG = FVBG\*VG !Volume sang dans compartiment gras

VTG = VG-VBG !Volume tissu dans compartiment gras

!modérément perfuse

VBMP = FVBMP\*VMP !Volume sang dans compartiment modérément perfusé

VTMP = VMP-VBMP !Volume tissu dans compartiment modérément perfusé

!Cerveau

VBCE = FVBCE\*VCE !Volume sang dans compartiment cerveau

VTCE = VCE-VBCE !Volume tissu dans compartiment cerveau

!Débit (l/h)

QG = KQG\*QC !Débit sanguin gras

QF = KQF\*QC !Débit sanguin foie

QMP = KQMP\*QC !Débit sanguin tissu modérément perfusé

QR = KQR\*QC !Débit sanguin tissu richement perfusé

QCE = KQCE\*QC !Débit sanguin cerveau

QSK = KQSK\*QC !Débit sanguin peau

QGI = KQGI\*QC !Débit sanguin veine porte

ALGORITHM IALG = 2 !Algorithme de Gear's stiff

END ! INITIALIX

!-----

DYNAMIC

!-----

DERIVATIVE

!Perméthrine dans l'estomac (mg/h)

RSC=BW\*(ALIMC+INGC)-ASC\*(KS+KSI) !Taux : estomac ( $\mu\text{mol/j}$ )

ASC = INTEG(RSC,0) !Quantité : estomac (µmol)  
 RST= BW\*(ALIMT+INGT)-AST\*(KS+KSI) !Taux : estomac (µmol/j)  
 AST = INTEG(RST,0) !Quantité : estomac (µmol)  
 ! Perméthrine dans l'intestin  
 RIC = KSI\*ASC-KI\*AIC-KFEC\*AIC !Taux : intestin (µmol/j)  
 AIC = INTEG(RIC,0) !Quantité : intestin (µmol)  
 RIT = KSI\*AST-KI\*AIT-KFEC\*AIT !Taux : intestin (µmol/j)  
 AIT = INTEG(RIT,0) !Quantité : intestin (µmol)  
 !BILAN  
 !CIS  
 ROC = KS\*ASC+KI\*AIC !Taux : cis-perméthrine absorbée par voie orale (µmol/j)  
 AOC = INTEG(ROC,0) !Quantité : cis-perméthrine absorbée par voie orale (µmol)  
 !TRANS  
 ROT = KS\*AST+KI\*AIT !Taux : cis-perméthrine absorbée par voie orale (µmol/j)  
 AOT = INTEG(ROT,0) !Quantité : trans-perméthrine absorbée par voie orale (µmol)  
 !Tractus gastro-intestinal (GI)  
 !CIS  
 RGIC = QGI\*(CAC-(AGIC/(VGI\*PRGIC)))+KS\*ASC+KI\*AIC-RCAEGIC !Taux : GI (µmol/j)  
 AGIC = INTEG(RGIC,0) !Quantité : GI (µmol)  
 CGIC = AGIC/VGI !Concentration : GI (µmol/l)  
 RCAEGIC = CLIC\*CGIC !Clairance : GI (µmol/j)  
 !TRANS  
 RGIT = QGI\*(CAT-(AGIT/(VGI\*PRGIT)))+KS\*AST+KI\*AIT-RCAEGIT !Taux : GI (µmol/j)  
 AGIT = INTEG(RGIT,0) !Quantité : GI (µmol)  
 CGIT = AGIT/VGI !Concentration : GI (µmol/l)  
 RCAEGIT = CLIT\*CGIT !Clairance : GI (µmol/j)X  
 ! Perméthrine dans le sang  
 !CIS  
 CAC = (CVC\*QC+ CINHC\*BW)/QC !Concentration : sang artériel (µmol/l)  
 CVC  
 (QG\*CVGC+(QF+QGI)\*CVFC+QMP\*CVMP+QR\*CVRC+QCE\*CVCEC+QSK\*CVSKC)/QC =  
 !Concentration : sang veineux (µmol/l)  
 !TRANS  
 CAT = (CVT\*QC+ CINHT\*BW)/QC !Concentration : dans le sang artériel (µmol/l)  
 CVT = (QG\*CVGT+(QF+QGI)\*CVFT+QMP\*CVMPT+QR\*CVRT+QCE\*CVCEC+QSK\*CVSKT)/QC  
 !Concentration : sang veineux (µmol/l)  
 ! BILAN  
 !CIS  
 RINHC = CINHC\*BW !Taux d'inhalation (µmol/j)  
 AINHC = INTEG(RINHC,0) !Quantité inhalée (µmol)  
 !TRANS  
 RINHT = CINHT\*BW !Taux d'inhalation (µmol/j)

AINHT = INTEG(RINHT,0) !Quantité inhalée (µmol)  
 !Absorption cutanée  
 !CIS  
 RDERMC = BW\*(ECUTC+EAPC)\*DABS !Taux d'absorption cutanée (µmol/j)  
 ADERMC = INTEG(RDERMC,0) !Quantité absorbée (µmol)  
 !TRANS  
 RDERMT = BW\*(ECUTT+EAPT)\*DABS !Taux d'absorption cutanée (µmol/j)  
 ADERMT = INTEG(RDERMT,0) !Quantité absorbée (µmol)  
 ! Compartiment peau  
 !CIS  
 RSKC = QSK\*(CAC-CVSKC)+RDERMC !Taux : peau (µmol/j)  
 ASKC = INTEG(RSKC,0) !Quantité : peau (µmol/j)  
 CSKC = ASKC/VSK !Concentration : peau (µmol/l)  
 CVSKC = CSKC/PRSKC !Concentration : sang veineux peau (µmol/l)  
 !TRANS  
 RSKT = QSK\*(CAT-CVSKT)+RDERMT !Taux : peau (µmol/j)  
 ASKT = INTEG(RSKT,0) !Quantité : peau (µmol/j)Xl  
 CSKT = ASKT/VSK !Concentration : peau (µmol/l)  
 CVSKT = CSKT/PRSKT !Concentration : sang veineux peau (µmol/l)  
 !Compartiment richement perfusé  
 !CIS  
 RRC = QR\*(CAC-CVRC) !Taux : tissus richement perfusés (µmol/j)  
 ARC = INTEG(RRC,0) !Quantité : tissus richement perfusés (µmol/j)  
 CRC = ARC/VR !Concentration : tissus richement perfusés (µmol/l)  
 CVRC = CRC/PRRC !Concentration : sang veineux tissus richement perfusés (µmol/l)  
 !TRANS  
 RRT = QR\*(CAT-CVRT) !Taux : tissus richement perfusés (µmol/j)  
 ART = INTEG(RRT,0) !Quantité : tissus richement perfusés (µmol/j)  
 CRT = ART/VR !Concentration : tissus richement perfusés (µmol/l)  
 CVRT = CRT/PRRT !Concentration : sang veineux tissus richement perfusés (µmol/l)  
 ! Compartiment foie  
 !CIS  
 RFC = QF\*(CAC-CVFC)+QGI\*(CGIC/PRGIC-CVFC)-RHEPC !Taux : foie (µmol/j)  
 AFC = INTEG(RFC,0) !Quantité : foie (µmol)  
 CFC = AFC/VF !Concentration : foie (µmol/l)  
 CVFC = CFC/PRFC !Concentration : sang veine porte (µmol/l)  
 RHEPC = VMAXC\*CVFC/(KMC+CVFC) !Métabolisme hépatique (µmol/j)  
 !TRANS  
 RFT = QF\*(CAT-CVFT)+QGI\*(CGIT/PRGIT-CVFT)-RHEPT !Taux : foie (µmol/j)  
 AFT = INTEG(RFT,0) !Quantité : foie (µmol)  
 CFT = AFT/VF !Concentration : tissu hépatique (µmol/l)  
 CVFT = CFT/PRFT !Concentration : sang veine porte (µmol/l)

RHEPT = VMAXT\*CVFT/(KMT+CVFT) !Métabolisme hépatique (µmol/j)

!-----

! Compartiment modérément perfusé (diffusion limitée)

!CIS

RBMP = QMP\*(CAC-CVMPC)-PAMP\*(CVMPC-CTMPC/PRMPC) !Taux sang : modérément perfusé (µmol/j)

ABMP = INTEG(RBMP,0) !Quantité sang : modérément perfusé (µmol)

CVMPC = ABMP/VBMP !Concentration sang : modérément perfusé (µmol/l)

RTMPC = PAMP\*(CVMPC-CTMPC/PRMPC) !Taux tissu : modérément perfusé (µmol/j)XII

ATMPC = INTEG(RTMPC,0) !Quantité tissu : modérément perfusé (µmol)

CTMPC = ATMPC/VTMP !Concentration tissu : modérément perfusé (µmol/l)

AMPTOTC = ATMPC+ABMP !Quantité compartiment modérément perfusé (µmol)

CMPC = AMPTOTC/VMP !Concentration compartiment modérément perfusé (µmol/l)

!TRANS

RBMP = QMP\*(CAT-CVMPT)-PAMP\*(CVMPT-CTMPT/PRMPT) !Taux sang : modérément perfusé (µmol/j)

ABMP = INTEG(RBMP,0) !Quantité sang : modérément perfusé (µmol)

CVMPT = ABMP/VBMP !Concentration sang : modérément perfusé (µmol/l)

RTMPT = PAMP\*(CVMPT-CTMPT/PRMPT) !Taux tissu : modérément perfusé (µmol/j)

ATMPT = INTEG(RTMPT,0) !Quantité tissu : modérément perfusé (µmol)

CTMPT = ATMPT/VTMP !Concentration tissu : modérément perfusé (µmol/l)

AMPTOTT = ATMPT+ABMP !Quantité compartiment modérément perfusé (µmol)

CMPT = AMPTOTT/VMP !Concentration compartiment modérément perfusé (µmol/l)

! Compartiment cerveau (diffusion limitée)

!CIS

RBCEC = QCE\*(CAC-CVCEC)-PACE\*(CVCEC-CTCEC/PRCEC) !Taux sang : cerveau (µmol/j)

ABCEC = INTEG(RBCEC,0) !Quantité sang : cerveau (µmol)

CVCEC = ABCEC/VBCE !Concentration sang : cerveau (µmol/l)

RTCEC = PACE\*(CVCEC-CTCEC/PRCEC) !Taux dans tissu : cerveau (µmol/j)

ATCEC = INTEG(RTCEC,0) !Quantité tissu : cerveau (µmol)

CTCEC = ATCEC/VTCE !Concentration tissu : cerveau (µmol/l)

ACETOTC = ATCEC+ABCEC !Quantité compartiment cerveau (µmol)

CCEC = ACETOTC/VCE !Concentration compartiment cerveau (µmol)

!TRANS

RBCET = QCE\*(CAT-CVCET)-PACE\*(CVCET-CTCET/PRCET) !Taux sang : cerveau (µmol/j)

ABCET = INTEG(RBCET,0) !Quantité sang : cerveau (µmol)

CVCET = ABCET/VBCE !Concentration sang : cerveau (µmol/l)

RTCET = PACE\*(CVCET-CTCET/PRCET) !Taux tissu : cerveau (µmol/j)

ATCET = INTEG(RTCET,0) !Quantité tissu : cerveau (µmol)

CTCET = ATCET/VTCE !Concentration tissu : cerveau (µmol/l)

ACETOTT = ATCET+ABCET !Quantité compartiment cerveau (µmol)

CCET = ACETOTT/VCE !Concentration compartiment cerveau (µmol/l)

! Compartiment gras (diffusion limitée) XIII

!CIS

RBGC = QG\*(CAC-CVGC)-PAG\*(CVGC-CTGC/PRGC) !Taux sang : gras (µmol/j)

ABGC = INTEG(RBGC,0) !Quantité sang : gras (µmol)

CVGC = ABGC/VBG !Concentration sang : gras (µmol/l)

RTGC = PAG\*(CVGC-CTGC/PRGC) !Taux dans tissu : gras (µmol/j)

ATGC = INTEG(RTGC,0) !Quantité tissu : gras (µmol)

CTGC = ATGC/VTG !Concentration tissu : gras (µmol/l)

AGTOTC = ATGC+ABGC !Quantité compartiment gras (µmol)

CGC = AGTOTC/VG !Concentration compartiment gras (µmol)

!TRANS

RBGT = QG\*(CAT-CVGT)-PAG\*(CVGT-CTGT/PRGT) !Taux sang : gras (µmol/j)

ABGT = INTEG(RBGT,0) !Quantité sang : gras (µmol)

CVGT = ABGT/VBG !Concentration sang : gras (µmol/l)

RTGT = PAG\*(CVGT-CTGT/PRGT) !Taux tissu : gras (µmol/j)

ATGT = INTEG(RTGT,0) !Quantité tissu : gras (µmol)

CTGT = ATGT/VTG !Concentration tissu : gras (µmol/l)

AGTOTT = ATGT+ABGT !Quantité compartiment gras (µmol)

CGT = AGTOTT/VG !Concentration compartiment gras (µmol/l)

!-----

! Compartiment excrétion DCCA

!CIS

RHYDC = VMAXDCCAC\*CVFC/(KMDCCAC+CVFC)-KEL\*AHYDC !Taux de formation (µmol/j)

AHYDC = INTEG(RHYDC,0) !Quantité formée (µmol)

REXCRC = KEL\*AHYDC !Taux d'excrétion (µmol/j)

AEXCRC = INTEG(REXCRC,0) !Quantité cumulée excrétée (µmol)

!TRANS

RHYDT = VMAXDCCAT\*CVFT/(KMDCCAT+CVFT)-KEL\*AHYDT !Taux de formation (µmol/j)

AHYDT = INTEG(RHYDT,0) !Quantité formée (µmol)

REXCRT = KEL\*AHYDT !Taux d'excrétion (µmol/j)

AEXCRT = INTEG(REXCRT,0) !Quantité cumulée excrétée (µmol)

!Excrétion par g de créatinine

!CIS

RCREAC = MDCCA\*REXCRC/CREA !Taux d'excrétion ==> concentration urines de 24h (µg/g cr.)

!TRANS

RCREAT = MDCCA\*REXCRT/CREA !Taux d'excrétion ==> concentration urines de 24h (µg/g cr.)

!BILAN

RMETC = RHEPC+RCAEGIC !Métabolisme cis-perméthrine (µmol/j)

AMETC = INTEG(RMETC,0) !Quantité de cis-perméthrine métabolisé (µmol)

RMETT = RHEPT+RCAEGIT !Métabolisme trans-perméthrine (µmol/j)

AMETT = INTEG(RMETT,0) !Quantité de trans-perméthrine métabolisé (µmol)

!-----

!BILAN DE MASSE sur l'organisme entier

$TMASSC = ACETOTC + AGTOTC + ARC + AMPTOTC + AFC + ASKC + AGIC + AMETC$

$BALC = AOC + AINH C + ADERMC - TMASSC$

$TMASST = ACETOTT + AGTOTT + ART + AMPTOTT + AFT + ASKT + AGIT + AMETT$

$BALT = AOT + AINH T + ADERMT - TMASST$

$BAL = BALC + BALT$  !Doit être égal à 0

TERMT(T.GE.TSTOP)

END

END

END

## Annexe 8 : Consommations moyennes des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe

Table 95 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (1)

Groupes d'aliments	Classes d'âge	Hommes			Femmes			Ensemble		
		TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%
Pains et panifications sèches	18-34 ans	100 %	92,4	[79,8 ; 105,1]	95,3 %	68,2	[59 ; 77,4]	100 %	82,4	[74,8 ; 90]
	35-54 ans	96,3 %	135,9	[107,5 ; 164,3]	98,1 %	79	[71 ; 87]	95,7 %	101,8	[89 ; 114,6]
	55 ans et plus	99,6 %	159,2	[134,1 ; 184,4]	23,7 %	102,6	[86,7 ; 118,5]	98,9 %	132,7	[114,7 ; 150,7]
Céréales pour petit déjeuner	18-34 ans	17,1 %	5,3	[1,4 ; 9,2]	8,1 %	6,2	[3,1 ; 9,2]	19,8 %	5,6	[3,2 ; 8,1]
	35-54 ans	7,3 %	1,5	[0,4 ; 2,7]	6,2 %	1,6	[0,8 ; 2,5]	7,8 %	1,6	[1,1 ; 2,1]
	55 ans et plus	5,8 %	0,9	[0,3 ; 1,5]	42,8 %	1	[0 ; 2,4]	6 %	0,9	[0,2 ; 1,6]
Pâtes	18-34 ans	58,5 %	57,6	[33,9 ; 81,4]	56,9 %	31,4	[20,3 ; 42,6]	52 %	46,8	[29 ; 64,6]
	35-54 ans	53 %	55,7	[35,1 ; 76,2]	53,1 %	30,3	[22,6 ; 38,1]	55,3 %	40,5	[30,5 ; 50,5]
	55 ans et plus	60,4 %	40,8	[24,8 ; 56,7]	45,6 %	29,1	[17,7 ; 40,4]	57 %	35,3	[24,7 ; 45,9]
Riz et blés durs ou concassés	18-34 ans	56,4 %	30,6	[22,8 ; 38,5]	49,5 %	22,7	[11,4 ; 34]	51,9 %	27,3	[19,9 ; 34,7]
	35-54 ans	38,1 %	19,3	[12,4 ; 26,3]	33,9 %	25,7	[19,9 ; 31,6]	45 %	23,2	[18,6 ; 27,7]
	55 ans et plus	59,8 %	47,2	[29,3 ; 65,2]	1,6 %	11,2	[6,3 ; 16,1]	47,6 %	30,4	[21 ; 39,7]
Autres céréales	18-34 ans	2,7 %	0	[0 ; 0]	9 %	0,1	[0 ; 0,1]	2,3 %	0	[0 ; 0]
	35-54 ans	3,9 %	0,6	[0,3 ; 1]	4,2 %	0,6	[0,1 ; 1,1]	7 %	0,6	[0,3 ; 0,9]
	55 ans et plus	4,5 %	0,5	[0 ; 1,1]	73,2 %	0,4	[0,1 ; 0,6]	4,3 %	0,4	[0,1 ; 0,8]
Viennoiserie	18-34 ans	66 %	24,6	[15,2 ; 34]	37,5 %	20,6	[17,6 ; 23,6]	69 %	23	[17,6 ; 28,4]
	35-54 ans	38,5 %	19,3	[11,5 ; 27,2]	19,5 %	9,5	[6,2 ; 12,9]	37,9 %	13,5	[9,8 ; 17,1]
	55 ans et plus	12,8 %	3,9	[0,2 ; 7,6]	46,6 %	3,2	[1,4 ; 5]	15,9 %	3,6	[1,4 ; 5,7]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; TC : taux de consommation ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 96 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (2)

Groupes d'aliments	Classes d'âge	Hommes			Femmes			Ensemble		
		TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%
Biscuits sucrés ou salés et barres	18-34 ans	44,4 %	17,3	[6,8 ; 27,8]	44 %	9,9	[5,7 ; 14]	45,3 %	14,2	[7,3 ; 21,2]
	35-54 ans	43,1 %	8,8	[2 ; 15,7]	30 %	7,1	[5 ; 9,1]	43,6 %	7,8	[4,7 ; 10,9]
	55 ans et plus	41,2 %	5,6	[1,9 ; 9,3]	69,5 %	4,1	[1,7 ; 6,5]	35,9 %	4,9	[2,8 ; 7]
Pâtisseries et gâteaux	18-34 ans	43,3 %	42,7	[10,8 ; 74,6]	57,7 %	28,8	[22,9 ; 34,7]	54,2 %	37	[18 ; 56]
	35-54 ans	37,6 %	28,6	[18,6 ; 38,5]	36,7 %	34,1	[24,4 ; 43,9]	49,6 %	31,9	[25,6 ; 38,2]
	55 ans et plus	58,7 %	29,9	[22,3 ; 37,4]	68,6 %	21,1	[9,5 ; 32,7]	48,4 %	25,8	[20 ; 31,5]
Laits	18-34 ans	65,5 %	130,4	[95,2 ; 165,6]	54,3 %	108,5	[67,9 ; 149,1]	66,7 %	121,3	[97,7 ; 145]
	35-54 ans	51 %	63,8	[36,9 ; 90,8]	44 %	80,4	[55,7 ; 105,1]	53 %	73,8	[55,3 ; 92,3]
	55 ans et plus	65,5 %	111,2	[71,9 ; 150,4]	71 %	55,6	[28 ; 83,2]	55,4 %	85,2	[57,3 ; 113]
Ultra-frais laitiers	18-34 ans	61,6 %	51,7	[26,8 ; 76,5]	84,9 %	77,1	[54,9 ; 99,3]	65,5 %	62,2	[45,9 ; 78,4]
	35-54 ans	80,7 %	97,8	[83,6 ; 112,1]	89,2 %	95,1	[71,6 ; 118,6]	83,2 %	96,2	[81,1 ; 111,3]
	55 ans et plus	62 %	57,6	[34,2 ; 81]	91,4 %	90	[61,8 ; 118,2]	74,7 %	72,7	[54,4 ; 91]
Fromages	18-34 ans	63,9 %	38,3	[26,6 ; 50]	77,6 %	26,9	[22,6 ; 31,2]	75,3 %	33,6	[26 ; 41,2]
	35-54 ans	85,1 %	36,9	[29,6 ; 44,1]	93,2 %	28	[23,3 ; 32,6]	80,6 %	31,5	[27,3 ; 35,8]
	55 ans et plus	84,7 %	43,3	[31,4 ; 55,2]	39,6 %	32,2	[25,7 ; 38,6]	88,7 %	38,1	[30,4 ; 45,7]
Œufs et dérivés	18-34 ans	33,7 %	12,4	[4,5 ; 20,3]	52,1 %	6,9	[4,8 ; 9]	36,1 %	10,1	[5,2 ; 15,1]
	35-54 ans	50,8 %	13,3	[8,9 ; 17,6]	40,3 %	13,9	[8,4 ; 19,4]	51,6 %	13,6	[9,9 ; 17,4]
	55 ans et plus	43,6 %	13,2	[6 ; 20,5]	57,9 %	10,1	[5,5 ; 14,6]	42,1 %	11,8	[7,4 ; 16,1]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; TC : taux de consommation ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 97 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (3)

Groupes d'aliments	Classes d'âge	Hommes			Femmes			Ensemble		
		TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%
Beurres	18-34 ans	68,2 %	4,7	[2,9 ; 6,5]	79,1 %	4,7	[2,5 ; 6,8]	64 %	4,7	[3,4 ; 5,9]
	35-54 ans	57,4 %	7,7	[4,7 ; 10,7]	64,5 %	7,8	[5,9 ; 9,7]	70,4 %	7,8	[6,1 ; 9,4]
	55 ans et plus	76,1 %	11,6	[8,1 ; 15,1]	80,4 %	5,2	[4,1 ; 6,2]	70,6%	8,6	[6,4 ; 10,7]
Huiles	18-34 ans	54,7 %	2,4	[1,1 ; 3,7]	90,3 %	4,1	[2,8 ; 5,3]	65,3 %	3,1	[2,1 ; 4,1]
	35-54 ans	80,1 %	5,7	[3,8 ; 7,5]	89 %	7,2	[5,8 ; 8,6]	86,2 %	6,6	[5,5 ; 7,6]
	55 ans et plus	90,5 %	8	[5,9 ; 10,1]	31,4 %	7,2	[5,9 ; 8,5]	89,8 %	7,6	[6,3 ; 8,9]
Margarines	18-34 ans	1,6 %	0,1	[0,1 ; 0,2]	32,3 %	1,2	[0,2 ; 2,1]	13,9 %	0,6	[0,1 ; 1]
	35-54 ans	30,5 %	4,3	[3 ; 5,6]	54,4 %	1,5	[0,8 ; 2,3]	31,6 %	2,6	[2 ; 3,3]
	55 ans et plus	26,3 %	4,3	[0,5 ; 8,1]	2,4 %	4,8	[2,7 ; 6,8]	39,4 %	4,5	[2,1 ; 6,9]
Autres graisses	18-34 ans	3,8 %	0,2	[0 ; 0,4]	4 %	0,1	[0 ; 0,2]	3,2 %	0,1	[0 ; 0,2]
	35-54 ans	1 %	0,1	[0,1 ; 0,1]	0,2%	0,1	[0 ; 0,1]	2,8 %	0,1	[0 ; 0,1]
	55 ans et plus	9,3 %	0,4	[0 ; 1,2]	53,2 %	0	[0 ; 0]	5,1 %	0,2	[0 ; 0,7]
Viandes	18-34 ans	79,4 %	73,9	[58,1 ; 89,7]	83,4 %	34,5	[21,5 ; 47,5]	68,6 %	57,6	[43,4 ; 71,8]
	35-54 ans	89,3 %	98	[80,4 ; 115,6]	72,5 %	59	[48,4 ; 69,7]	85,8 %	74,6	[64,9 ; 84,4]
	55 ans et plus	67,8 %	54,5	[37,3 ; 71,8]	44,3 %	42,4	[30,9 ; 53,8]	70 %	48,8	[38,2 ; 59,4]
Volailles et gibiers	18-34 ans	25,6 %	15,5	[6,6 ; 24,4]	61,2 %	27,8	[12,2 ; 43,5]	33,4 %	20,6	[12,2 ; 29]
	35-54 ans	36,9 %	26,2	[16,8 ; 35,5]	62,6 %	56,7	[22,6 ; 90,7]	51,4 %	44,5	[23 ; 65,9]
	55 ans et plus	56,7 %	36,8	[23,7 ; 50]	4,6 %	39,9	[22,6 ; 57,1]	59,4 %	38,2	[27,6 ; 48,9]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; TC : taux de consommation ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 98 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (4)

Groupes d'aliments	Classes d'âge	Hommes			Femmes			Ensemble		
		TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%
Abats	18-34 ans	10,9 %	3,7	[0 ; 9,9]	10,9 %	0,8	[0 ; 1,9]	8,3 %	2,5	[0 ; 6,3]
	35-54 ans	4,7 %	1,7	[0 ; 5]	8,3 %	3,4	[1,2 ; 5,6]	8,4 %	2,8	[0,9 ; 4,6]
	55 ans et plus	17,5 %	5,5	[1,7 ; 9,4]	78,4 %	2	[0,2 ; 3,8]	13,2 %	3,9	[1,6 ; 6,1]
Charcuteries	18-34 ans	67,4 %	46	[33,9 ; 58,1]	73,3 %	27,8	[21,2 ; 34,4]	71,9 %	38,5	[31 ; 45,9]
	35-54 ans	93,1 %	39,1	[31,1 ; 47,2]	67,9 %	30,3	[22,2 ; 38,3]	81,2 %	33,8	[28,1 ; 39,5]
	55 ans et plus	83,1 %	52,2	[36,1 ; 68,3]	42,5 %	25,2	[18,7 ; 31,7]	76 %	39,6	[30,3 ; 48,8]
Poissons	18-34 ans	25,8 %	12	[5,2 ; 18,7]	47,9 %	20,4	[10,2 ; 30,7]	32,7 %	15,5	[9,6 ; 21,4]
	35-54 ans	56,8 %	34,3	[24,9 ; 43,7]	57,6 %	23	[17,5 ; 28,4]	51,4 %	27,5	[22,3 ; 32,8]
	55 ans et plus	36,8 %	16,6	[8,5 ; 24,7]	18,4 %	31,2	[15,3 ; 47,2]	46,6 %	23,4	[14,4 ; 32,5]
Crustacés et mollusques	18-34 ans	21,9 %	31,6	[0 ; 65,7]	12 %	7,1	[2,6 ; 11,6]	20,5 %	21,4	[0 ; 44,1]
	35-54 ans	11,8 %	8,3	[4,7 ; 11,8]	14 %	4,4	[2,2 ; 6,7]	11,9 %	6	[3,9 ; 8]
	55 ans et plus	24,6 %	14,9	[2,4 ; 27,3]	90,3 %	12,8	[3,7 ; 21,9]	19,6 %	13,9	[5,8 ; 22]
Légumes (hors pommes de terre)	18-34 ans	76,4 %	93,9	[64,2 ; 123,6]	98,9 %	113,5	[99,9 ; 127,2]	82,1 %	102	[82 ; 122]
	35-54 ans	99,1 %	157,2	[137,4 ; 177]	95,8 %	180,4	[155,8 ; 204,9]	99 %	171,1	[154,2 ; 188]
	55 ans et plus	97,9 %	175,9	[137,8 ; 213,9]	66,4 %	133,5	[112,5 ; 154,5]	96,9 %	156	[132,7 ; 179,3]
Pommes de terre et apparentés	18-34 ans	83,8 %	78,8	[56,7 ; 100,9]	67 %	51,4	[37,3 ; 65,6]	76,6 %	67,5	[50 ; 85]
	35-54 ans	73,8 %	70,5	[32,4 ; 108,6]	58,3 %	50,3	[35,2 ; 65,3]	69,7 %	58,4	[40,7 ; 76]
	55 ans et plus	53,5 %	47,4	[31 ; 63,8]	9,8 %	41,1	[22,9 ; 59,4]	55,7 %	44,5	[31,5 ; 57,4]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; TC : taux de consommation ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 99 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (5)

Groupes d'aliments	Classes d'âge	Hommes			Femmes			Ensemble		
		TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%
Légumes secs	18-34 ans	10,2 %	12,3	[0 ; 26,9]	19,9 %	5,9	[3,1 ; 8,6]	10 %	9,6	[0,2 ; 19,1]
	35-54 ans	8,3 %	5,4	[2 ; 8,7]	18 %	10,1	[2,8 ; 17,5]	15,3 %	8,2	[3,6 ; 12,8]
	55 ans et plus	13,9 %	12,8	[0 ; 27,2]	58 %	7	[3,3 ; 10,7]	15,9 %	10,1	[2,4 ; 17,7]
Fruits	18-34 ans	41,2 %	67,8	[30,6 ; 105]	82,6 %	78,8	[44,1 ; 113,5]	48,1 %	72,3	[46,6 ; 98,1]
	35-54 ans	76,9 %	174,8	[127,9 ; 221,8]	97,6 %	160,9	[136,6 ; 185,2]	80,4 %	166,5	[142,9 ; 190,1]
	55 ans et plus	79,6 %	205	[160 ; 249,9]	31 %	222,2	[178,4 ; 266]	88 %	213	[181,9 ; 244,2]
Fruits secs et graines oléagineuses	18-34 ans	14,6 %	1,7	[0,8 ; 2,6]	22,7 %	1,4	[0,8 ; 2,1]	21,4 %	1,6	[1,1 ; 2,2]
	35-54 ans	27,4 %	3,4	[1,5 ; 5,2]	27,1 %	2,2	[1 ; 3,4]	24,6 %	2,7	[1,7 ; 3,6]
	55 ans et plus	19,3 %	3,6	[1,4 ; 5,9]	49 %	7,7	[0 ; 16,9]	22,9 %	5,6	[1 ; 10,1]
Glaces et desserts glacés	18-34 ans	30,6 %	11,4	[5,9 ; 16,8]	10,7 %	23,6	[17,6 ; 29,6]	38,2 %	16,4	[12,1 ; 20,8]
	35-54 ans	15,5 %	6,9	[4,2 ; 9,7]	17,3 %	5,3	[2,6 ; 8,1]	12,6 %	6	[4,1 ; 7,9]
	55 ans et plus	14,9 %	9,4	[1,2 ; 17,6]	71,9 %	11,9	[0 ; 25,6]	16 %	10,6	[3,1 ; 18,1]
Chocolats	18-34 ans	51 %	7,5	[4,8 ; 10,2]	46,9 %	10,6	[7,8 ; 13,4]	59,6 %	8,8	[6,5 ; 11]
	35-54 ans	55,6 %	8,8	[6,3 ; 11,2]	47 %	6,1	[2,9 ; 9,3]	50,4 %	7,2	[5 ; 9,3]
	55 ans et plus	27,5 %	3,7	[1,2 ; 6,2]	88,8 %	9,3	[0,9 ; 17,6]	36,6 %	6,3	[2,1 ; 10,5]
Sucres et dérivés	18-34 ans	98,7 %	21,2	[14,8 ; 27,5]	86,9 %	15,8	[8,4 ; 23,2]	94,6 %	19	[14 ; 23,9]
	35-54 ans	88,5 %	24,4	[19,3 ; 29,5]	80,8 %	16,9	[14,3 ; 19,4]	87,5 %	19,9	[17,4 ; 22,4]
	55 ans et plus	90,7 %	29,8	[18,1 ; 41,4]	100 %	15,2	[12,2 ; 18,2]	86 %	23	[15,9 ; 30]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; TC : taux de consommation ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 100 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (6)

Groupes d'aliments	Classes d'âge	Hommes			Femmes			Ensemble		
		TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%
Eaux	18-34 ans	95,7 %	830,4	[691,7 ; 969,1]	98,8 %	873,1	[748,9 ; 997,4]	97,5 %	848,1	[744 ; 952,1]
	35-54 ans	100 %	1125,9	[903,7 ; 1348,1]	99,1 %	972,3	[854,3 ; 1090,3]	99,3 %	1033,9	[921 ; 1146,7]
	55 ans et plus	97,7 %	802,8	[628,6 ; 977,1]	89,8 %	852,9	[693,3 ; 1012,5]	98,3 %	826,2	[718,6 ; 933,9]
Boissons fraîches sans alcool	18-34 ans	79,9 %	402,4	[240 ; 564,8]	69,3 %	167,7	[121 ; 214,3]	84 %	305,3	[189,6 ; 421]
	35-54 ans	70,7 %	93,9	[67,3 ; 120,5]	55,4 %	117,7	[88,5 ; 146,9]	69,9 %	108,2	[87,6 ; 128,7]
	55 ans et plus	44,5 %	67,8	[39,5 ; 96]	41 %	48,3	[24,9 ; 71,7]	49,6 %	58,7	[42,3 ; 75,1]
Boissons alcoolisées	18-34 ans	61,4 %	157,8	[87,8 ; 227,8]	46,8 %	51,3	[23,8 ; 78,7]	52,9 %	113,7	[73 ; 154,5]
	35-54 ans	78,6 %	232	[169,9 ; 294]	58 %	44,2	[32,1 ; 56,2]	59,6 %	119,4	[85,6 ; 153,2]
	55 ans et plus	75,5 %	216,5	[140 ; 293]	62,5 %	51,5	[34,1 ; 68,9]	67,3 %	139,3	[98,6 ; 179,9]
Cafés	18-34 ans	87,2 %	237,1	[156,5 ; 317,7]	80,3 %	238,3	[168,6 ; 307,9]	77 %	237,6	[182,1 ; 293]
	35-54 ans	98,8 %	299,2	[249,5 ; 348,8]	81,7 %	219,2	[132,9 ; 305,5]	87,7 %	251,2	[195,2 ; 307,3]
	55 ans et plus	68,2 %	169,2	[82,1 ; 256,3]	69,3 %	176,8	[128,1 ; 225,6]	74,5 %	172,8	[113,5 ; 232]
Autres boissons chaudes	18-34 ans	37,4 %	22,9	[14,8 ; 31]	62,5 %	138,8	[49,2 ; 228,3]	50,6 %	70,8	[29,7 ; 111,9]
	35-54 ans	27 %	57,4	[33,7 ; 81,1]	60,6 %	243,2	[189,5 ; 296,9]	48,3 %	168,8	[133,8 ; 203,8]
	55 ans et plus	56,3 %	62,7	[33 ; 92,4]	34,1 %	189,2	[113,1 ; 265,4]	58,3 %	121,9	[80,5 ; 163,3]
Pizzas, quiches et pâtisseries salées	18-34 ans	24,3 %	22,3	[3,4 ; 41,2]	27,9 %	28,1	[8,7 ; 47,5]	28,3 %	24,7	[9,8 ; 39,6]
	35-54 ans	36,6 %	16,8	[8,9 ; 24,7]	11,5 %	17,2	[9,5 ; 25]	31,4 %	17	[11,4 ; 22,7]
	55 ans et plus	18,3 %	5,8	[0 ; 12,1]	13 %	7,8	[1,6 ; 13,9]	15,2 %	6,7	[2,4 ; 11]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; TC : taux de consommation ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 101 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (7)

Groupes d'aliments	Classes d'âge	Hommes			Femmes			Ensemble		
		TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%
Sandwichs, casse-croûtes	18-34 ans	51,5 %	77,4	[53,1 ; 101,6]	3,6 %	8	[0,8 ; 15,2]	35,6 %	48,7	[27,8 ; 69,6]
	35-54 ans	12,7 %	12,6	[5,4 ; 19,8]	3,7 %	2,1	[0,6 ; 3,5]	7,2 %	6,3	[3,3 ; 9,2]
	55 ans et plus	5,8 %	2,8	[0,4 ; 5,2]	28,7 %	1,5	[0 ; 3,4]	4,8 %	2,2	[0,6 ; 3,7]
Soupes et bouillons	18-34 ans	16,9 %	16,9	[4,2 ; 29,6]	28,9 %	51,6	[24,8 ; 78,4]	21,8 %	31,2	[17,6 ; 44,8]
	35-54 ans	24,2 %	36,2	[15,5 ; 56,9]	63,8 %	48,5	[29,7 ; 67,3]	27 %	43,5	[30,3 ; 56,8]
	55 ans et plus	58,9 %	140,8	[98,7 ; 182,8]	63,2 %	133,3	[92,2 ; 174,3]	61,2 %	137,2	[104,9 ; 169,6]
Plats composés	18-34 ans	63,4 %	89,5	[67 ; 111,9]	58 %	61,7	[43,3 ; 80,1]	63,3 %	78	[62,2 ; 93,7]
	35-54 ans	62 %	67,4	[53,3 ; 81,6]	49,5 %	49,2	[36,9 ; 61,5]	59,6 %	56,5	[47,3 ; 65,6]
	55 ans et plus	50,3 %	39,2	[24,4 ; 54]	51 %	44,1	[20,4 ; 67,7]	49,9 %	41,5	[28,8 ; 54,2]
Entremets, crèmes dessert et laits gélifiés	18-34 ans	43,8 %	28,7	[15,1 ; 42,2]	43,3 %	23,2	[15,3 ; 31,1]	46,7 %	26,4	[19,1 ; 33,7]
	35-54 ans	39,4 %	35,1	[19,8 ; 50,4]	32,2 %	29,9	[22,6 ; 37,3]	41,7 %	32	[24,1 ; 39,9]
	55 ans et plus	46,2 %	31,2	[18,2 ; 44,3]	29,6 %	18,1	[6,9 ; 29,2]	39,7 %	25,1	[16 ; 34,1]
Compotes et fruits cuits	18-34 ans	6,7 %	2,8	[0,5 ; 5,2]	24,7 %	15	[5,7 ; 24,3]	16,2 %	7,9	[3,4 ; 12,3]
	35-54 ans	12,6 %	6,6	[0 ; 14,2]	37,9 %	12,7	[6,7 ; 18,7]	19,9 %	10,2	[5,5 ; 15]
	55 ans et plus	26 %	20,6	[10,7 ; 30,4]	100 %	17,4	[9,8 ; 24,9]	31,6 %	19,1	[12,5 ; 25,6]
Condiments et sauces	18-34 ans	100 %	22,6	[14,7 ; 30,5]	100 %	18,2	[15,8 ; 20,7]	100 %	20,8	[15,4 ; 26,2]
	35-54 ans	97,5 %	23,8	[16,6 ; 30,9]	100 %	20,3	[17,5 ; 23]	99 %	21,7	[18,5 ; 24,9]
	55 ans et plus	100 %	24,8	[20,5 ; 29,2]	7,1 %	11,3	[9,1 ; 13,5]	100 %	18,5	[15,7 ; 21,3]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; TC : taux de consommation ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

Table 102 : Consommations moyennes (g/j) des 43 groupes d'aliments selon l'âge et le sexe (8)

Groupes d'aliments	Classes d'âge	Hommes			Femmes			Ensemble		
		TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%	TC	Moy.	IC 95%
Aliments destinés à une alimentation particulière	18-34 ans	1,1 %	0	[0 ; 0]	15,3 %	0,2	[0,2 ; 0,3]	3,6 %	0,1	[0,1 ; 0,1]
	35-54 ans	19,3 %	0,5	[0 ; 1,4]	19,6 %	0,3	[0 ; 0,7]	16,9 %	0,4	[0 ; 0,8]
	55 ans et plus	9,1 %	0,1	[0 ; 0,2]	95,3 %	2,4	[0 ; 5,6]	14 %	1,2	[0 ; 2,7]

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$  ; TC : taux de consommation ; Moy : moyenne ; IC 95% : intervalle de confiance à 95%

## Annexe 9 : Consommation moyenne des 43 groupes d'aliments en Ile de France

Table 103 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments en Ile de France (1)

Groupes d'aliments	Île-de-France	
	Moyenne	IC 95%
Pains et panifications sèches	105,9	[88,5 ; 123,3]
Céréales pour petit déjeuner	5,4	[1,5 ; 9,3]
Pâtes	31,2	[22,2 ; 40,3]
Riz et blés durs ou concassés	41,2	[26,6 ; 55,8]
Autres céréales	0,2	[0,1 ; 0,4]
Viennoiseries	14,8	[9,5 ; 20,1]
Biscuits sucrés ou salés et barres	7,2	[4,8 ; 9,6]
Pâtisseries et gâteaux	30,3	[21,2 ; 39,4]
Laits	101,9	[61,3 ; 142,4]
Ultra-frais laitiers	85,4	[63,8 ; 107,1]
Fromages	25,7	[18,4 ; 32,9]
Œufs et dérivés	11,4	[4,6 ; 18,2]
Beurres	4,6	[3,3 ; 6]
Huiles	7,0	[5,4 ; 8,7]
Margarines	3,9	[2,7 ; 5,1]
Autres graisses	0,2	[0 ; 0,3]
Viandes	60,7	[49,6 ; 71,8]
Volailles et gibiers	22,9	[14,3 ; 31,6]
Abats	2,5	[0 ; 6,1]
Charcuteries	23,0	[7,5 ; 38,6]
Poissons	32,4	[21,4 ; 43,4]
Crustacés et mollusques	5,5	[1,8 ; 9,2]
Légumes (hors pommes de terre)	181,7	[143,1 ; 220,4]
Pommes de terre et apparentés	46,9	[37,1 ; 56,7]
Légumes secs	12,3	[7,1 ; 17,6]
Fruits	150,1	[121,7 ; 178,4]
Fruits secs et graines oléagineuses	1,0	[0,6 ; 1,5]
Glaces et desserts glacés	6,0	[2,7 ; 9,3]
Chocolats	10,5	[7,7 ; 13,3]
Sucres et dérivés	16,9	[13,2 ; 20,5]

IC 95% : Intervalle de confiance à 95%

Table 104 : Consommation moyenne (g/j) des 43 groupes d'aliments en Ile de France (2)

Groupes d'aliments	Île-de-France	
	Moyenne	Moyenne
Eaux	843,4	[745 ; 941,8]
Boissons fraîches sans alcool	211,7	[177,2 ; 246,2]
Boissons alcoolisées	54,7	[33,8 ; 75,6]
Cafés	145,1	[115,8 ; 174,4]
Autres boissons chaudes	150,2	[120,4 ; 180]
Pizzas, quiches et pâtisseries salées	14,2	[8,2 ; 20,3]
Sandwichs, casse-croûtes	41,2	[23,4 ; 58,9]
Soupes et bouillons	16,8	[0,2 ; 33,3]
Plats composés	84,4	[59,9 ; 108,9]
Entremets, crèmes dessert et laits gélifiés	37,5	[26,1 ; 49]
Compotes et fruits cuits	9,7	[2,7 ; 16,7]
Condiments et sauces	19,2	[16,2 ; 22,2]
Aliments destinés à une alimentation particulière	0,03	[0,01 ; 0,05]

IC 95% : Intervalle de confiance à 95%

## Annexe 10 : Analyse de sensibilité de l'exposition

Table 105 : Description des variations apportées aux valeurs des paramètres d'entrée pour l'analyse de sensibilité (1)

Variable	Unité	Modalités initiales	Autres modalités testées	Valeurs testées*
$C_i$	ng/m <sup>3</sup>	Distribution cumulative	Ln ( $\mu = 0,01$ ; $\sigma = 0,03$ )	4,3.10 <sup>-5</sup> – 0,60
			Distribution gamma notée $\Gamma$ ( $\mu = 0,07$ ; $\sigma = 0,17$ )	1,0.10 <sup>-5</sup> – 1,28
$C_p$	µg/g	Distribution cumulative	Ln ( $\mu = 0,16$ ; $\sigma = 1,28$ )	5,8.10 <sup>-5</sup> – 21,0
			$\Gamma$ ( $\mu = 4,31$ ; $\sigma = 6,18$ )	2,0.10 <sup>-5</sup> – 36,5
$C_e$	ng/m <sup>3</sup>	Ln ( $\mu = 0,003$ ; $\sigma = 0,007$ )	Distribution normale notée N ( $\mu = 0,23$ ; $\sigma = 0,06$ )	0,04 – 0,42
			Distribution triangulaire notée T (min = 0 ; M = 0,071 ; max = 0,465)	4,3.10 <sup>-3</sup> – 0,45
$P_c$	kg	Valeurs individuelles	-	-
$V_r$	m <sup>3</sup> /j	Utilisation des équations de Henry (2005) et Layton (1993) en prenant en compte les activités de la vie quotidienne à l'aide d'un facteur A	Utilisation des équations de Henry (2005) et Layton (1993) (le facteur A est retiré des équations)	H : 7,2 – 12,6 F : 5,9 – 10,5
$Q$	mg/j	30 mg/j selon l'EFH de l'US-EPA (2011)	T (0 ; 30 ; 100)	2,1 – 99,4
$S$	m <sup>2</sup>	utilisation l'équation de Gehan & George (1970)	Valeurs de l'EFH de l'US-EPA (2011) variant selon l'âge et le sexe	H : 1,84 – 1,89 F : 1,77 – 1,89
$f_s$	-	Scénario maximisant « été »	Scénario « hiver » considérant que seuls la tête et les mains sont exposées	H : 0,12 F : 0,11
$f_p$	-	0,15 selon Wormuth et al. (2006) et Bekö et al. (2013)	T (0 ; 0,15 ; 1)	0,02 – 0,99
$M_p$	g/m <sup>2</sup>	0,96 selon Bekö et al. (2013)	T (0 ; 0,96 ; 2)	0,05 -1,97
$v_p$	m/h	Scénario maximisant considérant un corps humain assis (Shi & Zhao, 2013)	Scénario considérant un corps humain debout (Shi & Zhao, 2013)	1,40

*C<sub>i</sub>* : concentration en perméthrine dans l'air intérieur ; *C<sub>p</sub>* : concentration en perméthrine dans les poussières sédimentées ; *C<sub>e</sub>* : concentration en perméthrine dans l'air extérieur ; *P<sub>c</sub>* : poids corporel ; *V<sub>r</sub>* : volume respiratoire ; *Q* : quantité de poussières ingérée ; *S* : surface corporelle ; *f<sub>s</sub>* : fraction du corps exposée ; *f<sub>p</sub>* : fraction de perméthrine contenue dans les poussières disponible pour l'exposition externe ; *M<sub>p</sub>* : quantité de poussière adhérent à la peau ; *v<sub>p</sub>* : vitesse de sédimentation des particules de l'air vers la peau

Table 106 : Description des variations apportées aux valeurs des paramètres d'entrée pour l'analyse de sensibilité (2)

Variable	Unité	Valeurs initiales	Autres valeurs testées	Valeur
$T_i$	h/j	Valeur calculée pour chaque individu en appliquant une proportion de temps passé à l'intérieur aux temps moyens passés à différentes activités quotidiennes (INSEE, 2011), variant selon l'âge, le sexe, la situation professionnelle et la PCS	Valeur attribuée à chaque individu selon un scénario considérant que le temps passé à l'intérieur correspond au temps moyen de sommeil (INSEE, 2011), le reste du temps étant passé à l'extérieur. Le temps moyen de sommeil varie selon l'âge, le sexe et la situation professionnelle	7,9 – 9,3
			Valeur attribuée à chaque individu selon un scénario considérant que le temps passé à l'intérieur correspond au temps moyen passé dans le logement (OQAI, 2010), le reste du temps étant passé à l'extérieur. Le temps moyen passé dans le logement varie selon l'âge et le sexe.	14,3 – 19,3
			T (8 ; 23 ; 24) (scénario maximisant)	8,5 – 23,9
$T_p$	h/j	Une valeur unique de 24h.j-1 attribuée à tous les individus selon un scénario maximisant considérant une exposition cutanée à la poussière toute la journée, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur	T (8 ; 23 ; 24) (alternative de scénario maximisant)	8,5 – 23,9
			Valeur attribuée à chaque individu considérant une exposition cutanée à la poussière uniquement en environnement intérieur ( $T_p = T_i$ )	17,1 – 23,7

$T_i$  : temps passé à l'intérieur ;  $T_p$  : temps d'exposition aux poussières sédimentées ;  $\mu$  : moyenne de la distribution ;  $\sigma$  : écart-type de la distribution ; min : valeur minimale de la distribution ; M : mode de la distribution ; max : valeur maximale de la distribution ; H : hommes ; F : femmes ; PCS : profession et catégorie socioprofessionnelle.

\* Une gamme de valeurs (valeur minimale et maximale) est indiquée pour les variables individuelles.

## Annexe 11 : Impact de la forme des distributions de contamination sur l'exposition environnementale

Table 107 : Description des distributions d'exposition avant (distributions initiales en grisé) et après les variations appliquées sur les paramètres (1)

		Exposition par voie cutanée via les poussières sédimentées (ng/kg pc/j)									Exposition par ingestion indirecte de poussières (ng/kg pc/j)								
		Min	P25	P50	P75	Max	Moy	SD	Sk1	K2	Min	P25	P50	P75	Max	Moy	SD	Sk1	K2
	Distributions initiales	2.10 <sup>-3</sup>	0,89	1,39	3,16	92,2	6,15	14,5	3,61	16,3	4.10 <sup>-4</sup>	0,16	0,26	0,60	20,7	1,15	2,80	4,04	21,2
<i>C<sub>p</sub></i>	Distribution log-normale	1.10 <sup>-4</sup>	0,01	0,04	0,18	48,5	0,42	2,60	16,4	298,5	2.10 <sup>-5</sup>	2.10 <sup>-3</sup>	0,01	0,03	8,94	0,08	0,49	15,6	275,0
	Distribution gamma	5.10 <sup>-5</sup>	0,68	4,00	13,3	89,7	10,3	14,7	2,27	8,84	9.10 <sup>-6</sup>	0,13	0,72	2,53	15,0	1,93	2,79	2,22	8,25
<i>Q</i>	Distribution triangulaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.10 <sup>-4</sup>	0,16	0,37	1,00	44,6	1,45	3,89	5,98	50,4
<i>S</i>	Valeurs NHANES	2.10 <sup>-3</sup>	0,95	1,56	3,47	117,1	6,83	16,5	3,91	19,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>fs</i>	Scénario « hiver »	4.10 <sup>-4</sup>	0,16	0,24	0,56	16,2	1,08	2,55	3,61	16,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>fp</i>	Distribution triangulaire	3.10 <sup>-3</sup>	1,19	3,44	8,19	449,5	16,3	43,3	4,93	35,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>M<sub>p</sub></i>	Distribution triangulaire	2.10 <sup>-3</sup>	0,65	1,46	3,15	128,8	6,30	15,9	4,22	23,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T<sub>p</sub></i>	T <sub>p</sub> = T <sub>i</sub>	2.10 <sup>-3</sup>	0,83	1,33	2,99	86,7	5,79	13,7	3,68	16,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Distribution triangulaire	2.10 <sup>-3</sup>	0,62	1,13	2,34	81,6	4,37	9,96	3,76	19,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*C<sub>p</sub>* : concentration en perméthrine dans les poussières sédimentées -- *Q* : quantité de poussières ingérée -- *S* : surface corporelle -- *fs* : fraction du corps exposée -- *fp* : fraction de perméthrine contenue dans les poussières disponible pour l'exposition externe -- *M<sub>p</sub>* : quantité de poussière adhérent à la peau -- *T<sub>p</sub>* : temps d'exposition aux poussières sédimentées

1 Le coefficient d'asymétrie (ou de Skewness, *Sk*) mesure le degré d'asymétrie d'une distribution. Si *Sk* = 0, la distribution est symétrique. Si *Sk* < 0, la distribution est asymétrique vers la gauche. Si *Sk* > 0, la distribution est asymétrique vers la droite.

2 Le coefficient d'aplatissement (ou de Kurtosis, *K*) mesure le degré d'écrasement de la distribution. Si *K* > 0, la distribution est pointue. Si *K* < 0, la distribution est écrasée

**Table 108 : Description des distributions d'exposition avant (distributions initiales en grisé) et après les variations appliquées sur les paramètres (2)**

		Exposition par voie cutanée via l'air (ng/kg pc/j)									Exposition externe par inhalation (ng/kg pc/j)								
		Min	P25	P50	P75	Max	Moy	SD	Sk <sup>1</sup>	K <sup>2</sup>	Min	P25	P50	P75	Max	Moy	SD	Sk <sup>1</sup>	K <sup>2</sup>
	Distributions initiales	8.10 <sup>-6</sup>	9.10 <sup>-4</sup>	2.10 <sup>-3</sup>	0,06	1,31	0,07	0,16	4,50	25,3	2.10 <sup>-6</sup>	2.10 <sup>-4</sup>	3.10 <sup>-4</sup>	0,01	0,26	0,01	0,03	4,44	24,6
Ci	Distribution log-normale	4.10 <sup>-5</sup>	1.10 <sup>-3</sup>	3.10 <sup>-3</sup>	0,01	0,55	0,01	0,03	10,81	156,4	8.10 <sup>-6</sup>	2.10 <sup>-4</sup>	6.10 <sup>-4</sup>	2.10 <sup>-3</sup>	0,10	2.10 <sup>-3</sup>	0,01	10,3	144,9
	Distribution gamma	1.10 <sup>-5</sup>	5.10 <sup>-4</sup>	0,01	0,05	1,12	0,06	0,14	3,96	22,7	2.10 <sup>-6</sup>	1.10 <sup>-4</sup>	1.10 <sup>-3</sup>	0,01	0,21	0,01	0,03	3,92	21,6
Ce	Distribution normale	2.10 <sup>-3</sup>	6.10 <sup>-3</sup>	0,03	0,08	1,32	0,08	0,16	4,44	24,9	3.10 <sup>-4</sup>	1.10 <sup>-3</sup>	0,01	0,02	0,26	0,02	0,03	4,38	24,2
	Distribution triangulaire	8.10 <sup>-4</sup>	4.10 <sup>-3</sup>	0,02	0,08	1,31	0,08	0,17	4,45	25,0	1.10 <sup>-4</sup>	9.10 <sup>-4</sup>	4.10 <sup>-3</sup>	0,02	0,26	0,02	0,03	4,40	24,3
Vr	Au repos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.10 <sup>-6</sup>	1.10 <sup>-4</sup>	2.10 <sup>-4</sup>	0,01	0,19	0,01	0,02	4,53	25,9
S	Valeurs NHANES	7.10 <sup>-6</sup>	1.10 <sup>-3</sup>	2.10 <sup>-3</sup>	0,07	1,81	0,08	0,19	4,95	33,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
fs	Scénario « hiver »	1.10 <sup>-6</sup>	2.10 <sup>-4</sup>	3.10 <sup>-4</sup>	0,01	0,23	0,01	0,03	4,49	25,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
vp	Scénario « debout »	5.10 <sup>-6</sup>	6.10 <sup>-4</sup>	1.10 <sup>-3</sup>	0,04	0,85	0,04	0,11	4,50	25,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ti	Sommeil	3.10 <sup>-5</sup>	6.10 <sup>-4</sup>	3.10 <sup>-3</sup>	0,03	0,46	0,03	0,06	4,35	23,9	5.10 <sup>-6</sup>	1.10 <sup>-4</sup>	6.10 <sup>-4</sup>	0,01	0,09	0,01	0,01	4,36	24,1
	Logement (OQAI)	2.10 <sup>-5</sup>	9.10 <sup>-4</sup>	2.10 <sup>-3</sup>	0,05	0,95	0,05	0,12	4,55	26,1	3.10 <sup>-6</sup>	2.10 <sup>-4</sup>	4.10 <sup>-4</sup>	0,01	0,19	0,01	0,02	4,49	25,3
	Distribution triangulaire (scénario maximisant)	1.10 <sup>-5</sup>	9.10 <sup>-4</sup>	2.10 <sup>-3</sup>	0,05	0,85	0,05	0,13	4,50	25,0	3.10 <sup>-6</sup>	2.10 <sup>-4</sup>	4.10 <sup>-4</sup>	0,01	0,20	0,01	0,03	4,54	25,8

Ci : concentration en perméthrine dans l'air intérieur -- Ce : concentration en perméthrine dans l'air extérieur -- Vr : volume respiratoire -- S : surface corporelle -- fs : fraction du corps exposée -- vp : vitesse de sédimentation des particules de l'air vers la peau -- Ti : temps passé à l'intérieur -- '-': sans objet.

1 Le coefficient d'asymétrie (ou de Skewness, Sk) mesure le degré d'asymétrie d'une distribution. Si Sk = 0, la distribution est symétrique. Si Sk < 0, la distribution est asymétrique vers la gauche. Si Sk > 0, la distribution est asymétrique vers la droite.

2 Le coefficient d'aplatissement (ou de Kurtosis, K) mesure le degré d'écrasement de la distribution. Si K > 0, la distribution est pointue. Si K < 0, la distribution est écrasée.