



## **Description du budget espace temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement**

Abdelkrim Zeghnoun et Frédéric Dor

Septembre 2009

# Sommaire

Abréviations	2
<b>1. Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2. Données recueillies</b>	<b>4</b>
2.1 Données de pollution	4
2.2 Questionnaires	4
2.3 Budget espace-temps	4
<b>3. Méthodes</b>	<b>6</b>
3.1 Méthodes de traitement des données manquantes	6
3.2 Analyse statistique des données	7
<b>4. Résultats I – Estimation du temps passé à l’intérieur du logement</b>	<b>9</b>
4.1 Taux de remplissage des budgets espace-temps	9
4.2 Caractéristiques des logements occupés et des ménages	10
4.3 Caractéristiques de la population étudiée	10
4.4 Temps passé à l’intérieur du logement	11
<b>5. Résultats II – Exposition au monoxyde de carbone à l’intérieur du logement</b>	<b>16</b>
5.1 Niveaux de concentrations de monoxyde de carbone mesurées dans les logements	16
5.2 Exposition de la population au monoxyde de carbone présent à l’intérieur du logement	18
<b>6. Résultats III – Exposition au benzène et formaldéhyde dans la chambre</b>	<b>23</b>
<b>7. Discussion</b>	<b>25</b>
7.1 Le budget espace-temps	25
7.2 L’estimation de l’exposition	28
<b>8. Conclusion</b>	<b>32</b>
Références bibliographiques	33
Annexes	35

# Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement

## Rédaction du rapport

Abdelkrim Zeghnoun, Frédéric Dor, Département santé environnement (DSE), Institut de veille sanitaire (InVS)

## Analyse statistique

Abdelkrim Zeghnoun, DSE, InVS

## A participé à l'analyse statistique du volet budget espace-temps

Anthony Grégoire, Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI), Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)

## Ont participé à la relecture du rapport

Anthony Grégoire, Corinne Mandin et Séverine Kirchner OQAI, CSTB

## Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du groupe de travail "exploitation des données" de l'OQAI auquel participent le CSTB, l'InVS, l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, le Laboratoire d'océanographie et du climat : expérimentation et approche numérique/Institut Pierre Simon Laplace, le Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris et l'Institut national de la santé et de la recherche médicale. Elle a été financée par les ministères chargés du Logement, de l'Écologie et de la Santé, l'InVS, le CSTB, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, l'Agence nationale de l'habitat et l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail.

# Abréviations

<b>BET</b>	Budget espace-temps
<b>CHAPS</b>	Canadian Human Activity Pattern Survey
<b>CNL</b>	Campagne nationale logements
<b>CO</b>	Monoxyde de carbone
<b>EQRS</b>	Évaluation quantitative du risque sanitaire
<b>EXPOLIS</b>	Air Pollution Exposure Distributions of Adult Urban Populations in Europe
<b>Insee</b>	Institut national de la statistique et des études économiques
<b>InVS</b>	Institut de veille sanitaire
<b>MA</b>	Manquant au hasard
<b>MCA</b>	Manquant complètement au hasard
<b>NHAPS</b>	National Human Activity Pattern Survey
<b>OQAI</b>	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
<b>OR</b>	Odds ratio
<b>VESTA</b>	V Epidemiological Studies on Transport and Asthma

# 1. Introduction

La qualité de l'air intérieur est reconnue aujourd'hui comme un facteur préoccupant de la santé et de la qualité de vie d'une population. En effet, l'exposition à la pollution intérieure serait responsable de l'accroissement de la fréquence de diverses pathologies chroniques, allergies et irritations des voies respiratoires. Cette exposition est accentuée pour certains polluants dont les concentrations sont plus importantes à l'intérieur qu'à l'extérieur, par une ventilation faible ou impropre des locaux et par le fait que dans les pays industrialisés, la population passe une bonne partie de son temps dans les espaces intérieurs tels que le logement, les bureaux, l'école, etc.

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a été mis en place pour recueillir et analyser les données nécessaires à une meilleure prise en compte de ce milieu. La campagne de mesure dans les logements français réalisée entre 2003 et 2005 s'inscrit dans cette démarche.

L'OQAI a confié à l'Institut de veille sanitaire (InVS) l'exploitation et l'analyse des données concernant le budget espace-temps (BET) de la population ainsi que l'estimation de l'exposition au monoxyde de carbone (CO), au benzène et au formaldéhyde. Ces travaux s'inscrivent dans le programme de développement méthodologique de la démarche d'évaluation quantitative du risque sanitaire (EQRS) de l'InVS pour l'estimation des expositions. Depuis quelques années, le Département santé environnement a contribué à renseigner un certain nombre de variables humaines d'exposition utiles dans la construction des scénarios d'exposition telles que la consommation d'eau [2], le poids corporel [30] et la quantité de sol ingéré par les enfants [4].

Les études portant sur le BET sont relativement peu nombreuses en France. Cette étude constitue une source d'information utile pour améliorer l'estimation de l'exposition des populations aux polluants présents à l'intérieur du logement et dans les EQRS.

Pour estimer l'exposition à la pollution intérieure, deux approches sont principalement utilisées. L'approche directe consiste à mesurer l'exposition en utilisant, soit des capteurs actifs ou passifs personnels (mesure du contact extérieur avec le polluant), soit des biomarqueurs (mesure de la quantité de polluant ayant pénétré l'organisme). Cette approche est celle qui donne une estimation de l'exposition la plus proche de la réalité. Cependant, elle présente certaines contraintes :

- dans le cas des capteurs, prix de l'équipement, encombrement possible et gêne pour les utilisateurs, absence de capteurs pour nombre de polluants. Ces contraintes limitent la taille de l'échantillon et la durée de recueil des données d'exposition. L'utilisation de capteurs passifs limite les coûts mais ne permet pas l'estimation de l'exposition à court terme ;
- dans le cas des biomarqueurs, la nécessité de collecter des prélèvements biologiques chez les participants limite l'acceptabilité et le taux de participation. Les difficultés techniques (absence

de techniques pour caractériser un biomarqueur, difficultés d'interprétation) et le coût constituent également un frein important.

L'approche indirecte consiste à estimer l'exposition individuelle en combinant les concentrations mesurées dans les différents microenvironnements fréquentés et le temps passé par la population dans ces microenvironnements. Cette approche est adaptée à l'estimation de l'exposition à l'air intérieur car le nombre de microenvironnements est limité, mais aussi à l'estimation de l'exposition à plusieurs polluants simultanément. Elle permet également d'estimer l'exposition personnelle pour un grand nombre d'individus, ainsi que la contribution des différents microenvironnements à l'exposition individuelle totale et d'analyser l'effet de scénarios d'exposition future. Cette approche nécessite cependant d'avoir des données sur le BET de la population étudiée. La représentativité et la pertinence des emplacements des capteurs de mesure des polluants sont également problématiques [5].

La caractérisation de l'exposition aux polluants intérieurs par l'approche indirecte et son utilisation en EQRS nécessite donc la connaissance du BET de la population étudiée. Celui-ci a fait l'objet d'un certain nombre d'études : Air Pollution Exposure Distributions of Adult Urban Populations in Europe (EXPOLIS) en Europe [27], National Human Activity Pattern Survey (NHAPS) aux États-Unis [15,16], Canadian Human Activity Pattern Survey (CHAPS) au Canada [13,15]. En France, les études portant sur le BET sont peu nombreuses. Les trois principales études recensées sont celles de l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) sur l'emploi du temps des plus de 15 ans [6], l'étude V Epidemiological Studies on Transport and Asthma (VESTA) [9] chez les 4-14 ans dans cinq villes françaises et l'étude Sentinelles de l'air chez les adultes du Nord-Pas-de-Calais [25]. Les résultats de ces études suggèrent qu'en moyenne, le pourcentage de temps journalier passé à l'intérieur du logement est de l'ordre de 60 à 70 %. À cela, il faut rajouter le temps passé à l'intérieur d'autres espaces intérieurs (travail, école...).

Toutefois, ces enquêtes ne permettent pas de disposer de l'ensemble des renseignements nécessaires à la construction d'une variable humaine d'exposition. La campagne logements de l'OQAI a prévu le recueil des données pour permettre d'accéder à l'ensemble de ces informations pour l'ensemble de la population adultes et enfants. Le présent travail a ainsi pour objectifs :

- 1) d'estimer la distribution du temps passé à l'intérieur du logement de la population française établie à partir des données collectées dans le cadre de la Campagne nationale logements (CNL) menée entre le 1<sup>er</sup> octobre 2003 et le 21 décembre 2005 ;
- 2) d'estimer l'exposition de la population à certains polluants caractéristiques de la pollution intérieure (CO, benzène et formaldéhyde) en associant les concentrations de ces polluants avec les données sur le temps passé à l'intérieur du logement.

## 2. Données recueillies

Les données collectées dans le cadre de la CNL réalisée entre 2003 et 2005 par l'OQAI regroupent des données de polluants/paramètres de confort, des données issues de questionnaires sur les caractéristiques des logements et des occupants et des données sur le BET. Ces données sont décrites de façon détaillée dans le rapport de l'OQAI [11]. Elles ont été recueillies en utilisant un plan de sondage aléatoire à trois degrés [12]. Le premier degré a consisté à tirer au sort des communes proportionnellement à leur nombre de résidences principales. Le second degré a été du même type, mais a concerné les sections cadastrales des communes tirées au sort. Enfin, le dernier degré a été réalisé en tirant au sort une résidence principale par section cadastrale. Ce tirage a permis d'enquêter 567 résidences principales sur une durée d'une semaine. Tous les occupants de ces logements ont été enquêtés, totalisant ainsi 1 612 individus. Parmi ceux-ci, 1 375 individus ont fournis leurs BET, soit 85,3 %. La non-réponse au BET a été prise en compte par la méthode de repondération. Afin que l'échantillon final soit représentatif de la population française métropolitaine, un redressement a été effectué en utilisant la méthode Calmar [24]. Les variables de calage sont : la zone climatique d'hiver, la taille d'unité urbaine, la région, le type de logement (regroupement individuel, collectif, autre), la date de construction, le statut d'occupation du logement, la période d'observation (octobre-avril et son complément) : répartition proportionnelle des observations en fonction du nombre de jours, l'âge de la personne de référence et le nombre de personnes du ménage.

### 2.1 DONNÉES DE POLLUTION

Les paramètres mesurés dans le cadre de la CNL sont nombreux [11] ; ils ont été choisis en fonction de leur dangerosité et de leur fréquence d'apparition dans les environnements intérieurs. Les données sur le CO, le benzène et le formaldéhyde ont été utilisées dans ce travail.

Le CO est mesuré en continu à l'aide d'enregistreurs Dräger PAC III munis de capteurs électrochimiques. Les données se présentent avec une fréquence d'intégration des mesures de cinq minutes. Les prélèvements ont lieu dans le séjour, dans toutes les pièces

équipées d'appareils de combustion et à l'extérieur du logement pendant la semaine d'enquête.

Concernant le benzène et le formaldéhyde, les prélèvements sont réalisés par diffusion sur cartouches et par adsorption sur un support adsorbant solide de type Carbograph 4. Les prélèvements sont effectués dans la chambre des parents, à l'extérieur et dans le garage attenant pour le benzène. Les résultats obtenus sont intégrés sur une semaine.


### 2.2 QUESTIONNAIRES

Les données recueillies par questionnaires sont relatives aux caractéristiques des logements : type de logement (maison individuelle, appartement dans un immeuble collectif), l'étage du logement, présence d'un ascenseur dans l'immeuble, statut d'occupation du logement (propriétaire, locataire), ainsi qu'aux personnes occupant le logement : sexe, âge, occupation actuelle, structure du ménage (famille monoparentale, personne seule ou en couple)... Elles ont été obtenues, soit par questionnement de l'occupant en face-à-face, soit par écrit et par observation du technicien enquêteur.

### 2.3 BUDGET ESPACE-TEMPS

Les BET ont été collectés en utilisant un carnet semainier rempli par les occupants et indiquant le temps passé dans les différentes pièces occupées durant la semaine d'enquête (figure 1). Ce carnet était divisé en pas de temps de 10 minutes et détaillait les lieux occupés tout au long de la journée. Au total, 1 375 carnets semainiers renseignaient sept jours consécutifs de BET, ce qui correspond à 9 625 BET journaliers. Chaque BET journalier comprend 144 pas de temps de 10 minutes. Un carnet semainier correspond donc à 1 008 pas de temps de 10 minutes. Au total, la base de données contient 1 386 000 pas de temps de 10 minutes pendant lesquels les personnes ont renseigné leur présence dans l'une des pièces du logement ou à l'extérieur de celui-ci.

Exemple de remplissage d'un semainier individuel



**Prénom :** P. M. Lippé

**Semainier individuel du 17. / 02 au 24. / 02. / 2004.**

DOSSIER : L 6 B 1 D U 3 4

N° INDIVIDUEL : 0.2

CHAMBRE N° : 0.1

Cette journée est :  une journée normale d'activité  
 une journée de congés (dont RTT)  
 une journée particulière (maladie, rendez-vous, garde enfant etc...)

28 FEV. 2004

**1<sup>er</sup> jour 17/02**

**Nuit**

Minuit 0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h Midi

**Matinée**

**Soirée**

Midi 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h Minuit

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	Midi
<b>Lieu de présence</b>													
Ma chambre	27												
Le séjour	20												
La cuisine	27												
La salle de bain (salle d'eau)	29												
Autre pièce	99												
Le garage (s'il est attenant au logement)	50												
Extérieur du logement	90												

	Midi	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Minuit
<b>Lieu de présence</b>														
Ma chambre														
Le séjour														
La cuisine														
La salle de bain (salle d'eau)														
Autre pièce														
Le garage (s'il est attenant au logement)														
Extérieur du logement														

Pour chaque jour, indiquez par des traits gras horizontaux, les lieux que vous avez occupés tout au long de la journée (chambre, séjour, cuisine, salle de bain, ou une autre pièce, le garage, l'extérieur du logement).  
 Pour chaque journée, veuillez à ne pas laisser de zone vide.

## 3. Méthodes

### 3.1 MÉTHODES DE TRAITEMENT DES DONNÉES MANQUANTES

La présence de non-réponse dans les enquêtes est un problème inévitable malgré toutes les précautions que l'on peut apporter à la préparation de l'enquête. On distingue deux types de non-réponse : la non-réponse totale qui survient lorsque l'unité échantillonnée ne répond à aucune des questions posées et la non-réponse partielle qui survient lorsque le manque d'information est limité à certaines variables.

Little et Rubin [17] proposent de distinguer trois mécanismes d'observation des données manquantes. On parle de données manquant complètement au hasard (MCA) lorsque la probabilité de réponse pour la variable d'intérêt  $y$  est la même pour toutes les unités de la population et ne dépend donc ni des variables explicatives ni de la variable d'intérêt  $y$ ; de données manquant au hasard (MA) lorsque la probabilité de réponse pour la variable d'intérêt  $y$  dépend des variables explicatives; et de données manquant non aléatoirement lorsque la probabilité de réponse pour la variable d'intérêt  $y$  dépend de  $y$  ou d'autres variables non étudiées.

Plusieurs approches sont utilisées pour traiter la non-réponse. La modélisation des données complètes est la stratégie la plus courante. Elle consiste à inclure uniquement les répondants pour lesquels les renseignements sont complets. Cette méthode présente néanmoins certains inconvénients. En effet, l'échantillon des répondants dont les renseignements sont complets peut être réduit considérablement conduisant ainsi à une diminution de la puissance et de la précision. Il peut également devenir non représentatif de la population étudiée et fournir ainsi des estimateurs fortement biaisés à moins que les non-réponses surviennent complètement au hasard (MCA). Les deux autres méthodes généralement utilisées pour corriger le biais qu'induit la non-réponse sont la repondération et l'imputation. Lorsque la non-réponse est totale, on utilise en général, la méthode de repondération. Cette technique consiste à faire augmenter le poids des répondants pour compenser la non-réponse. Lorsque celle-ci est partielle, on utilise en général des méthodes d'imputation qui consistent à remplacer les valeurs manquantes par des données "plausibles", en général estimées à partir de celles des répondants. La repondération peut également être utilisée dans le cas de non-réponse partielle mais l'inconvénient est qu'il faut créer un nouveau poids de sondage pour chaque variable d'intérêt contenant des données manquantes. Par rapport aux méthodes de repondération, les méthodes d'imputation simple et multiple ont donc l'avantage de créer une ou plusieurs bases de données complètes avec un jeu de pondérations unique, ce qui donne plus de cohérence aux résultats des différentes analyses réalisées. Parmi les différentes méthodes d'imputation existantes, des simulations ont suggéré que l'imputation multiple est l'une des plus attractives [3,20].

#### 3.1.1 Données manquantes du budget espace-temps

La méthode d'imputation multiple a été utilisée dans ce travail pour corriger le biais dû à la non-réponse au BET. Elle consiste à générer  $M$  bases de données complètes, en utilisant un modèle d'imputation, permettant ainsi de prendre en compte l'incertitude concernant les données manquantes. Chaque base de données complète est analysée séparément par des méthodes standards et fournit  $M$  estimations du paramètre d'intérêt et de sa variance, qui sont ensuite combinées en utilisant la méthode de Rubin [21]. L'estimateur combiné du paramètre d'intérêt est obtenu par la moyenne des  $M$  estimations. La variance combinée de cet estimateur est calculée en prenant en compte la variance intra- et inter-imputation.

Plus le nombre  $M$  d'imputations est grand, plus les estimations sont précises. Le choix de  $M$  dépend cependant du pourcentage de données manquantes. Une étude par simulations [26] montre qu'en présence de 30 % de valeurs manquantes et lorsque l'hypothèse MA est vérifiée, cinq imputations sont suffisantes pour avoir une efficacité de 94 % comparé au cas de données sans valeurs manquantes. En revanche, 10 imputations sont nécessaires pour atteindre cette efficacité lorsque 50 % des données sont manquantes. Ces résultats sont cependant dépendants de la structure des données, du mécanisme des données manquantes et du paramètre estimé. En pratique, on constate qu'on a de bons résultats à partir de cinq imputations sauf si la proportion de données manquantes est élevée. En effet, le poids de la composante inter-imputations est en général beaucoup moins important que celui de la composante intra-imputations [17]. Dans ce travail, le pourcentage de valeurs manquantes sur les BET est inférieur à 10 %, nous avons donc choisi de prendre  $M$ =cinq imputations.

La méthode d'imputation multiple suppose que le mécanisme des valeurs manquantes est MA. Cette hypothèse est cependant invérifiable comme aucune information n'est disponible concernant les valeurs non observées. Cependant, plus il y a de variables explicatives dans le modèle d'imputation, plus l'incertitude sur les données manquantes est réduite et donc plus l'hypothèse MA est vraisemblable [21]. Dans la mesure où le modèle d'imputation est correct, l'estimateur combiné est sans biais. La prise en compte de l'incertitude dans l'imputation des valeurs manquantes permet d'obtenir une estimation correcte de la variance [3]. Cependant, si les valeurs imputées sont traitées comme des valeurs observées, la variance de l'estimateur risque d'être sous-estimée, surtout si la proportion de non-réponses est importante [1].

Dans ce travail, le modèle d'imputation utilisé est un modèle dans lequel la variable dépendante est la présence de l'individu dans l'une des pièces du logement et les variables explicatives sont : les jours de la semaine, l'heure du jour par pas de temps de 10 minutes, la saison, l'âge de l'individu, son sexe et son occupation actuelle, le statut d'occupation du logement et la structure du ménage, la situation géographique du logement (région), son étage, la présence ou non d'un ascenseur dans l'immeuble et l'interaction entre ces deux variables, ainsi que le type du logement. Le programme Imputation by Chained Equation [20] du logiciel Stata® (Stata® 2001) a été utilisé pour faire l'imputation multiple des valeurs manquantes.



### 3.1.2 Données manquantes sur le monoxyde de carbone

Les appareils de mesure du CO n'ont pas été installés dans toutes les pièces du logement mais uniquement dans certaines pièces choisies sur la base de critères tels que la présence d'un appareil à combustion. L'estimation de l'exposition de la population au CO à l'intérieur du logement reposant sur la mise en relation du BET et des concentrations de CO mesurées dans chaque pièce du logement, l'absence d'une des deux variables empêche la quantification de l'exposition.

Il ne s'agit pas d'imputer, pour un logement donné, les concentrations de toutes les pièces non mesurées, mais d'imputer uniquement les concentrations des pièces fréquentées par les occupants un jour donné, à un moment donné. L'utilisation de l'imputation multiple ne nous a pas paru très pertinente dans ce cas compte tenu de la forte proportion de données manquantes, en particulier pour la chambre. Il est plus pertinent d'utiliser les mesures valides réalisées dans les autres pièces du même logement lorsque plusieurs pièces d'un même logement ont été mesurées, ou d'utiliser les mesures valides réalisées dans d'autres logements ayant les mêmes caractéristiques, pour imputer la valeur de CO dans la pièce non mesurée. La procédure d'imputation est décrite dans les deux sections suivantes. Le remplacement des données manquantes de CO n'est pas effectué lorsque les individus sont à l'extérieur ou lorsque le type de pièce est "autre pièce", comme cette catégorie de pièce prend un sens différent dans les deux bases de données (BET et CO).

#### 3.1.2.1 Données manquantes de monoxyde de carbone dans la chambre

Pour la plupart des logements, la chambre n'a pas fait l'objet de mesures de CO. Cette pièce étant la plus fréquentée dans le logement, il est donc nécessaire d'avoir une estimation de la concentration dans la chambre. Des études ont montré que les mesures de CO réalisées dans la chambre sont proches de celles du séjour, en particulier en l'absence d'appareil à combustion dans le séjour [5]. Ceci a été vérifié dans les cinq logements où le CO a été mesuré simultanément dans le séjour et la chambre. Le coefficient de corrélation de Spearman entre les mesures de CO dans la chambre et le séjour est de 0,6 en l'absence d'appareil à combustion dans le séjour ; il est de 0,1 en présence d'un appareil à combustion dans le séjour. La méthode proposée consiste donc à attribuer à la chambre du logement un jour et un pas de temps donnés :

- la concentration du séjour du même logement, pour les logements sans source de combustion dans le séjour ;
- la moyenne des concentrations du séjour et des autres pièces du même logement, pour les logements avec source identifiée de combustion dans le séjour ;
- la concentration de CO dans le séjour (sans source de combustion) d'autres logements du même type (maison/logement collectif), la même saison et le même pas de temps, lorsque dans ce même logement, il n'y a pas eu de mesures de CO dans le séjour.

#### 3.1.2.2 Données manquantes de monoxyde de carbone dans les autres pièces

La méthode du plus proche voisin a été utilisée pour imputer les données manquantes dans les autres pièces que la chambre. Elle consiste à remplacer, par tirage au sort, les données manquantes de CO dans un logement, une pièce, sur une saison et un pas de

temps donnés par une mesure de CO réalisée dans le même type de pièce d'autres logements du même type (maison/logement collectif), la même saison et le même pas de temps. Par exemple, remplacer une mesure manquante dans un séjour, par une mesure tirée au sort parmi les mesures des séjours appartenant à d'autres logements du même type.

### 3.1.3 Données manquantes sur le benzène et formaldéhyde

Les appareils de mesure de ces deux polluants ont été installés principalement dans la chambre. Aucune mesure n'a été réalisée dans d'autres pièces, pourtant fréquentées par les occupants du logement (séjour, cuisine, salle de bain...). Il n'est donc pas possible d'attribuer à chaque personne la concentration de la pièce qu'il a fréquentée, hormis la chambre. L'exposition à ces deux polluants sera donc estimée uniquement dans cette pièce. Les mesures effectuées dans le garage attendant pour le benzène sont peu nombreuses et ne permettent pas une représentation au niveau de la population d'étude.

Les données manquantes des deux polluants mesurés dans la chambre sont peu fréquentes et ont été imputées par la méthode du plus proche voisin : la mesure manquante de la chambre est remplacée par une mesure tirée au sort parmi les mesures de la chambre des autres logements du même type.

Les mesures sont effectuées principalement dans la chambre des parents. Pour estimer l'exposition de la population d'étude à ces polluants, il est donc fait l'hypothèse que les concentrations de ces polluants dans la chambre des enfants sont du même ordre de grandeur que celles réalisées dans la chambre des parents.

## 3.2 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Pour répondre aux objectifs de ce travail, différentes analyses statistiques ont été réalisées. Ces dernières prennent en compte le plan de sondage (résultats pondérés) de l'étude et ont nécessité l'utilisation des logiciels R<sup>®</sup> [19] et SAS<sup>®</sup> [23]. R<sup>®</sup> propose un package (Survey) permettant d'analyser des données issues d'un plan de sondage complexe et d'estimer les variances par la méthode du bootstrap [18]. La version 9 de SAS<sup>®</sup> propose également plusieurs procédures permettant d'analyser les données provenant d'échantillons d'enquêtes complexes (procédures Surveyreg, Surveyfreq, Surveymeans).

### 3.2.1 Analyse du profil journalier du budget espace-temps

Cette analyse a pour objectif d'identifier les plages horaires pendant lesquelles les personnes sont plutôt à l'extérieur ou à l'intérieur du logement. Pour cela, un modèle de régression logistique a été utilisé. Dans ce modèle, la probabilité qu'une personne soit à l'extérieur du logement est modélisée en fonction des différents pas de temps de la journée (intervalle de temps de 10 minutes). Les résultats sont exprimés graphiquement sous forme d'odds ratio (OR) de présence à l'extérieur du logement en prenant comme intervalle de temps de référence, minuit (l'intervalle 0h00 à 0h10).

### 3.2.2 Méthode d'estimation de la distribution du temps passé à l'intérieur du logement

Pour estimer la distribution du temps passé à l'intérieur du logement, une approche en deux étapes a été réalisée :

- tout d'abord, identifier les facteurs pouvant influencer le temps passé à l'intérieur du logement ;
- ensuite, estimer la distribution du temps passé à l'intérieur du logement en fonction de ces facteurs.

La première étape a permis d'identifier les variables les plus significativement liées au temps passé au domicile afin d'exprimer la distribution de celui-ci en fonction de ces variables. Cette étape a été réalisée en utilisant un modèle de régression multivariée incluant des variables caractérisant le logement (type de logement, son étage, présence d'un ascenseur dans l'immeuble...), le ménage (type de ménage, sa composition...) et les personnes occupant le logement (âge, sexe, occupation actuelle, région de résidence...). Des variables caractérisant la période de recueil ont été également incluses dans le modèle (jours de la semaine et saison).

La deuxième étape a permis d'estimer la moyenne arithmétique et les différents percentiles du temps passé au domicile en fonction des variables significatives identifiées à la précédente étape.

### 3.2.3 Estimation de l'exposition

L'exposition aux polluants intérieurs a été estimée en utilisant l'approche indirecte. Si N est le nombre de microenvironnements fréquentés pendant une certaine période de temps par l'individu i, alors l'exposition totale de cet individu est calculée par l'équation suivante :

$$E_i = \sum_{m=1}^N C_{im} \times t_{im}$$

où  $C_{im}$  est la concentration du polluant étudié enregistrée dans le microenvironnement m durant la période  $t_{im}$  pendant laquelle l'individu i a fréquenté ce microenvironnement. L'exposition moyenne de cet individu est obtenue en divisant l'exposition totale  $E_i$  par

24 heures si l'on s'intéresse à l'exposition moyenne journalière tout microenvironnement confondu. L'équation 1 fait l'hypothèse d'une homogénéité spatiale et temporelle de la concentration du polluant dans le microenvironnement m pendant la période  $t_{im}$ .

#### 3.2.3.1 Estimation de l'exposition au monoxyde de carbone

Pour estimer l'exposition d'un individu au CO mesuré à l'intérieur du logement, les concentrations mesurées dans les différentes pièces (chambre, séjour, cuisine...) sont multipliées par le temps passé à l'intérieur de ces pièces. Cela revient à faire la liaison entre la base de données contenant les BET et la base de données contenant les concentrations intérieures de CO. La première base de données renseigne le BET des personnes par pas de temps de 10 minutes, cela représente sur l'ensemble de la base 1 386 000 pas de temps. La seconde renseigne la concentration mesurée dans les différentes pièces du logement par pas de temps de cinq minutes. Pour pouvoir faire la liaison entre ces deux bases de données, la base CO a été agrégée par pas de temps de 10 minutes en prenant le maximum des deux mesures réalisées toutes les cinq minutes. Cette valeur maximale est supposée être homogène sur l'intervalle de temps concerné (10 minutes). Les concentrations de CO observées étant très faibles, principalement des zéro, nous avons choisi de prendre la valeur maximale plutôt que la moyenne. Cela représente 1 443 189 mesures de CO par pas de temps de 10 minutes.

#### 3.2.3.2 Estimation de l'exposition au formaldéhyde et benzène dans la chambre

En ce qui concerne le benzène et le formaldéhyde, les concentrations sont mesurées par des tubes à diffusion passive. Les mesures obtenues sont donc intégrées sur une semaine. De plus, l'utilisation des tubes passifs ne permet pas de prendre en compte la variabilité temporelle des mesures sur la semaine. Celle-ci est donc perdue et ne peut donc pas être utilisée dans l'estimation de l'exposition. Partant de ces hypothèses, l'estimation de l'exposition de la population dans la chambre est obtenue de façon grossière, en utilisant le modèle le plus simple, qui consiste à pondérer les concentrations de benzène et formaldéhyde intégrées sur la semaine par le pourcentage de temps passé dans la chambre sur la semaine.

## 4. Résultats I – Estimation du temps passé à l'intérieur du logement

### 4.1 TAUX DE REMPLISSAGE DES BUDGETS ESPACE-TEMPS

#### 4.1.1 Taux de remplissage des carnets semainiers

Les taux de remplissage des carnets semainiers sont présentés dans le tableau 1. Trente-deux pour cent des carnets sont complets (les BET journaliers sont renseignés à 100 %). Soixante-huit pour cent sont incomplets, i.e., présentent des BET non renseignés sur quelques pas de temps. Globalement, les carnets semainiers sont bien remplis avec plus de 81 % renseignés à au moins 90 % et seul 1 % sont renseignés à moins de 10 % (tableau 1).

| TABLEAU 1 |

#### Taux de remplissage des carnets semainiers

	Fréquence	Pourcentage
Semainiers complets	439	32
Semainiers incomplets	936	68
<b>Total</b>	<b>1 375</b>	<b>100</b>
Nombre de semainiers remplis à :		
90 % ou plus	1 112	81
80 % ou plus	1 244	90,5
70 % ou plus	1 277	93
Moins de 10 %	15	1
Moins de 5 %	5	<0,5

La région Alsace se distingue par rapport aux autres régions en ce qui concerne le taux de remplissage des carnets semainiers. En effet, plus de 95 % sont complets. Pour les autres régions, le pourcentage de carnets semainiers complets varie entre 0 % (Aquitaine) et plus de 54 %

(Picardie). Le taux de remplissage des carnets semainiers incomplets est cependant relativement élevé. Par exemple, en Île-de-France, bien que plus de 71 % des carnets semainiers soient incomplets, le taux de remplissage moyen est de 86 %.

#### 4.1.2 Taux de remplissage journalier du budget espace-temps

Sur les 9 625 BET journaliers, 73 % sont renseignés à 100 %. Moins de 5 % sont vides (tableau 2). Le taux de remplissage moyen des BET journaliers incomplets est de 83 % (annexe 1). Il est de 72 % pour trois-quarts des BET journaliers.

| TABLEAU 2 |

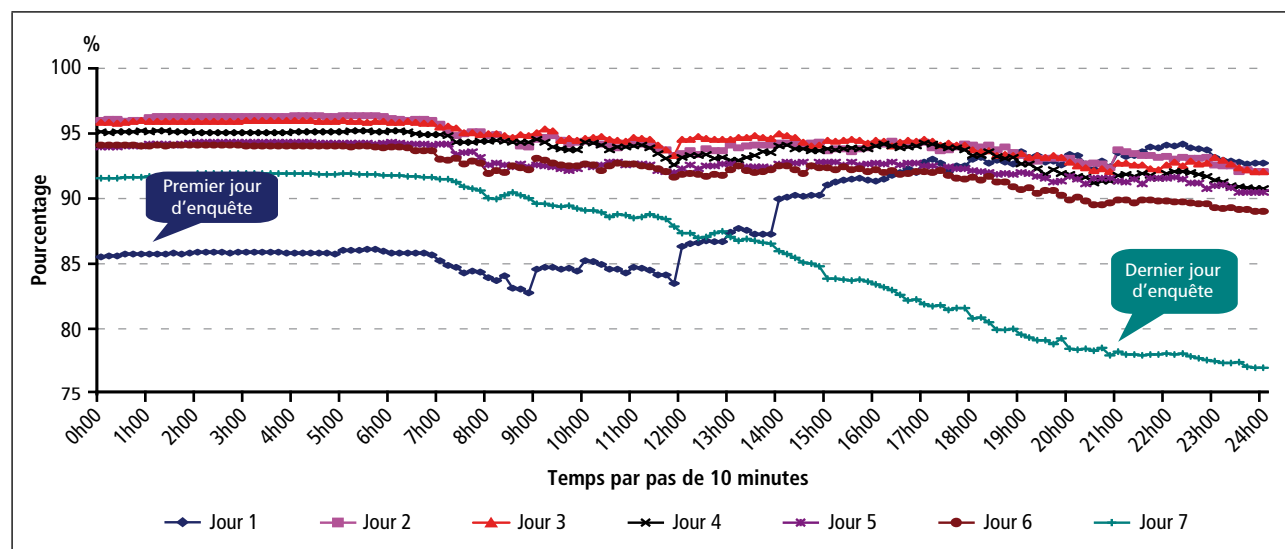
#### Taux de remplissage des budgets espace-temps journaliers

Nombre de BET journaliers	Fréquence	Pourcentage
Complets	7 033	73
Incomplets	2 169	22,5
Vides	423	4,5
<b>Total</b>	<b>9 625</b>	<b>100</b>

Globalement, sur les 1 386 000 pas de temps, 113 888 (8,2 %) sont non renseignés. Les taux de remplissage en fonction du pas de temps sont donc élevés quel que soit le jour d'enquête avec un maximum à 96 % (figure 2). Ils sont cependant un peu plus faibles le premier et le dernier jour d'enquête mais restent suffisamment importants avec un minimum à 77 %.

| FIGURE 2 |

#### Taux de remplissage des budgets espace-temps par pas de temps de 10 minutes en fonction des jours d'enquête



## 4.2 CARACTÉRISTIQUES DES LOGEMENTS OCCUPÉS ET DES MÉNAGES

Cinquante-sept pour cent des logements enquêtés sont des maisons individuelles. Le pourcentage de logements situés sur un étage peu élevé ( $\leq 1$ ) est d'environ 77%. L'ascenseur n'est présent que dans environ 21,2% des immeubles (tableau 3).

| TABLEAU 3 |

### Répartition des logements et des ménages en fonction de leurs caractéristiques

	Fréquence	Pourcentage pondéré	Écart-type du pourcentage
<b>Catégorie de logement</b>			
Maisons individuelles/fermes	313	56,6	4,2
Appartements	206	43,4	4,2
<b>Étage du logement</b>			
0	333	61,8	3,7
1	71	15,4	3,2
2	35	6,0	1,6
3	35	8,0	2,2
4 et plus	45	8,8	2,4
<b>Présence d'un ascenseur dans l'immeuble</b>			
Oui	97	21,2	3,6
Non	422	78,8	3,6
<b>Structure des ménages</b>			
Personne seule	90	30,6	4,8
Familles monoparentales	43	8,4	2,1
Couples	383	60,5	4,5
Autres ménages sans famille	3	0,5	0,4

Les ménages en couple représentent 60,5% des ménages étudiés. Environ 30% sont des ménages avec personne seule. Les familles monoparentales représentent moins de 10% des ménages.

## 4.3 CARACTÉRISTIQUES DE LA POPULATION ÉTUDIÉE

La région parisienne et le bassin parisien sont les plus représentés en termes de personnes enquêtées. L'Est est le moins représenté avec un peu plus de 6% de la population d'étude (tableau 4).

Le pourcentage d'homme dans la population étudiée est d'environ 48%. L'âge moyen est de 38 ans. Il est de 37 ans chez les hommes et 39 ans chez les femmes. Les distributions par classe d'âge et par sexe sont présentées dans la figure 3. La répartition de l'âge en fonction du sexe est globalement similaire. Cependant, les 20-29 ans et 30-39 ans sont plus nombreux chez les hommes. En revanche, les 60 ans et plus sont plus nombreux chez les femmes.

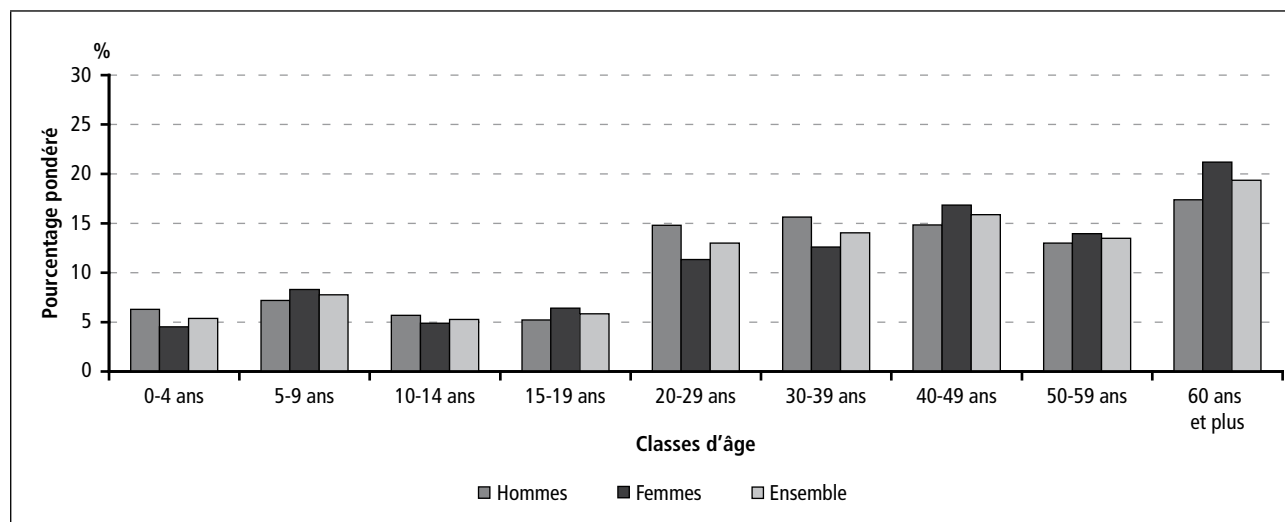
| TABLEAU 4 |

### Répartition géographique de la population étudiée par grande région

Grandes régions	Fréquence	Pourcentage pondéré	Écart-type du pourcentage
Région parisienne	305	19,2	3,0
Bassin parisien	274	24,2	5,2
Nord	108	8,6	5,1
Est	83	6,3	5,3
Ouest	177	11,1	2,8
Sud-Ouest	115	10,3	1,8
Centre-Est	218	11,9	4,0
Méditerranée	95	8,4	3,3
<b>Total</b>	<b>1 375</b>	<b>100,0</b>	

| FIGURE 3 |

### Répartition de la population étudiée en fonction de l'âge et du sexe



Environ 42 % de la population étudiée exerce une profession. 21 % sont des retraités et plus de 23 % des étudiants. Le pourcentage de chômeurs ou de personnes au foyer/inactifs ne dépasse pas les 10 % (tableau 5). Les personnes travaillant au domicile ou dans un local attenant au logement représentent moins de 3 %.

| TABLEAU 5 |

### Répartition de la population étudiée en fonction de l'occupation actuelle

	Fréquence	Pourcentage pondéré	Écart-type du pourcentage
Exercent une profession	595	42,4	2,2
Chômeurs	53	4,5	0,9
Étudiants	396	23,3	2,1
Retraités	206	21,0	2,6
Au foyer/inactifs	125	8,8	1,3
<b>Total</b>	<b>1375</b>	<b>100,0</b>	

## 4.4 TEMPS PASSÉ À L'INTÉRIEUR DU LOGEMENT

La distribution du temps passé à l'intérieur du logement sera présentée sur l'ensemble de la population française et en fonction d'un certain nombre de facteurs. Nous allons d'abord identifier ces derniers et ensuite, exprimer le temps passé à l'intérieur du logement en fonction de ces facteurs.

### 4.4.1 Facteurs influençant le temps passé à l'intérieur du logement

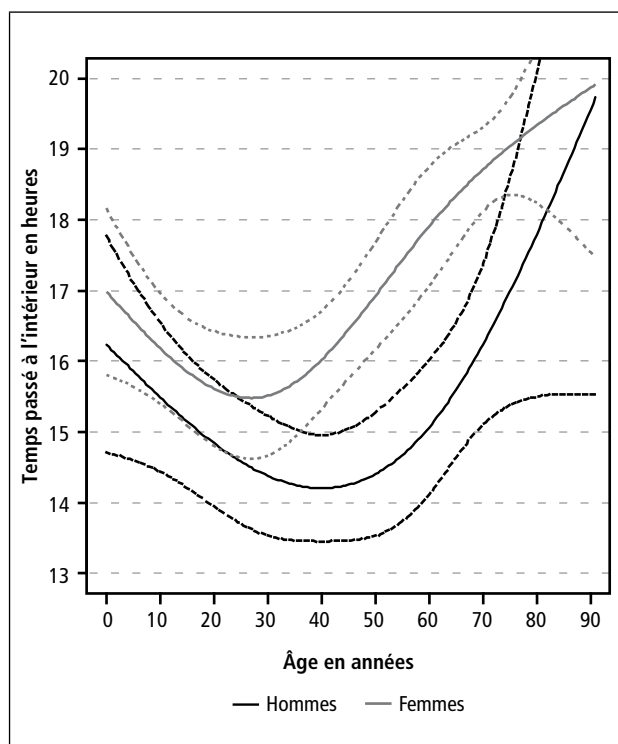
Les facteurs influençant le temps passé au domicile ont été identifiés en utilisant un modèle de régression multivariée incluant des variables caractérisant le logement, le ménage, les personnes occupant le logement et des variables caractérisant la période de recueil. Parmi l'ensemble de ces variables, l'âge, le sexe et leur interaction, la région de résidence, la saison et leur interaction ainsi que les jours de la semaine sont significativement liés au temps passé à l'intérieur du logement (tableau 6). L'occupation actuelle est également significativement liée au temps passé à l'intérieur du logement. Elle présente cependant une forte colinéarité avec l'âge et n'a pas été incluse dans le modèle final. La distribution du temps passé au domicile sera cependant présentée en fonction de cette variable.

La relation entre le temps passé au domicile et l'âge est non linéaire et a été modélisée par une fonction spline à trois degrés de liberté

(figure 4). Chez les hommes, le nombre d'heures passées à l'intérieur du logement est décroissant entre 0 et 40 ans, puis augmente avec l'âge. De même chez les femmes pour lesquelles la décroissance s'observe jusqu'à 30 ans.

| FIGURE 4 |

### Temps en heures passé à l'intérieur du logement en fonction du sexe et de l'âge



Pour simplifier la présentation des résultats, une variable catégorielle de l'âge a été introduite dans le modèle multivarié. Les résultats sont présentés dans le tableau 6 qui montre que :

- chez les hommes, les garçons âgés entre 0 et 4 ans passent plus de temps au domicile que les personnes plus âgées à l'exception des 60 ans et plus ;
- chez les femmes, les filles âgées entre 0 et 4 ans passent plus de temps au domicile que les personnes âgées entre 10 et 29 ans. En revanche, elles passent moins de temps au domicile que les personnes âgées de 60 ans et plus ;
- les personnes résidant dans le Nord passent plus de temps au domicile que celles résidant dans l'Ouest, le Sud-Ouest et le Centre-Est, en particulier en été ;
- par rapport au dimanche, les personnes passent moins de temps au domicile le vendredi et, dans une moindre mesure, le lundi.

**Facteurs influençant le temps passé à l'intérieur du logement (résultats pondérés)**

	Coefficient	Écart-type	T-test	Pr(> t )
(Intercept)	18,59	0,89	20,82	p<0,0001
<b>Hommes</b>				
0-4 ans	0,00			
5-9 ans	-3,14	1,30	-2,42	0,023
10-14 ans	-1,37	0,77	-1,79	0,086
15-19 ans	-2,81	1,24	-2,28	0,032
20-29 ans	-2,48	1,04	-2,39	0,025
30-39 ans	-2,94	0,74	-3,97	0,001
40-49 ans	-2,12	0,78	-2,73	0,012
50-59 ans	-2,93	0,97	-3,00	0,006
60 ans et plus	-0,27	0,97	-0,28	0,781
<b>Femmes</b>				
0-4 ans	0,00			
5-9 ans	-1,46	1,01	-1,45	0,154
10-14 ans	-2,46	0,80	-3,08	0,004
15-19 ans	-2,71	0,77	-3,51	0,001
20-29 ans	-2,24	1,17	-1,91	0,063
30-39 ans	-0,40	0,86	-0,46	0,646
40-49 ans	-0,43	0,89	-0,48	0,633
50-59 ans	-0,51	0,94	-0,54	0,594
60 ans et plus	1,83	0,89	2,07	0,046
<b>Été</b>				
Nord	0,00			
Bassin parisien	-1,16	0,81	-1,43	0,164
Est	-0,20	1,23	-0,17	0,869
Ouest	-2,22	0,82	-2,71	0,012
Sud-Ouest	-1,49	0,56	-2,66	0,013
Centre-Est	-1,94	0,95	-2,05	0,051
Méditerranée	-1,73	1,30	-1,33	0,194
Région parisienne	-0,93	0,78	-1,19	0,244
<b>Hiver</b>				
Nord	0,00			
Bassin parisien	-0,97	0,66	-1,47	0,151
Est	-1,30	1,01	-1,28	0,209
Ouest	-1,40	1,29	-1,08	0,286
Sud-Ouest	-0,08	0,67	-0,12	0,902
Centre-Est	-2,30	0,96	-2,40	0,022
Méditerranée	0,11	0,82	0,13	0,896
Région parisienne	-0,58	0,90	-0,65	0,522
<b>Jours de la semaine</b>				
Dimanche	0,00			
Lundi	-0,50	0,27	-1,84	0,078
Mardi	-0,62	0,37	-1,67	0,107
Mercredi	-0,05	0,34	-0,15	0,880
Jeudi	-0,49	0,38	-1,29	0,210
Vendredi	-0,83	0,36	-2,29	0,031
Samedi	-0,31	0,32	-0,95	0,352

## 4.4.2 Distribution du temps passé à l'intérieur du logement

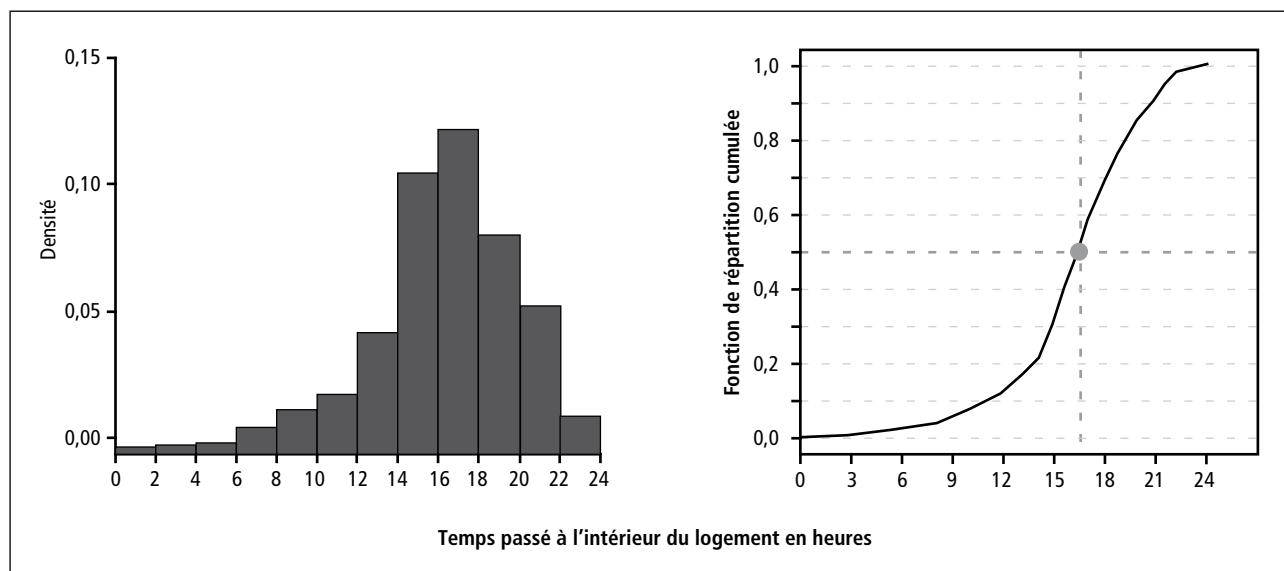
d'étude. En moyenne sur la semaine, la moyenne arithmétique est de 16 h 10 min. La médiane est de 16 h 29 min par jour. Un quart de la population passe plus de 18 h 50 min au domicile (tableau 7).

### 4.4.2.1 Sur l'ensemble de la population

La figure 5 présente la distribution moyenne sur la semaine du temps passé à l'intérieur du logement en heures sur l'ensemble de la population

| FIGURE 5 |

#### Distribution pondérée du temps passé à l'intérieur du logement sur l'ensemble de la population (moyenne sur la semaine)



### 4.4.2.2 En fonction des facteurs significatifs

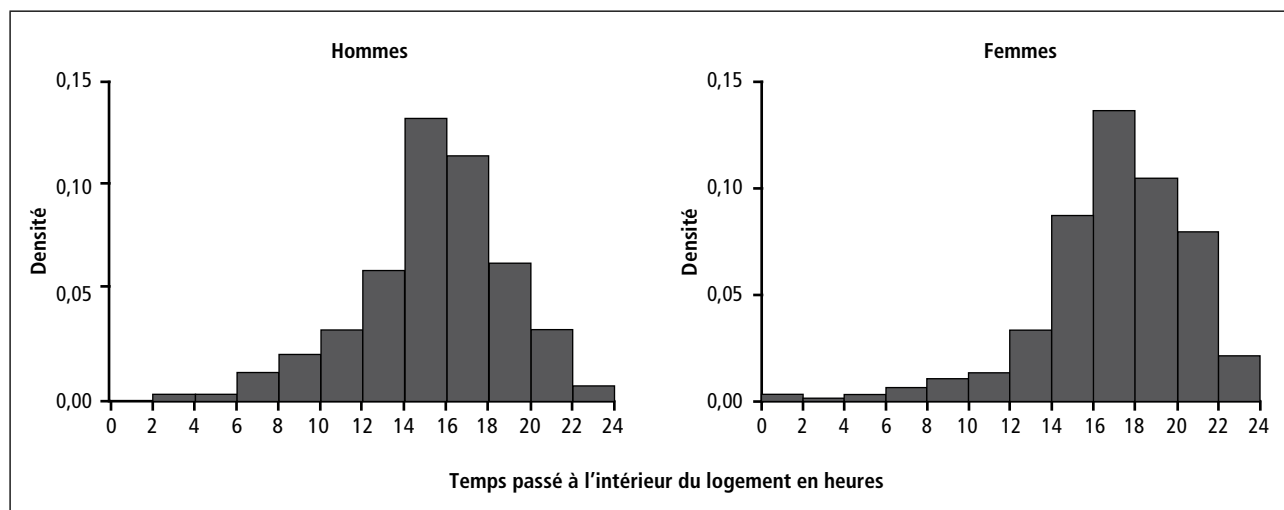
#### ► Sexe, âge, occupation actuelle et saison

La distribution du temps passé au domicile en fonction du sexe est présentée dans la figure 6. En moyenne sur la semaine, les femmes passent 17 h par jour dans le logement, les hommes y passent 15 h 13 min. Les médianes sont respectivement de 17 h 16 min et 15 h 31 min (tableau 7). Un quart des femmes passe plus de 19 h 30 min à l'intérieur du logement, alors qu'un quart des hommes y passent plus de 17 h 36 min.

Chez les hommes, les 0 à 4 ans et les 60 ans et plus restent le plus souvent à l'intérieur du logement avec une moyenne sur la semaine de l'ordre de 17 h. Chez les femmes, ce sont ces mêmes groupes d'âge qui se distinguent avec des moyennes respectivement de 17 h 40 min et 19 h 16 min. On observe aussi, en moyenne, que les femmes âgées entre 30 et 59 ans passent un peu plus de 17 h au domicile alors que les hommes y passent environ 14 h et 30 min (tableau 7).

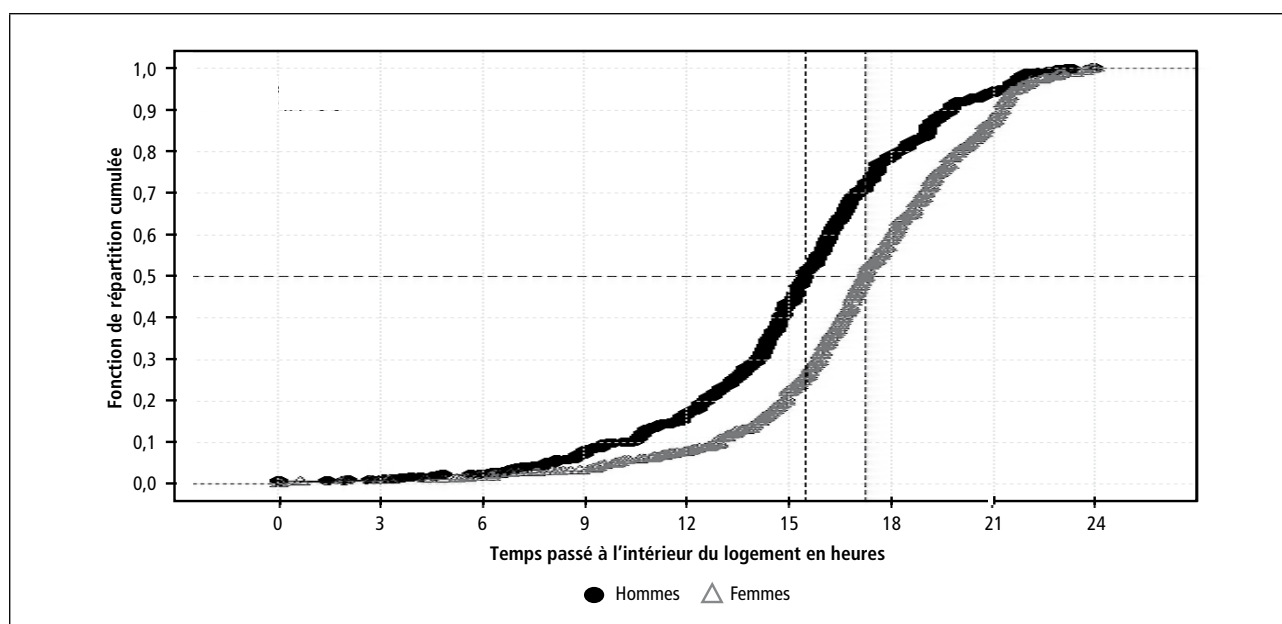
| FIGURE 6 |

#### Distribution pondérée du temps passé à l'intérieur du logement par sexe (moyenne sur la semaine)



| FIGURE 6 |

**Distribution pondérée du temps passé à l'intérieur du logement par sexe (moyenne sur la semaine) (suite)**



| TABLEAU 7 |

**Temps en heures passé à l'intérieur du logement en fonction du sexe, de l'âge, de l'occupation et de la saison (moyenne sur la semaine, résultats pondérés)**

		Moyenne arithmétique	Écart-type de la moyenne	Min.	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>95</sub>	Max.
<b>Ensemble de la population</b>		16,16	0,21	0,00	14,40	16,48	18,83	21,57	24,00
<b>Sexe</b>									
	Hommes	15,22	0,28	0,00	13,42	15,51	17,60	21,48	24,00
	Femmes	17,03	0,23	0,00	15,40	17,26	19,50	21,81	24,00
<b>Classes d'âge</b>									
	<b>Sexe</b>								
0-4 ans	<b>Hommes</b>	17,17	0,63	6,69	14,71	17,49	19,40	21,39	21,98
5-9 ans		14,06	1,26	3,12	10,74	15,66	16,78	18,73	20,71
10-14 ans		15,73	0,54	0,00	15,19	16,03	16,83	20,58	22,29
15-19 ans		14,42	1,05	0,00	12,57	14,23	16,59	19,90	22,88
20-29 ans		14,63	0,72	1,93	12,44	14,90	16,78	21,04	24,00
30-39 ans		14,32	0,57	2,07	12,72	14,76	15,82	19,15	22,90
40-49 ans		15,13	0,54	2,69	12,93	15,17	16,64	21,06	23,02
50-59 ans		14,40	0,63	0,00	12,60	14,62	16,46	18,23	23,26
60 ans et plus		17,07	0,85	0,00	16,07	17,98	19,76	21,81	22,36
0-4 ans	<b>Femmes</b>	17,66	0,75	3,24	16,12	17,46	20,36	22,40	23,67
5-9 ans		16,19	0,49	4,88	15,02	16,66	17,33	19,17	20,76
10-14 ans		15,11	0,82	1,93	14,82	16,15	17,10	18,53	23,40
15-19 ans		14,67	0,62	1,86	12,82	15,38	16,83	19,99	21,60
20-29 ans		15,22	0,87	0,00	14,13	16,08	17,92	20,02	22,10
30-39 ans		17,21	0,44	9,26	15,83	17,26	18,89	21,43	24,00
40-49 ans		16,99	0,42	5,88	15,30	16,86	19,17	21,68	22,17
50-59 ans		17,03	0,61	5,64	14,48	17,58	19,74	21,55	23,93
60 ans et plus		19,26	0,32	6,26	17,82	19,81	21,29	22,85	23,83
<b>Occupation actuelle</b>									
	Exercent une profession	15,18	0,27	0,00	13,52	15,29	16,95	21,09	24,00
	Chômeurs	16,82	1,10	3,36	15,93	18,03	19,75	22,70	23,36
	Étudiants	15,23	0,37	0,00	14,22	16,06	17,30	19,87	24,00
	Retraités	18,25	0,42	0,00	16,99	19,03	20,83	21,99	23,83
	Au foyer/inactifs	18,06	0,40	1,93	16,61	18,36	20,43	21,98	23,67
<b>Saison</b>									
	Automne	16,41	0,24	0,00	14,62	16,64	19,07	21,42	24,00
	Été	15,64	0,40	0,00	13,43	15,83	17,97	21,82	24,00
	Hiver	16,90	0,36	0,62	15,48	17,31	19,50	21,75	23,93
	Printemps	15,84	0,43	0,00	14,19	16,21	18,26	21,56	23,67

Été=juin-août, hiver=décembre-février, printemps=mars-mai, automne=septembre-novembre.



Les personnes actives passent en moyenne sur la semaine un peu plus de 15 h au domicile. Les retraités et les personnes inactives y passent en moyenne plus de 18 h (tableau 7). Un quart de ces derniers y passent plus de 20 h. Un gradient été/hiver est observé avec un temps moyen passé au domicile de 15 h 38 min en été (médiane=15 h 50 min) et environ 17 h en hiver (médiane=17 h 19 min).

#### › Jour de la semaine

Le nombre d'heures passées au domicile varie également en fonction du jour de la semaine (tableau 8). C'est le dimanche (moyenne=16 h 34 min, médiane=17 h 40 min), le samedi (moyenne=16 h 16 min, médiane=17 h 10 min) et le mercredi (moyenne=16 h 30 min, médiane=16 h 40 min) où la population passe le plus de temps au domicile.

| TABLEAU 8 |

### Temps en heures passé à l'intérieur du logement en fonction des jours de la semaine (résultats pondérés)

Jours de la semaine	Moyenne arithmétique	Écart-type de la moyenne	Min.	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>95</sub>	Max.
Vendredi	15,74	0,28	0,00	13,00	16,00	19,50	23,17	24,00
Lundi	16,05	0,27	0,00	13,67	16,17	19,83	23,50	24,00
Samedi	16,27	0,35	0,00	14,00	17,17	20,50	23,83	24,00
Dimanche	16,56	0,34	0,00	14,50	17,67	20,83	24,00	24,00
Jeudi	16,08	0,27	0,00	13,33	16,17	19,67	23,33	24,00
Mardi	15,93	0,25	0,00	13,50	15,83	19,50	23,33	24,00
Mercredi	16,50	0,25	0,00	13,83	16,67	20,17	23,33	24,00

#### › Région

Quelle que soit la région, le temps passé au domicile est plus élevé en hiver qu'en été (tableau 9). En été, c'est la région Nord qui se distingue avec une moyenne sur la semaine du temps passé à l'intérieur du

logement de 17 h 19 min. En hiver, ce sont les régions Nord, Sud-Ouest, Méditerranée et Est qui se distinguent avec temps moyens et médians passés à domicile les plus élevés.

| TABLEAU 9 |

### Temps en heures passé à l'intérieur du logement en fonction de la zone d'études et d'aménagement du territoire et de la saison (moyenne sur la semaine, résultats pondérés)

Grandes régions	Saison	Moyenne arithmétique	Écart-type de la moyenne	Min.	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>95</sub>	Max.
Région parisienne	Été	15,83	0,71	0,05	13,95	15,95	18,38	21,60	23,36
Bassin parisien		15,67	0,66	3,36	13,29	16,07	17,76	21,27	24,00
Nord		17,32	0,52	9,55	15,64	16,82	18,70	21,74	22,95
Est		16,38	0,84	0,00	14,93	15,61	17,65	22,15	23,67
Ouest		14,87	0,57	0,00	13,06	15,40	17,38	20,46	21,93
Sud-Ouest		15,63	0,17	5,64	11,93	16,61	18,96	22,32	22,88
Centre-Est		15,43	1,02	0,00	12,65	15,95	18,76	21,83	23,71
Méditerranée		15,34	1,25	3,90	12,64	16,50	17,63	21,42	21,57
Région parisienne	Hiver	16,68	0,62	1,93	14,76	16,48	19,08	21,39	24,00
Bassin parisien		16,30	0,41	0,62	14,64	16,75	19,11	21,48	23,07
Nord		17,49	0,80	6,62	16,52	17,26	19,99	21,69	23,02
Est		16,75	1,10	4,33	14,42	17,31	19,34	21,42	22,88
Ouest		16,35	1,34	3,64	14,80	16,31	19,01	22,09	23,67
Sud-Ouest		17,42	0,19	4,76	15,58	17,85	19,47	21,15	23,93
Centre-Est		15,58	0,58	0,00	13,76	16,02	18,23	21,31	23,83
Méditerranée		17,66	0,91	7,60	17,27	17,94	19,71	20,66	21,81

Été=mars-août, hiver=septembre-février.

## 5. Résultats II – Exposition au monoxyde de carbone à l'intérieur du logement

Le BET ayant été présenté dans la section précédente, il reste à décrire les concentrations de CO dans le logement. Ces résultats sont issus de l'enquête réalisée dans le cadre de l'OQAI. Des résultats plus détaillés sont dans le rapport de l'OQAI [11].

### 5.1 NIVEAUX DE CONCENTRATIONS DE MONOXYDE DE CARBONE MESURÉES DANS LES LOGEMENTS

La figure 7 présente la distribution des valeurs de CO enregistrées dans les logements enquêtés par l'OQAI. Environ 90 % des valeurs sont nulles. Sur les 934 868 mesures valides de CO, seules 1 069 dépassent les 20 ppm ; 61 % de ces dernières ne dépassent pas les 30 ppm.

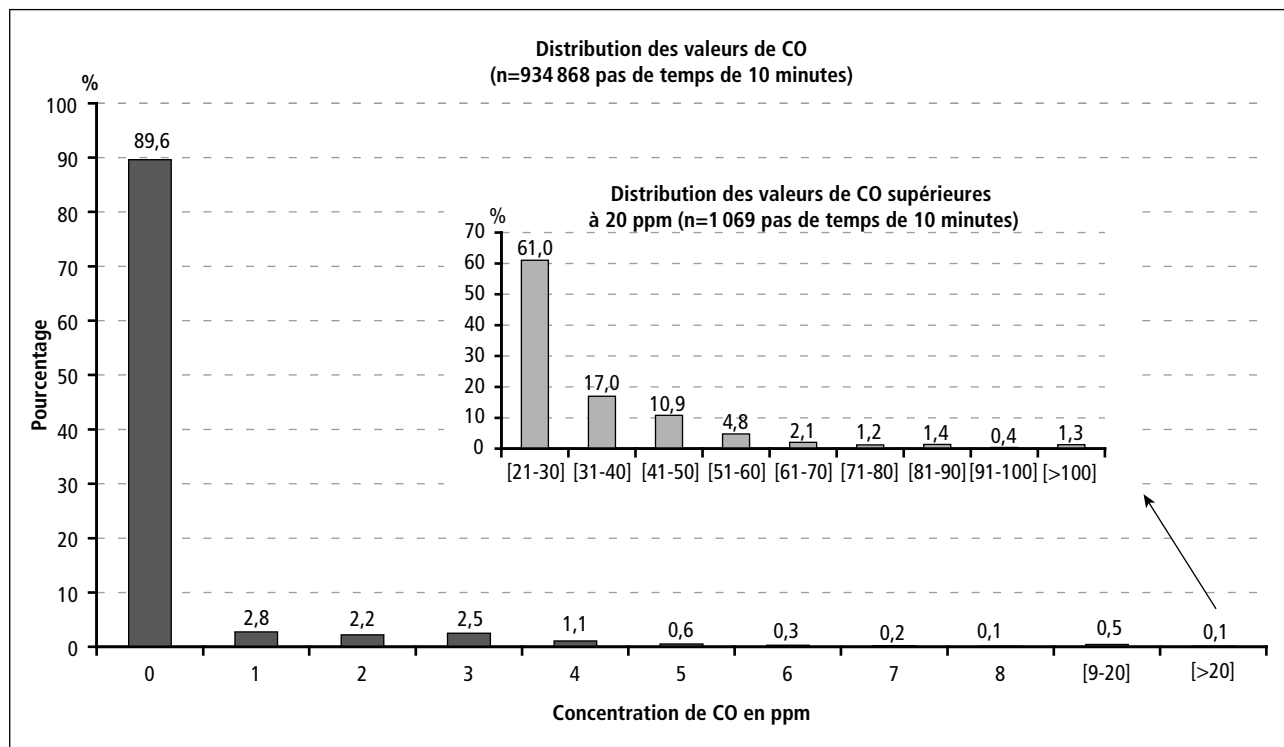
Sur les 10 % de valeurs de CO supérieures à 0, la plupart sont enregistrées dans la cuisine (42 %), le séjour (37 %), et le garage attenant (10 %). Parmi les 1 069 valeurs supérieures à 20 ppm, 34 % sont enregistrées dans la cuisine, 25 % dans le séjour et 16 % dans le garage attenant.

Le profil journalier des concentrations de CO à l'intérieur du logement est présenté dans la figure 8. Les concentrations moyennes de CO enregistrées entre minuit et 8h00 du matin et entre 14h30 et 18h30 sont au-dessous de la moyenne journalière. Le reste du temps (à partir de 8h00 jusqu'à 14h30 et à partir de 18h30 jusqu'à environ minuit) les concentrations moyennes sont au-dessus de la moyenne journalière. Le même rythme journalier est observé par pièce du logement (annexe 2) sauf pour les concentrations mesurées hors du logement et dans le garage attenant (figure 9) pour lequel des valeurs supérieures à la moyenne journalière sont principalement enregistrées de 7h30 à 12h30 avec une période de pic de CO entre 8h20 et 8h40.

Ces résultats montrent que les concentrations de CO mesurées dans les logements enquêtés par l'OQAI varient en fonction du temps et de l'activité des occupants du logement. Elles sont cependant faibles en moyenne sur une journée et l'on s'attend à ce que l'exposition quotidienne au CO de la population étudiée le soit également.

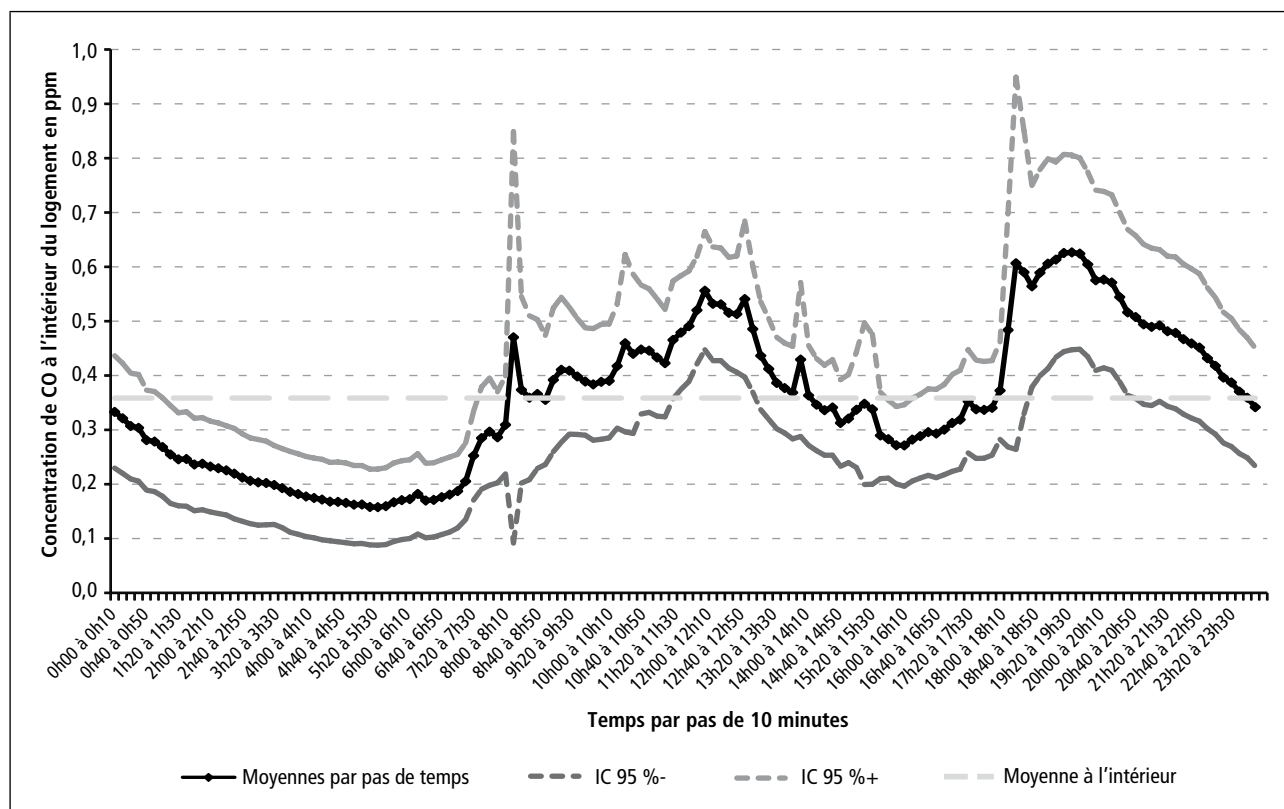
FIGURE 7 |

#### Distribution des valeurs de monoxyde de carbone enregistrées dans les différentes pièces du logement par pas de temps de 10 minutes



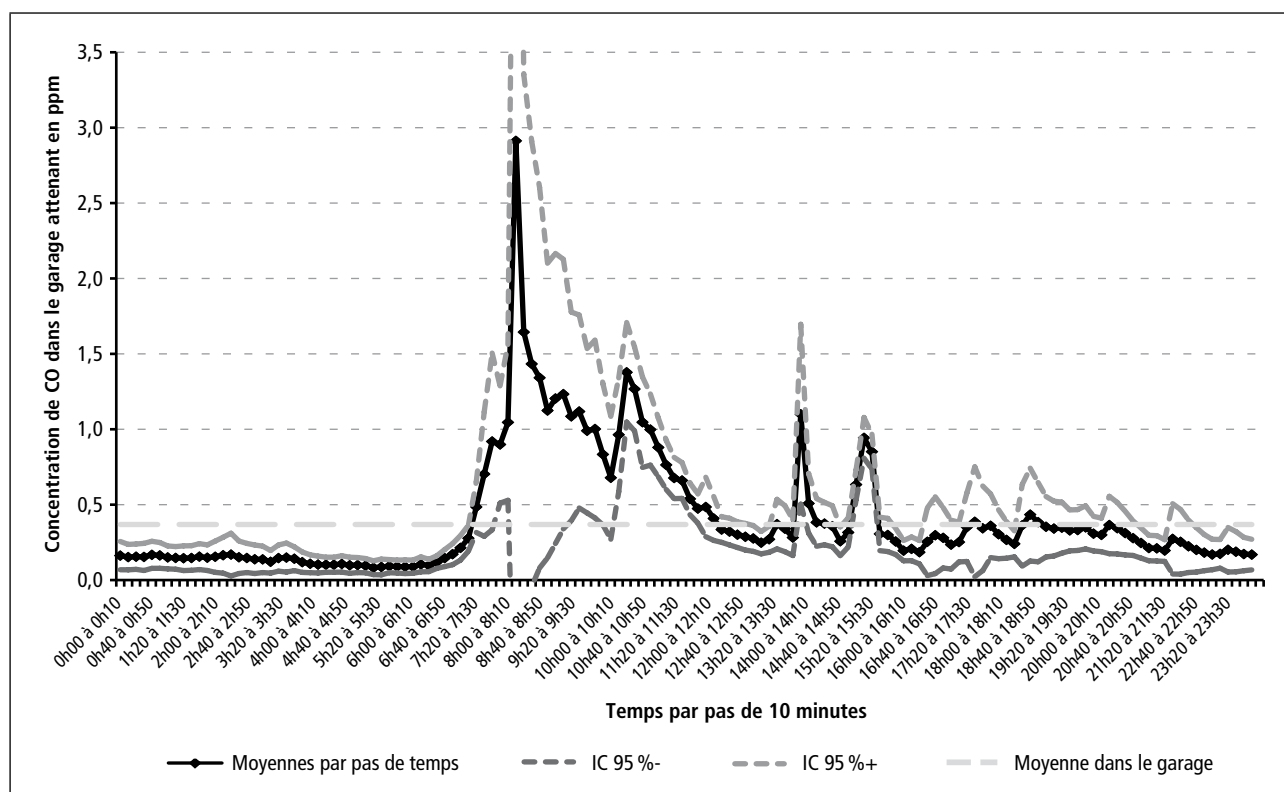
| FIGURE 8 |

### Concentration moyenne de monoxyde de carbone présent à l'intérieur du logement en fonction du temps (résultats pondérés)

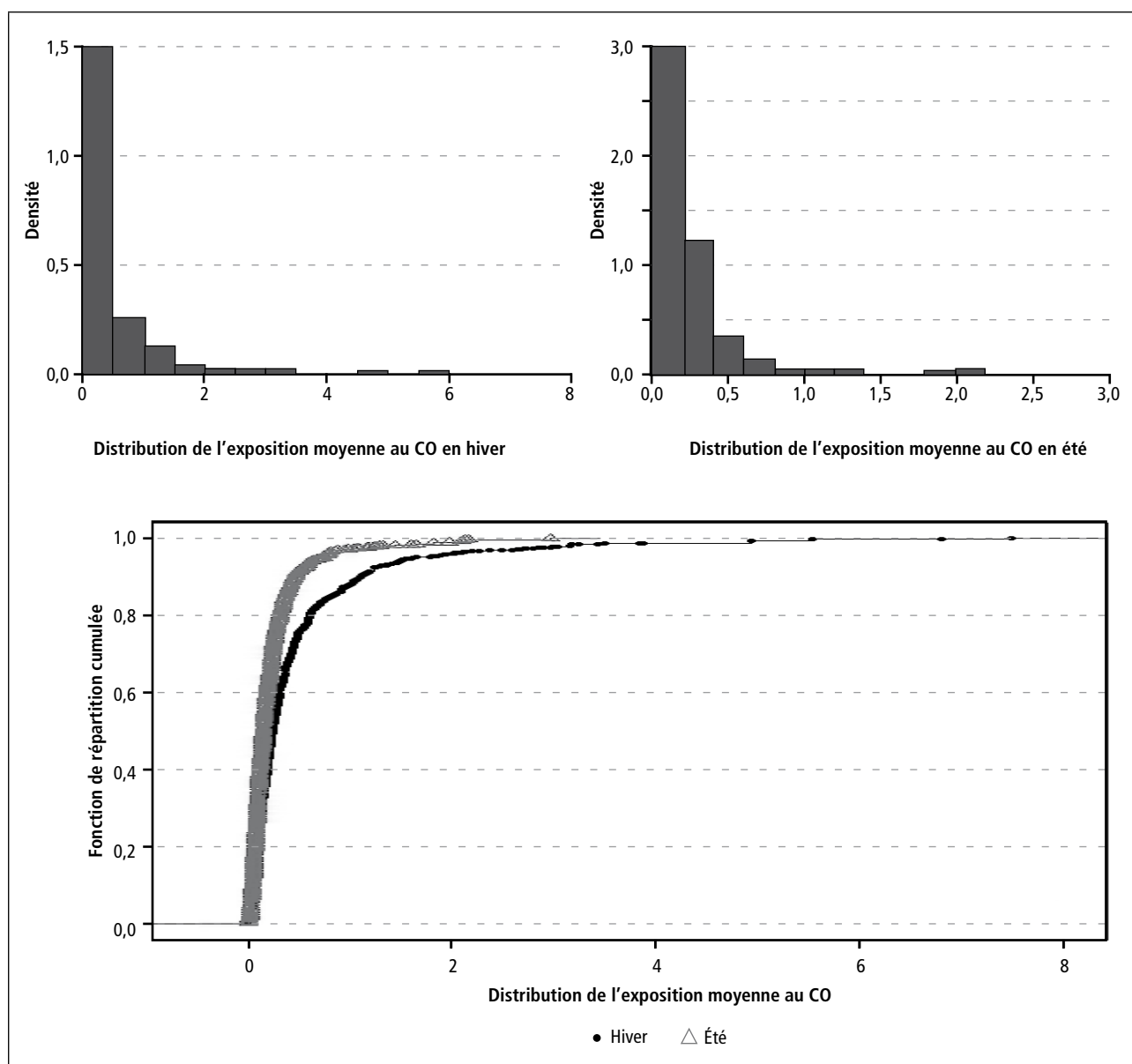


| FIGURE 9 |

### Concentration moyenne de monoxyde de carbone présent dans le garage attenant en fonction du temps (résultats pondérés)



### Distribution pondérée de l'exposition moyenne au monoxyde de carbone en ppm en fonction de la saison



## 5.2 EXPOSITION DE LA POPULATION AU MONOXYDE DE CARBONE PRÉSENT À L'INTÉRIEUR DU LOGEMENT

Le calcul de l'exposition pose problème lorsqu'il n'est pas possible d'attribuer à chaque personne son exposition dans chacune des pièces fréquentées un jour et un pas de temps donnés. Cela arrive lorsqu'une personne est dans une des pièces du logement et que cette pièce n'a pas de mesure de CO. C'est pourquoi l'imputation des données permet de palier ce manque en utilisant les mesures réalisées dans les autres pièces du même logement ou des autres logements du même type pour imputer la valeur de CO dans la pièce non mesurée.

Le nombre de pièces avec mesure valide de CO varie entre une et quatre pièces selon les logements. Dans 86 % des logements, une (45 %) ou deux pièces (42 %) ont été mesurées. Dans 12 % des logements, trois pièces ont été mesurées et moins de 1 % des logements ont quatre pièces mesurées.

Lorsqu'une seule pièce du logement est mesurée, cette pièce est souvent le séjour ou la cuisine. Dans quelques logements, c'est le garage attenant ou la cave. Lorsque deux pièces du logement sont mesurées, ces pièces sont souvent le séjour et la cuisine, ou le garage attenant avec le séjour ou la cuisine...

L'examen de la base de données des mesures de CO montre, par exemple, que seules 0,4 % des mesures ont été réalisées dans la chambre. D'autre part, la chambre est la pièce la plus fréquentée avec 38 % des pas de temps journaliers. Par conséquent, lorsque les personnes sont dans la chambre, au plus 0,4 % des pas de temps seront couverts par une mesure valide de CO.

Enfin, les appareils de mesure de CO ont été placés dans les logements à un moment  $t$  le premier jour d'enquête. Par conséquent, le premier jour n'est couvert que partiellement par des mesures de CO (il n'y a pas de mesures de CO avant le moment  $t$  de mise en fonction de l'appareil). La même observation est faite pour le dernier jour de l'enquête pour lequel il n'y a pas de mesure après le moment  $t$  d'enlèvement de l'appareil de mesure.

L'imputation des données manquantes de CO dans la chambre a permis d'attribuer une valeur de CO à 67 % des pas de temps manquants dans la chambre. La plupart des valeurs imputées sont nulles (un peu plus de 90 %). Le reste des valeurs imputées varient entre 1 et 24 ppm (41 ppm pour les logements avec source identifiée de combustion dans le séjour).

L'imputation par la méthode du plus proche voisin a permis de substituer le reste des données manquantes. La plupart des valeurs imputées sont nulles (93 % pour la chambre, 84 % pour les autres pièces). Le reste des valeurs imputées varient entre 1 et 61 ppm pour la chambre (311 ppm pour les autres pièces).

## 5.2.1 Distribution de l'exposition au monoxyde de carbone

L'exposition de la population d'étude au CO est estimée par la méthode indirecte qui consiste à pondérer les concentrations de CO mesurées

toutes les 10 minutes dans les différents microenvironnements fréquentés par le BET des individus.

La distribution de l'exposition de la population étudiée au CO à l'intérieur du logement est présentée en fonction du sexe et de l'âge, mais aussi de certaines caractéristiques du logement (fumer ou non dans le logement, énergie utilisée pour le chauffage/chauffe-eau et la cuisson, et une combinaison de ces caractéristiques). Tous les résultats ont été présentés en fonction de la saison (hiver=octobre à mars, été=avril à septembre).

Pour chaque individu, l'exposition moyenne sur la semaine a été calculée. Ensuite, la distribution de ces expositions moyennes individuelles est présentée dans le tableau 10. Globalement, l'exposition moyenne de la population d'étude au CO est faible. Elle est toujours plus élevée en hiver (moy.=0,49; max.=7,49 ppm) qu'en été (moy.=0,24 ppm; max.=2,97). Elle est légèrement plus élevée chez les femmes et les 20-29 ans. Les 0-4 ans semblent les moins exposés en moyenne (tableau 10a).

| TABLEAU 10 |

### Distribution pondérée de l'exposition moyenne sur la semaine de la population d'étude au monoxyde de carbone à l'intérieur du logement (en ppm)

(a) Sur l'ensemble de la population et en fonction du sexe et de l'âge									
	Saison	Moyenne arithmétique	Écart-type	Min.	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>95</sub>	Max.
	Été	0,24	0,02	0,00	0,08	0,15	0,27	0,74	2,97
	Hiver	0,49	0,05	0,00	0,12	0,24	0,49	1,62	7,49
<b>Sexe</b>									
Hommes	Été	0,23	0,03	0,00	0,07	0,14	0,26	0,74	2,97
Femmes		0,25	0,03	0,00	0,09	0,16	0,28	0,63	2,13
Hommes	Hiver	0,40	0,05	0,00	0,11	0,21	0,42	1,29	6,81
Femmes		0,57	0,05	0,00	0,13	0,28	0,58	2,05	7,49
<b>Classes d'âge</b>									
0-4 ans	Été	0,16	0,05	0,00	0,04	0,08	0,14	0,46	1,30
5-9 ans		0,19	0,05	0,01	0,07	0,12	0,23	0,43	1,98
10-14 ans		0,17	0,04	0,01	0,07	0,12	0,21	0,43	0,74
15-19 ans		0,26	0,04	0,00	0,10	0,18	0,27	0,75	1,60
20-29 ans		0,29	0,05	0,00	0,06	0,14	0,30	0,74	2,97
30-39 ans		0,26	0,07	0,01	0,08	0,14	0,29	0,99	1,83
40-49 ans		0,27	0,04	0,01	0,12	0,17	0,27	0,63	2,17
50-59 ans		0,23	0,06	0,01	0,09	0,17	0,28	0,60	1,18
60 ans et +		0,23	0,03	0,02	0,09	0,15	0,26	0,65	2,13
0-4 ans	Hiver	0,38	0,14	0,00	0,09	0,16	0,41	1,31	2,85
5-9 ans		0,44	0,23	0,00	0,05	0,12	0,36	1,98	6,81
10-14 ans		0,43	0,19	0,00	0,08	0,22	0,42	1,05	7,49
15-19 ans		0,45	0,11	0,03	0,10	0,21	0,41	1,74	3,84
20-29 ans		0,74	0,12	0,00	0,15	0,36	1,03	3,03	3,88
30-39 ans		0,51	0,08	0,02	0,12	0,22	0,44	1,58	5,54
40-49 ans		0,35	0,05	0,00	0,12	0,24	0,41	1,05	2,91
50-59 ans		0,46	0,10	0,03	0,13	0,23	0,49	1,50	3,15
60 ans et +		0,50	0,05	0,02	0,14	0,30	0,57	1,21	4,95
<b>Fumer dans le logement</b>									
Non	Été	0,19	0,02	0,00	0,07	0,13	0,23	0,48	2,17
Oui		0,31	0,03	0,01	0,10	0,18	0,35	0,95	2,97
Non	Hiver	0,44	0,05	0,00	0,11	0,23	0,46	1,27	5,54
Oui		0,58	0,10	0,00	0,13	0,28	0,64	2,09	7,49

**Distribution pondérée de l'exposition moyenne sur la semaine de la population d'étude au monoxyde de carbone à l'intérieur du logement (en ppm) (suite)**

<b>(b) En fonction du tabagisme dans le logement et de l'énergie de chauffage et de cuisson</b>									
	Saison	Moyenne arithmétique	Écart-type	Min.	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>95</sub>	Max.
<b>Type de chauffage/chauffe-eau</b>									
Énergie fossile	Été	0,24	0,02	0,00	0,09	0,16	0,27	0,64	2,97
Énergie électrique		0,21	0,07	0,00	0,05	0,10	0,29	0,79	0,88
Énergie fossile	Hiver	0,50	0,06	0,00	0,12	0,25	0,49	1,58	7,49
Énergie électrique		0,51	0,17	0,00	0,11	0,24	0,46	1,92	3,44
Non renseigné	Été	0,33	0,05	0,00	0,10	0,17	0,38	1,24	2,99
<b>Énergie de cuisson</b>									
Énergie fossile	Été	0,25	0,03	0,00	0,08	0,15	0,28	0,78	2,97
Énergie électrique		0,20	0,04	0,01	0,09	0,16	0,23	0,48	1,32
Énergie fossile	Hiver	0,53	0,06	0,00	0,13	0,26	0,57	1,89	7,49
Énergie électrique		0,34	0,09	0,00	0,10	0,18	0,36	1,28	3,44
<b>Énergie chauffage/chauffe-eau et cuisson</b>									
Énergie fossile	Été	0,24	0,02	0,00	0,09	0,15	0,27	0,74	2,97
Énergie électrique		0,20	0,06	0,03	0,08	0,11	0,28	0,49	0,59
Énergie fossile	Hiver	0,51	0,06	0,00	0,12	0,25	0,49	1,62	7,49
Énergie électrique		0,45	0,25	0,04	0,10	0,17	0,30	1,91	3,44
Non renseigné	Été	0,33	0,05	0,00	0,10	0,17	0,38	1,24	2,99
<b>Énergie chauffage/chauffe-eau et cuisson et tabac dans le logement</b>									
Énergie fossile	Été	0,24	0,03	0,00	0,09	0,15	0,27	0,74	2,97
Énergie électrique <sup>a</sup>		0,15	0,06	0,03	0,05	0,10	0,14	0,39	0,47
Énergie fossile	Hiver	0,51	0,06	0,00	0,12	0,25	0,49	1,65	7,49
Énergie électrique <sup>a</sup>		0,36	0,28	0,04	0,10	0,17	0,27	1,86	1,93
Non renseigné	Été	0,33	0,05	0,00	0,10	0,17	0,38	1,24	2,99

<sup>a</sup> Sans tabac dans le logement.

L'exposition moyenne est légèrement plus élevée lorsque les occupants fument à l'intérieur du logement. En revanche, bien que les valeurs maximales des expositions moyennes individuelles soient plus élevées dans les logements où l'énergie de chauffage est de type fossile par rapport aux logements où l'énergie de chauffage est électrique, elles sont en moyenne du même ordre de grandeur. Lorsque l'énergie de cuisson est de type fossile, l'exposition moyenne est relativement plus élevée, en particulier en hiver. Enfin, les individus vivant dans des logements où l'énergie de chauffage et de cuisson est de type fossile et dans lesquels on fume à l'intérieur sont en moyenne plus exposés au CO (tableau 10b).

Le pourcentage de personnes dont l'exposition moyenne glissante dépasse les valeurs guides fixées par l'Organisation mondiale de la santé au moins une fois par semaine a été également calculé (tableau 11). Ces valeurs guides sont de 87 ppm sur 15 min, 52 ppm sur 30 min, 26 ppm sur 1 h et 9 ppm sur 8 h. Il n'existe pas de valeur guide sur 10 minutes, aussi celle sur 15 minutes a été utilisée.

Quel que soit l'intervalle de temps considéré, le pourcentage de personnes dont l'exposition dépasse les valeurs guides au moins une fois par semaine est plus élevé en hiver qu'en été. Ce pourcentage varie entre 1,4 % pour le seuil de 87 ppm et 3,9 % pour le seuil de 9 ppm.

Ce pourcentage est également plus élevé chez les femmes en hiver (tableau 11) : par exemple, 5,1 % des femmes sont exposées au moins une fois par semaine à des valeurs de CO moyennées sur 8 h supérieures à 9 ppm, contre 2,4 % des hommes. En fonction de l'âge, les dépassements des valeurs guides élevées sont plus fréquents chez les adultes en hiver.

Le pourcentage de personnes dépassant les valeurs guides de 9 et 26 ppm au moins une fois par semaine en hiver est plus élevé lorsque des personnes du ménage ou d'autres personnes fument régulièrement à l'intérieur du logement (tableau 12).

**Pourcentage pondéré de personnes dépassant les valeurs guide de l'Organisation mondiale de la santé de monoxyde de carbone au moins une fois par semaine sur l'ensemble de la population et en fonction du sexe et de l'âge**

	Saison	CO – 8 heures >9 ppm	CO – 1 heure >26 ppm	CO – 30 minutes >52 ppm	CO – 10 minutes >87 ppm
	Été	1 % (0,004)	0,1 % (0,001)	0,1 % (0,001)	0,1 % (0,001)
	Hiver	3,9 % (0,012)	2,8 % (0,008)	1,5 % (0,006)	1,4 % (0,006)
<b>Sexe</b>					
Hommes	Été	1,4 % (0,007)	0,1 % (0,002)	0,1 % (0,002)	0,1 % (0,002)
Femmes		0,6 % (0,001)	0,1 % (0,002)	0,1 % (0,002)	0,1 % (0,002)
Hommes	Hiver	2,4 % (0,014)	1,7 % (0,01)	1 % (0,009)	0,7 % (0,008)
Femmes		5,1 % (0,011)	3,7 % (0,01)	1,9 % (0,009)	1,9 % (0,009)
<b>Âge</b>					
0-4 ans	Été	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
5-9 ans		1,1 % (0,003)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
10-14 ans		0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
15-19 ans		4,9 % (0,024)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
20-29 ans		2,6 % (0,012)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
30-39 ans		0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
40-49 ans		1,2 % (0,002)	0,7 % (0,006)	0,7 % (0,006)	0,7 % (0,006)
50-59 ans		0,6 % (0,01)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
60 ans et +		0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
0-4 ans	Hiver	1,1 % (0,015)	1,1 % (0,015)	0 % (0)	0 % (0)
5-9 ans		4,7 % (0,05)	4,7 % (0,05)	0 % (0)	0 % (0)
10-14 ans		1,7 % (0,022)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
15-19 ans		4,1 % (0,041)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
20-29 ans		6,4 % (0,024)	1,7 % (0,016)	0 % (0)	0 % (0)
30-39 ans		4,3 % (0,016)	3,5 % (0,007)	0 % (0)	0 % (0)
40-49 ans		1,6 % (0,013)	1 % (0,015)	0 % (0)	0 % (0)
50-59 ans		5,9 % (0,037)	2,8 % (0,024)	1,8 % (0,021)	0,9 % (0,016)
60 ans et +		3,2 % (0,013)	6 % (0,026)	6 % (0,026)	6 % (0,026)

Concernant l'énergie utilisée pour le chauffage/chauffe-eau, aucune personne résidant dans un logement dont l'énergie de chauffage/chauffe-eau est électrique ne dépasse pas les valeurs guides que ce soit en été ou en hiver. En revanche, dans les logements dont l'énergie de chauffage/chauffe-eau est de type fossile, le pourcentage de personnes dépassant les valeurs guides au moins une fois par semaine varie entre 0,2 et 1,2 % en été et entre 1 et 5,4 % en hiver.

Pour la cuisson, le contraste entre les deux types d'énergie, bien que faible, est surtout visible en été lorsque le chauffage n'est pas utilisé. En effet, aucune personne résidant dans un logement dont l'énergie de cuisson est électrique ne présente une exposition dépassant les valeurs guides en été. Lorsque l'énergie de cuisson est de type fossile, le pourcentage de personnes dont l'exposition dépasse les valeurs guides au moins une fois par semaine varie entre 0,1 et 1,2 %.

**Pourcentage pondéré de personnes dépassant les valeurs guides de l'Organisation mondiale de la santé de monoxyde de carbone au moins une fois par semaine en fonction du tabagisme dans le logement et de l'énergie de chauffage et de cuisson**

	Saison	CO – 8 heures >9ppm	CO – 1 heure >26 ppm	CO – 30 minutes >52 ppm	CO – 10 minutes >87 ppm
<b>Fumer dans le logement</b>					
Non	Été	1,3 % (0,006)	0,1 % (0,001)	0,1 % (0,001)	0,1 % (0,001)
Oui		0,6 % (0,001)	0,1 % (0,002)	0,1 % (0,002)	0,1 % (0,002)
Non	Hiver	3 % (0,013)	2,7 % (0,008)	1,7 % (0,008)	1,7 % (0,008)
Oui		5,4 % (0,024)	3,1 % (0,018)	1,2 % (0,012)	0,8 % (0,011)
<b>Type de chauffage/chauffe-eau</b>					
Énergie fossile	Été	1,2 % (0,002)	0,2 % (0,002)	0,2 % (0,002)	0,2 % (0,002)
Énergie électrique		0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
Énergie fossile	Hiver	5,4 % (0,015)	3,2 % (0,008)	1,2 % (0,005)	1 % (0,004)
Énergie électrique		0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
Non renseigné	Été	1,1 % (0,013)	1,5 % (0,013)	1,5 % (0,013)	1,5 % (0,013)
<b>Énergie de cuisson</b>					
Énergie fossile	Été	1,2 % (0,004)	0,1 % (0,001)	0,1 % (0,001)	0,1 % (0,001)
Énergie électrique		0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
Énergie fossile	Hiver	4,5 % (0,016)	2,6 % (0,009)	1 % (0,004)	0,9 % (0,003)
Énergie électrique		1,9 % (0,015)	3,7 % (0,025)	3,1 % (0,024)	3,1 % (0,024)
<b>Énergie chauffage/chauffe-eau et cuisson</b>					
Énergie fossile	Été	1,1 % (0,001)	0,2 % (0,002)	0,2 % (0,002)	0,2 % (0,002)
Énergie électrique		0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
Énergie fossile	Hiver	4,9 % (0,014)	2,9 % (0,008)	1,1 % (0,004)	0,9 % (0,003)
Énergie électrique		0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
Non renseigné	Été	1,1 % (0,013)	1,5 % (0,013)	1,5 % (0,013)	1,5 % (0,013)
<b>Énergie chauffage/chauffe-eau et cuisson et tabac dans le logement</b>					
Énergie fossile	Été	1,1 % (0,001)	0,2 % (0,002)	0,2 % (0,002)	0,2 % (0,002)
Énergie électrique <sup>a</sup>		0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
Énergie fossile	Hiver	4,9 % (0,014)	2,8 % (0,008)	1,1 % (0,004)	0,9 % (0,003)
Énergie électrique <sup>a</sup>		0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)	0 % (0)
Non renseigné	Été	1,1 % (0,013)	1,5 % (0,013)	1,5 % (0,013)	1,5 % (0,013)

<sup>a</sup> Sans tabac dans le logement.

En ce qui concerne l'exposition par pièce du logement, c'est dans les pièces de service (cuisine, salle de bain et le garage attenant) que l'exposition est la plus élevée (tableau 13).

**Distribution pondérée de l'exposition moyenne sur la semaine de la population d'étude au monoxyde de carbone (en ppm) par pièce du logement en fonction de la saison**

Saison	Pièce	Moyenne arithmétique	Écart-type	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>95</sub>	Max.
Été	Chambre	0,15	0,02	0,01	0,04	0,18	0,44	3,40
	Séjour	0,24	0,04	0,00	0,03	0,24	1,24	4,89
	Cuisine/CUS <sup>a</sup>	0,47	0,04	0,07	0,28	0,64	1,28	8,00
	Salle de bain	0,69	0,03	0,35	0,60	0,94	1,57	4,11
	Garage attenant	0,81	0,36	0,00	0,00	0,68	3,15	10,88
Hiver	Chambre	0,23	0,04	0,02	0,07	0,22	0,95	3,78
	Séjour	0,55	0,09	0,00	0,09	0,57	2,33	17,05
	Cuisine/CUS <sup>a</sup>	0,88	0,09	0,17	0,51	0,93	2,94	8,49
	Salle de bain	1,04	0,06	0,45	0,83	1,41	2,63	4,36
	Garage attenant	0,88	0,53	0,00	0,00	0,25	3,57	25,50

Min.=0; <sup>a</sup> CUS: cuisine américaine.



## 6. Résultats III – Exposition au benzène et formaldéhyde dans la chambre

Le tableau 14 présente les concentrations de formaldéhyde et benzène dans la chambre en fonction de la saison.

| TABLEAU 14 |

### Distribution pondérée des concentrations de formaldéhyde et benzène dans la chambre

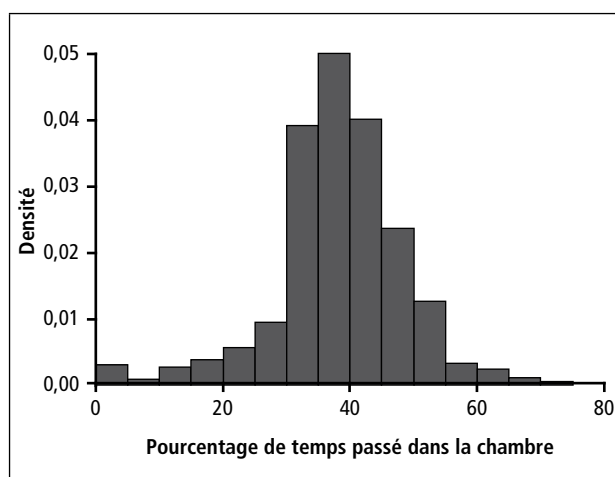
Saison	Moyenne arithmétique	Écart-type	Min.	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>95</sub>	Max.
<b>Formaldéhyde</b>								
Été	25,21	1,65	5,43	15,52	20,84	32,20	57,61	86,33
Hiver	21,58	0,92	1,29	13,99	19,03	28,16	42,83	69,28
<b>Benzène</b>								
Été	2,63	0,59	0,00	0,55	1,55	2,57	7,71	22,78
Hiver	2,96	0,13	0,00	1,51	2,39	3,62	6,95	17,59

L'exposition de la population d'étude au formaldéhyde et benzène dans la chambre est estimée par la méthode indirecte en pondérant les concentrations intégrées sur la semaine par le pourcentage de temps passé dans la chambre (figure 11).

Les distributions de l'exposition de la population au formaldéhyde et benzène sont présentées dans le tableau 15 et la figure 12 en fonction de la saison. Les distributions sont globalement similaires, proches de celle d'une distribution log-normale, avec une exposition légèrement supérieure en été pour le formaldéhyde et inversement pour le benzène.

| FIGURE 11 |

### Pourcentage de temps passé dans la chambre sur la semaine d'enquête

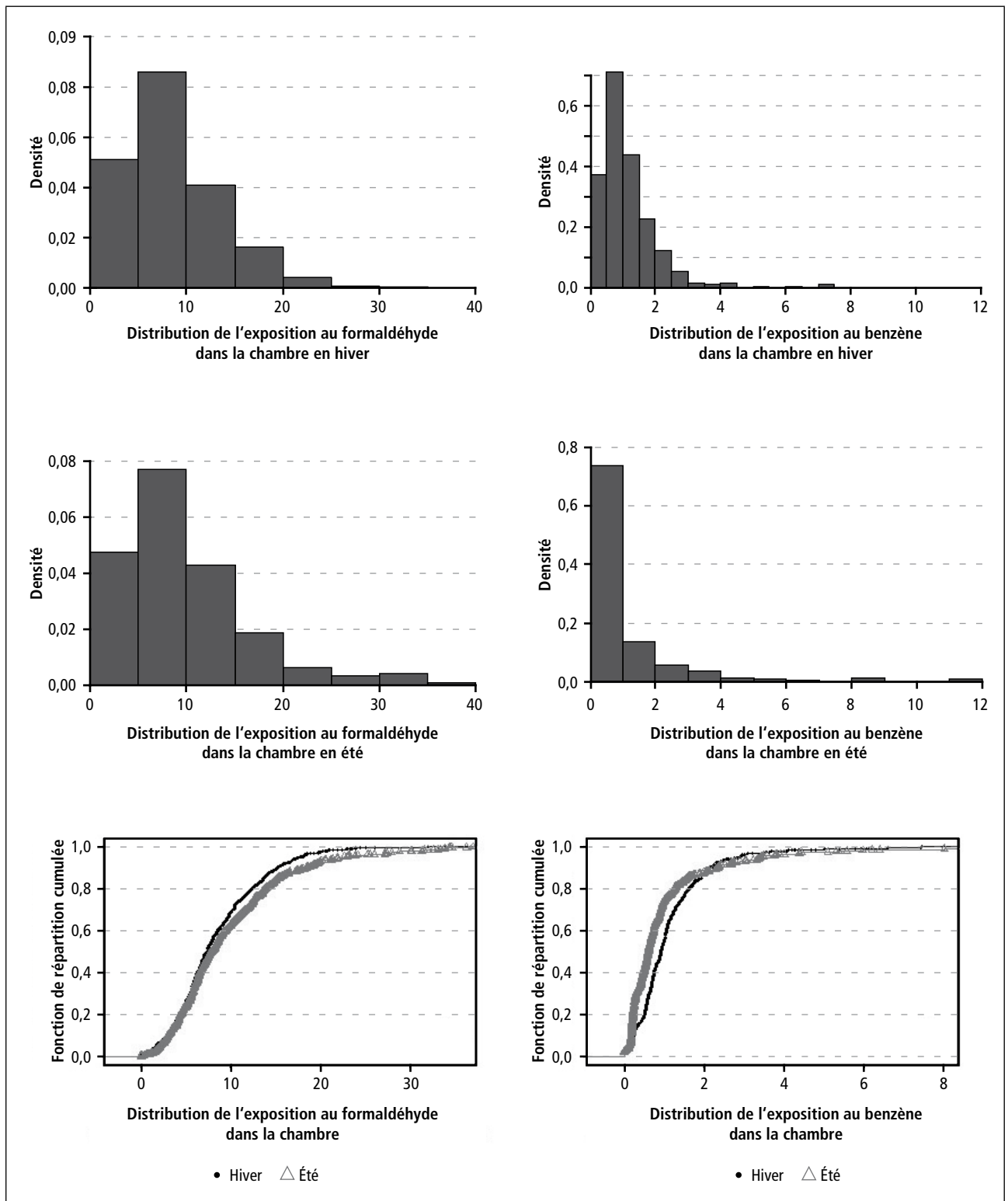


| TABLEAU 15 |

### Distribution pondérée de l'exposition de la population au formaldéhyde et au benzène dans la chambre

Saison	Moyenne arithmétique	Écart-type	Min.	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>95</sub>	Max.
<b>Formaldéhyde</b>								
Été	9,68	0,71	0,03	5,20	7,85	12,60	22,52	37,77
Hiver	8,39	0,40	0,03	4,85	7,43	11,20	17,68	33,16
<b>Benzène</b>								
Été	1,02	0,25	0,00	0,25	0,60	1,03	3,43	11,25
Hiver	1,14	0,05	0,00	0,56	0,92	1,44	2,89	7,45

**Distributions pondérées de l'exposition au formaldéhyde et au benzène dans la chambre**



## 7. Discussion

Effectué dans le cadre de l'OQAI, ce travail s'inscrit en même temps dans le cadre de développements méthodologiques de la démarche d'évaluation des risques par l'InVS, en l'occurrence au sein de l'étape d'estimation des expositions. L'étude menée avait deux objectifs. Le premier était de caractériser la distribution du BET de la population française, c'est-à-dire le temps passé dans chacune des pièces à l'intérieur du logement ; c'est une variable humaine d'exposition nécessaire à renseigner de manière appropriée lors de la construction de scénarios d'exposition. Le deuxième était d'estimer les niveaux d'exposition aux polluants de l'air intérieur de cette même population ; le benzène, le formaldéhyde et le CO ont servi de support pour développer les indicateurs d'exposition appropriés.

### 7.1 LE BUDGET ESPACE-TEMPS

Globalement, il ressort de cette étude qu'en moyenne, les Français passent 67,3 % de leur temps journalier au domicile. Cette proportion est comparable à celle estimée dans d'autres villes européennes de l'étude EXPOLIS (entre 56 et 66 %) et à celle estimée sur la population américaine (68,7 %). Cette estimation ne concerne que le temps passé dans l'habitation principale, le temps passé dans d'autres environnements intérieurs n'est pas considéré dans notre étude.

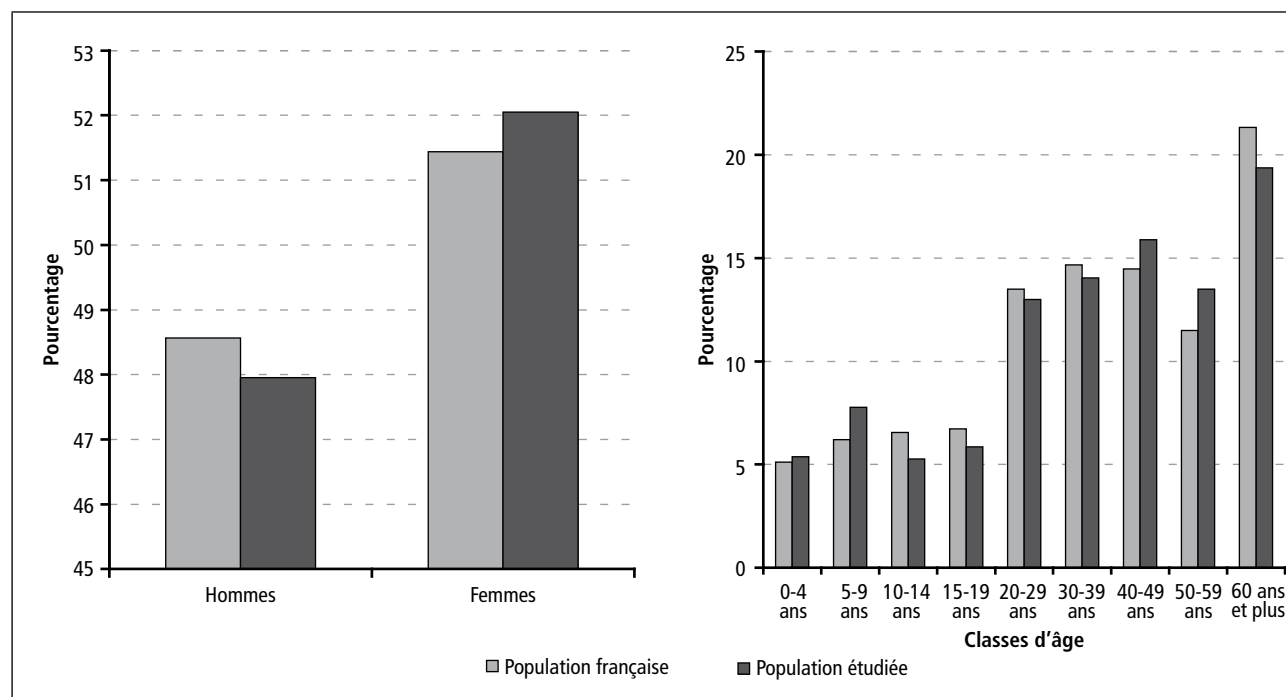
Dans l'étude européenne EXPOLIS, le temps total passé à l'intérieur de locaux au cours d'une journée est estimé entre 92 et 98 %. Dans l'étude américaine NHAPS, ce temps est estimé à 87 % et le temps passé dans un véhicule à 6 %, le reste du temps (7 %) est passé à l'extérieur.

#### 7.1.1 La représentativité des données de population

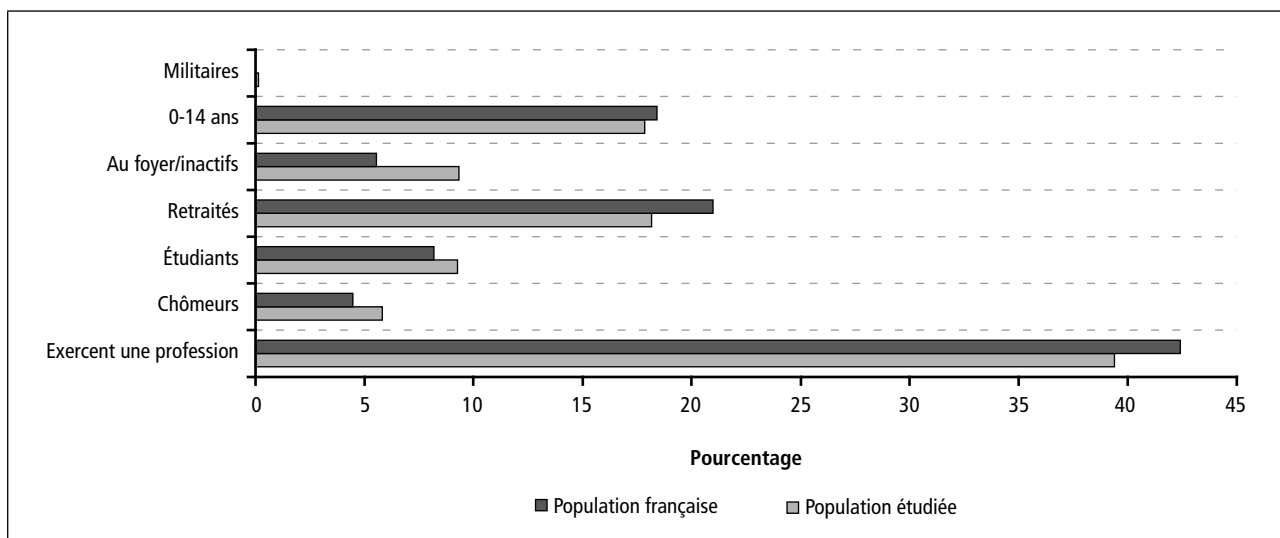
Les données disponibles sont issues de l'enquête logements réalisée sous l'égide de l'OQAI. Le sondage aléatoire utilisé comporte trois degrés et a permis de recueillir un échantillon le plus représentatif possible de la population française. Les caractéristiques de l'échantillon après redressement et celles de la population française métropolitaine, basées sur le recensement de 1999, ont été comparées afin de vérifier si les estimations issues de l'échantillon redressé peuvent être extrapolées à la population française métropolitaine. Cette comparaison a été réalisée en particulier pour certaines caractéristiques de la population potentiellement corrélées au BET telles que l'âge, le sexe, l'activité professionnelle. La figure 13 présente cette comparaison et montre que les répartitions par sexe, par classes d'âge et par occupation professionnelle sont très similaires.

| FIGURE 13 |

#### Comparaison des caractéristiques de l'échantillon redressé et celles de la population française métropolitaine (recensement de 1999)



### Comparaison des caractéristiques de l'échantillon redressé et celles de la population française métropolitaine (recensement de 1999) (suite)



Au-delà de la représentativité de la population qui permet d'extrapoler les résultats obtenus, cette étude présente une complétude tant géographique que temporelle puisque le BET peut être décrit sur une échelle nationale, sur une période incluant plusieurs saisons, pendant une semaine et dans chaque pièce du logement. Les données sont recueillies sur un pas de temps fin de 10 minutes. Enfin, ces données sont récentes (recueil entre 2003 et 2005) et reflètent ainsi le comportement actuel de la population étudiée, son mode de vie, sa façon de se déplacer, etc.

#### 7.1.2 Confrontation des données de budget espace-temps à la littérature

La distribution du temps passé à l'intérieur du logement est déterminée pour l'ensemble de la population; la médiane et la moyenne sont proches, respectivement de 16 h 29 min et 16 h 10 min. Globalement, les résultats des études recensées en France et à l'étranger sont du même ordre de grandeur que ceux de la présente étude (tableau 16) bien que les habitudes de vie puissent être différentes d'un pays à l'autre.

En France, l'enquête emploi du temps de l'Insee [6] avait pour objectif de quantifier la gestion du temps, l'organisation familiale des Français, entre temps de travail, travaux domestiques et loisirs. Elle s'est déroulée entre février 1998 et février 1999 et concerne 16 000 personnes de 15 ans et plus qui ont rempli un carnet d'emploi du temps pour consigner toutes leurs activités quotidiennes. L'étude VESTA [9] avait pour objectif d'apprécier le rôle de la pollution atmosphérique automobile sur le développement de la maladie asthmatique de l'enfant. C'est une étude cas-témoins conduite entre mars 1998 et décembre 2000 dans cinq villes françaises (Grenoble, Nice, Toulouse, Paris, Clermont-Ferrand). Les BET recueillis concernaient 391 enfants âgés de 4 à 14 ans et permettaient de quantifier le temps passé par les enfants dans différents microenvironnements dont le domicile. L'étude Sentinelles de l'air [25] avait quant à elle pour objectif de mieux connaître l'exposition personnelle à la pollution atmosphérique et a été réalisée sur plusieurs sites en France, dont la région

Nord-Pas-de-Calais. Elle concerne 60 adultes volontaires résidant et travaillant dans les communautés urbaines de Lille et de Dunkerque.

Chez les plus de 15 ans, le temps moyen passé au domicile est estimé à environ 15 h dans les enquêtes Insee et OQAI. L'étude Sentinelles de l'air montre que les volontaires passent en moyenne entre 15 et 16 h à l'intérieur de l'habitat. Chez les 4-14 ans, l'estimation du temps passé au domicile est légèrement supérieure dans l'étude VESTA (16 h 12 min) par rapport à l'étude OQAI (15 h 24 min). Chez les 4-6 ans, les estimations sont identiques (16 h 30 min). En revanche, pour les autres classes d'âge, la plus grande différence entre les estimations des deux études est observée chez les 6-10 ans.

À l'étranger, l'étude EXPOLIS réalisée entre 1996 et 2000 [27] avait pour objectif de décrire le BET de populations adultes dans sept villes européennes (Helsinki, Athènes, Bâle, Grenoble, Milan, Prague et Oxford) sur deux jours ouvrés. Le temps moyen passé dans l'habitation principale varie entre 13 h 30 min et 15 h 48 min par jour. Dans l'étude OQAI, le temps moyen passé au domicile par les adultes pendant les jours ouvrés est de 15 h 30 min. Les temps moyens les plus proches de celle de l'étude OQAI sont ceux des villes d'Athènes et d'Oxford. Les plus éloignés sont ceux des villes de Basel et Milan. Sur la ville de Grenoble, le temps moyen passé au domicile est de 14 h 42 min, avec une différence d'environ 50 minutes par rapport à la valeur observée dans l'étude OQAI.

En Amérique du Nord, l'enquête NHAPS, menée entre 1992 et 1994 s'est intéressée aux emplois du temps journaliers de 9 386 américains de tous âges répartis dans 48 États [15]. L'objectif de cette étude était de fournir des informations au niveau national utilisables dans les modèles d'évaluation probabiliste de l'exposition à la pollution atmosphérique. Il ressort de cette étude que la population américaine passe en moyenne 16 h et 12 min à l'intérieur du domicile. Ces résultats sont très proches de ceux de l'étude canadienne CHAPS menée entre 1996 et 1997 sur 2 381 individus [13,15]. Ces deux études donnent des estimations du temps passé à l'intérieur du logement très similaires à celles observées dans l'étude OQAI. La plus grande différence (deux heures en moyenne) est observée pour les moins de 11 ans.

### Comparaison avec les données de la littérature

Étude	Année	Zone d'étude	Période de recueil	Nombre d'individus	Sexe	Âge (année)	Temps domicile (heures)	Temps domicile OQAI (heures)
Enquête Insee	1998-1999	France métropolitaine	7 jours	16 000		15	>15	14,9
VESTA	1998-2000	Cinq villes françaises	7 jours	391		4-14	16,2	15,4
				210	H	4-14	16,3	14,9
				181	F	4-14	16,0	15,8
				121		[4-6[	16,5	16,5
				194		[6-10[	16,2	14,8
			76		[10-14]	15,6	15,1	
Sentinelles de l'air	2003	Nord-Pas-de-Calais	5 jours ouvrés	60		Âge moyen 45 ans	15 à 16	15,5 <sup>a</sup>
EXPOLIS	1996-2000	Ensemble des villes	2 jours ouvrés	1 427		19-60	14,0	15,5 <sup>a</sup>
		Helsinki		430		19-60	13,7	15,5
		Athènes		98		19-60	15,4	15,5
		Basel		320		19-60	13,5	15,5
		Grenoble		100		19-60	14,7	15,5
		Milan		298		19-60	13,5	15,5
		Prague		81		19-60	13,9	15,5
		Oxford		100		19-60	15,8	15,5
NHAPS	1992-1994	États-Unis	7 jours	9 386		0 à >64	16,2	16,2
				7 384		>17	16,0	16,3
				671		11-17	15,2	15,2
				1 126		<11	17,9	16,1
CHAPS	1996-1997	Quatre villes au Canada	7 jours	2 381		0 à >64	16,2	16,2
				1 747		>17	15,7	16,3
				231		11-17	16,4	15,2
				324		<11	18,0	16,1

<sup>a</sup> Estimation sur les jours ouvrés.

### 7.1.3 Les facteurs influençant la distribution

La distribution du BET est significativement influencée par un certain nombre de facteurs. Les résultats de cette étude montrent que ce temps est différent selon le sexe et l'âge et qu'il est également dépendant de la région de résidence, des jours de la semaine, de la saison et de l'activité professionnelle. Ces facteurs influents sont également retrouvés dans la littérature. Il y est également rapporté que le fait de vivre seul ou d'avoir des enfants au domicile sont des facteurs déterminants, mais ces deux derniers facteurs n'ont pas été retrouvés dans notre étude. Ces différences peuvent être plus ou moins importantes selon les facteurs considérés.

Concernant l'influence du sexe, les femmes restent plus de temps au domicile (médiane=17 h 16 min) que les hommes (médiane=15 h 31 min). Parmi les personnes de sexe masculin, les garçons entre 0 et 4 ans et les hommes de 60 ans et plus sont ceux qui passent le plus de temps au domicile (médiane=17 h 29 min et 17 h 59 min, respectivement). Parmi les femmes, celles qui sont âgées de 60 ans et plus restent le plus de temps au domicile (médiane=19 h 49 min) ; viennent ensuite les 0-4 ans (médiane=17 h 28 min) et les 30-59 ans (moyenne des médianes >17 h). Dans l'étude européenne EXPOLIS, l'effet du sexe est qualitativement le même dans les sept villes participantes à l'étude avec un temps plus important passé au domicile pour les femmes. Dans notre étude, l'âge est un

facteur influent et agit de façon non linéaire. Compte tenu de la distribution restreinte de l'âge dans l'étude EXPOLIS, ce dernier n'est pas statistiquement lié au temps passé à l'intérieur du logement. L'effet de l'âge a été cependant retrouvé comme facteur déterminant dans d'autres études européennes [8].

La région de résidence des personnes présente une influence également. Celles vivant dans le Nord passent plus de temps au domicile en été (médiane=16 h 49 min). En revanche, en hiver, le temps médian passé au domicile dépasse les 17 h dans le Nord, l'Est, le Sud-Ouest et en Méditerranée. Ces résultats doivent être relativisés compte tenu de la non-représentativité des données au niveau régional. Dans l'étude NHAPS [13], le temps passé au domicile par la population est relativement invariant à travers les différentes régions des États-Unis (en moyenne).

En ce qui concerne les jours de la semaine, les personnes passent plus de temps au domicile le week-end (médiane supérieure à 17 h). La différence avec le temps passé à l'intérieur du logement les jours ouvrés n'est pas très importante (un peu plus d'une heure), cela est probablement dû au fait que les week-ends, les personnes passent également une bonne partie du temps journalier dans d'autres activités à l'extérieur du logement. La variabilité journalière du temps passé au domicile est également constatée dans d'autres études [7,27]. Elle n'a pas été étudiée dans l'étude NHAPS, le recueil des données ayant été fait sur un jour. C'est également en hiver que les personnes restent le

plus de temps à l'intérieur de leur domicile (médiane=17 h 19 min). Dans la plupart des villes participantes à EXPOLIS, la saison est également un facteur déterminant.

Concernant, l'activité professionnelle, les personnes inactives passent plus de temps au domicile (médiane >18 h) que les personnes actives (médiane=15 h 40 min en moyenne); c'est également le cas dans l'étude européenne EXPOLIS.

## 7.2 L'ESTIMATION DE L'EXPOSITION

Un individu passe la majeure partie de son temps quotidien dans des environnements intérieurs, en particulier son habitation principale. L'estimation de son exposition à la pollution intérieure peut être nécessaire à plusieurs titres. D'une part, elle permet d'investiguer des situations où l'exposition peut être préoccupante ou suite à l'observation d'une augmentation de l'incidence d'une maladie liée à un facteur présent à l'intérieur. D'autre part, elle permet de fournir des données de base pour réaliser des évaluations de risque sanitaire au sein d'une population ou d'un groupe d'individus et de limiter les erreurs de classification dans les études épidémiologiques [10].

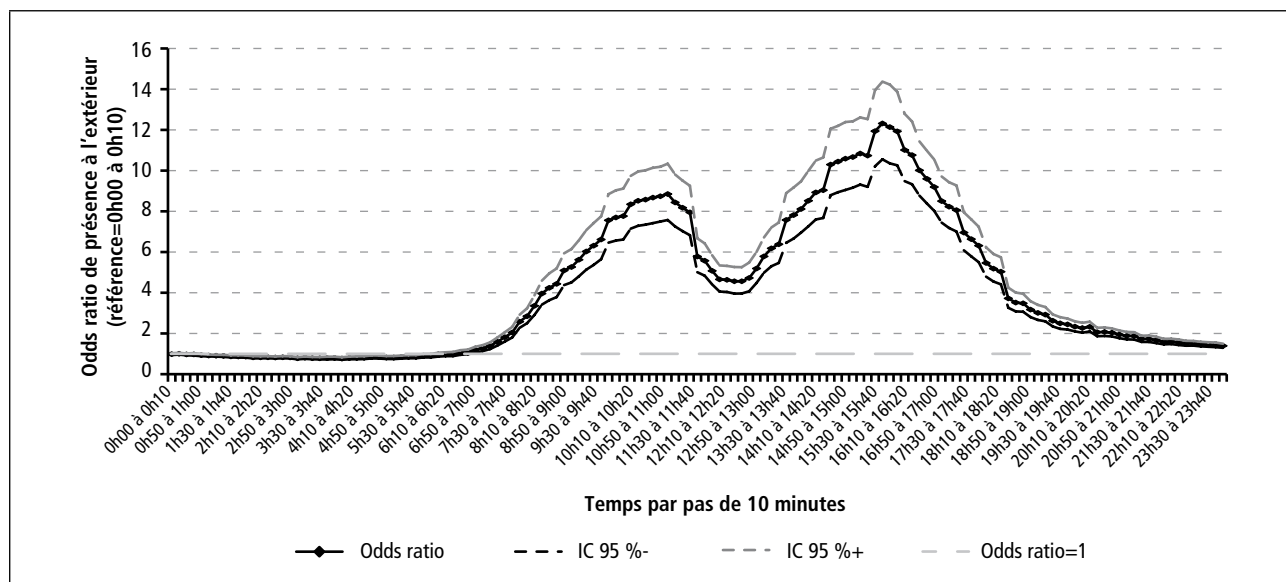
L'approche indirecte, utilisée dans ce travail, consiste à estimer l'exposition individuelle en pondérant les concentrations de pollution mesurées dans les différents microenvironnements fréquentés par le BET des individus. Les concentrations moyennes des polluants étudiés sont mesurées en utilisant des capteurs installés dans tout ou partie des microenvironnements fréquentés par les individus ou par modélisation. Le BET est obtenu par le biais de questionnaires. Cette approche donne des résultats proches de ceux obtenus par la méthode directe lorsque les concentrations de pollution et le BET sont recueillis de façon continue [10,14]. Cependant, il n'est pas aisé de déterminer la combinaison des indicateurs de pollution et de BET les plus probants à utiliser. En fonction de l'objectif à atteindre, il peut être préférable de disposer d'un BET détaillé par pas de temps de 10 à 15 minutes et de concentrations de polluants mesurées sur ces mêmes pas de temps; on peut considérer dans ces conditions que les individus sont suivis pas à pas au cours de la

journée ou de la fraction de la journée retenue. On peut tout aussi bien souhaiter utiliser des indicateurs agrégés tels que considérer que la personne passe toute la journée dans son logement. Dans ce cas de figure, la concentration à prendre en compte est une moyenne sur 24 heures des concentrations mesurées dans les différentes pièces du logement. En pratique, le choix des indicateurs est souvent lié à la nature des données recueillies. Un travail préliminaire mené en 2004 avait permis d'identifier les différentes combinaisons possibles et l'influence résultante sur les résultats. Cette étude concluait que les influences respectives du BET et des concentrations atmosphériques des polluants restaient modestes mais que leur conjonction pouvait se révéler préjudiciable. Ces résultats militaient pour un recueil détaillé du BET et des concentrations de polluant à l'instar de ce qui est classiquement réalisé pour le CO [5]. Cependant, la réalisation de la CNL a révélé toute la lourdeur de recueillir de manière fiable l'ensemble des informations nécessaires notamment, pour estimer l'exposition des populations. De la littérature, il ressort que le CO est hétérogène en fonction des pièces, en revanche, le benzène et le formaldéhyde semblent plus homogènes dans l'ensemble des pièces. Enfin, les données de l'OQAI ont donné des indications sur les évolutions en fonction des saisons. De cet ensemble, il ressort la nécessité de déterminer dès le début de l'étude la précision souhaitable pour chacun de ces paramètres pour atteindre l'objectif de l'étude.

L'analyse des profils journaliers du BET des individus et la répartition de leur fréquentation des différentes pièces du logement renforcent cette conclusion. La figure 14 résume le BET de la population sur les différents pas de temps de la journée (toutes les 10 minutes) en traduisant la probabilité d'être à l'extérieur. Par exemple, à 16h00, cette probabilité est 12 fois plus élevée qu'à minuit. Cette figure montre que les personnes sont plutôt au domicile entre minuit et 7h00 du matin. À partir de 7h00, elles tendent à sortir du domicile (l'OR augmente progressivement en fonction de l'heure de la journée). Ensuite, à partir de 11h30, l'OR diminue progressivement jusqu'à atteindre un minimum vers midi (tendance à rentrer au domicile). À partir de 13h00, elles tendent à ressortir du domicile (OR augmente progressivement jusqu'à 16h00). Enfin, à partir de 16h00, plus le soir approche, plus les personnes tendent à rentrer au domicile.

FIGURE 14 |

### Budget espace-temps en fonction de l'heure de la journée sur l'ensemble de la population (résultats pondérés)



Le même profil journalier est observé en fonction du sexe, de l'âge (annexe 3) et du jour de la semaine avec une tendance plus prononcée d'être à l'intérieur pour les femmes, en particulier la matinée, pour les personnes les plus âgées et le week-end. À noter que les week-ends les personnes sortent plus tard du domicile le matin par rapport aux jours ouvrés (8h30 *versus* 6h30).

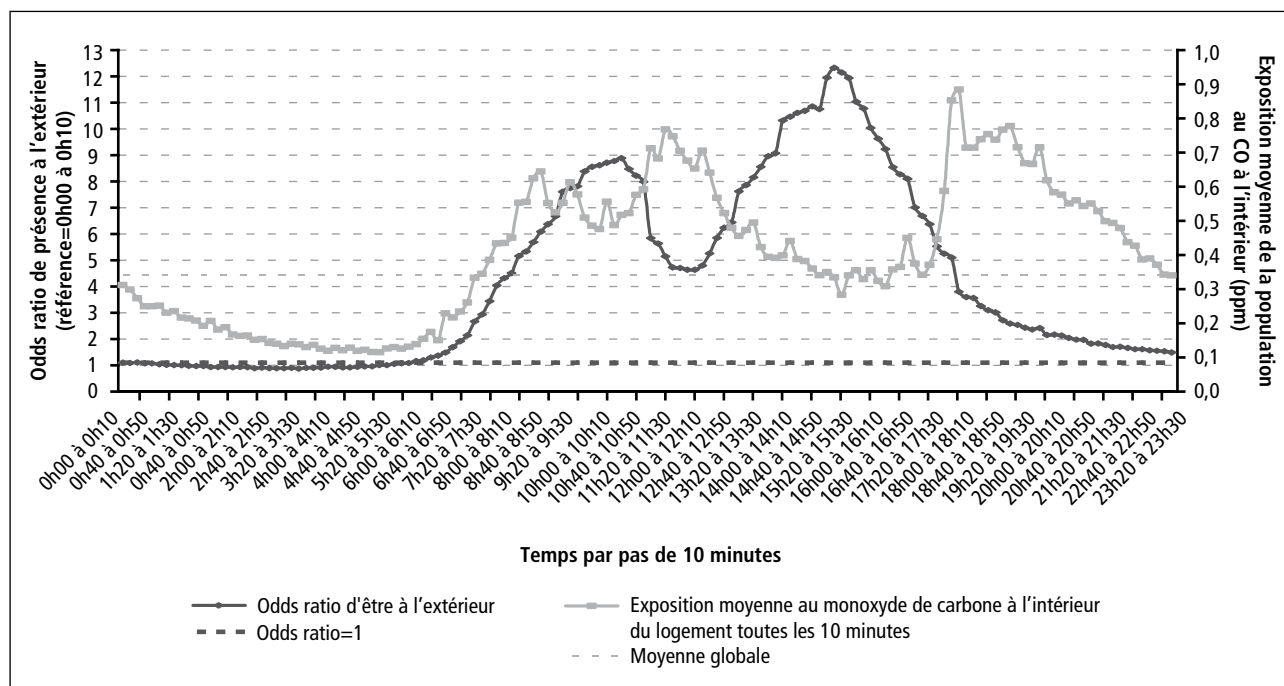
Cette connaissance prend toute son importance lorsque l'on visualise le profil journalier de l'exposition au CO. En effet, la figure 15 montre que les personnes ont plus de chance de se trouver à l'intérieur du logement entre 19h00 et 7h00 du matin et entre midi et 14h00. C'est donc pendant ces plages horaires que l'exposition à des polluants intérieurs peut être la plus élevée. Ceci est illustré dans ce travail pour le CO pour lequel l'exposition de la population est plus élevée pendant ces plages horaires, exception faite de la période de sommeil (figure 15 et annexe 4). Ce n'est pas forcément généralisable à l'ensemble des polluants, les concentrations les plus élevées pouvant se retrouver dans la chambre pendant les heures de sommeil. D'autre part, la probabilité d'être à l'extérieur du logement est plus élevée l'après-midi entre 14h00 et 19h00. L'exposition à des polluants dont les principales sources sont extérieures, comme l'ozone qui atteint des niveaux élevés pendant les périodes d'ensoleillement en été, est probablement plus importante sur cette plage horaire.

En revanche, ces réflexions ne peuvent être reprises pour le benzène et le formaldéhyde. En effet, ces polluants ont été mesurés sur des pas de temps d'une semaine. Il n'est donc pas possible de suivre un individu pas à pas dans ses déplacements quotidiens au sein du logement et d'y attribuer une concentration spécifique à chacune des pièces fréquentées à un instant donné. L'interprétation des résultats d'exposition doit tenir compte de cette difficulté, la prise en compte du BET inhérent au seul logement *versus* un BET fixé à 24 heures ne conduisant qu'à une différence d'un facteur compris entre un tiers à un demi. L'étude préliminaire avait déjà pointé ce résultat [5].

Un deuxième argument militant pour la connaissance d'un BET par pièce concerne la description du temps passé dans chacune des pièces du logement. Le tableau 17 décrit la moyenne et les principaux percentiles de la distribution du temps passé dans chaque pièce du logement. La chambre est la pièce où la population reste le plus longtemps (9 h 16 min), ensuite viennent le séjour/salon (2 h 49 min), la cuisine (2 h 40 min), la salle de bain (38 min) et le garage attenant (4 min). Au total, le pourcentage de temps passé à l'intérieur du logement est d'environ 67 %. Il est de 63 % pour les hommes et 71 % pour les femmes. La chambre représente 38 % du temps journalier (figure 16).

| FIGURE 15 |

### Profil journalier de l'exposition au monoxyde de carbone à l'intérieur du logement et odds ratio de présence à l'extérieur du logement (résultats pondérés)



| TABLEAU 17 |

**Distribution du temps en heures passé dans chaque pièce du logement (moyenne sur la semaine, résultats pondérés)**

Pièce	Moyenne arithmétique	Écart-type de la moyenne	Min.	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>95</sub>	Max.
Chambre	9,27	0,12	0,00	8,10	9,26	10,69	13,27	20,48
Séjour/salon	2,82	0,18	0,00	0,34	2,45	4,40	7,02	17,52
Cuisine/CUS <sup>a</sup>	2,67	0,12	0,00	1,01	2,10	3,57	7,29	16,02
Autres pièces	0,71	0,05	0,00	0,05	0,33	0,90	2,76	8,62
Salle de bain	0,63	0,02	0,00	0,43	0,60	0,81	1,19	3,07
Garage attenant	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	7,29
Intérieur du logement	16,16	0,21	0,00	14,40	16,48	18,83	21,57	24,00
Hors du logement	7,84	0,21	0,00	5,15	7,52	9,59	15,14	24,00

<sup>a</sup> CUS : cuisine américaine.

Les résultats par sexe montrent des temps passés dans les différentes pièces du logement relativement plus élevés chez les femmes (tableau 18).

| TABLEAU 18 |

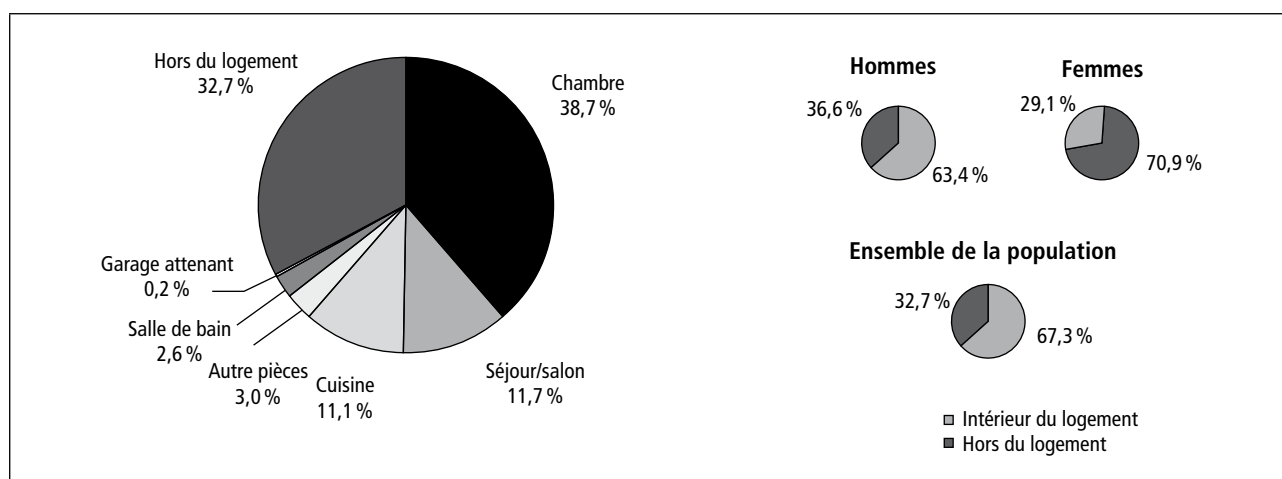
**Distribution du temps en heures passé dans chaque pièce du logement par sexe (résultats pondérés)**

Pièce	Sexe	Moyenne Arithmétique	Écart-type de la moyenne	Min.	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>95</sub>	Max.
Chambre	Hommes	9,13	0,19	0,00	7,90	8,95	10,48	13,35	20,48
Séjour/salon	Hommes	2,56	0,19	0,00	0,21	2,18	4,07	6,69	17,05
Cuisine/CUS <sup>a</sup>	Hommes	2,25	0,14	0,00	0,79	1,69	3,14	6,46	16,02
Autres pièces	Hommes	0,67	0,08	0,00	0,02	0,21	0,74	3,13	8,43
Salle de bain	Hommes	0,54	0,02	0,00	0,36	0,52	0,69	1,02	1,69
Garage attenant	Hommes	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	3,38
Intérieur du logement	Hommes	15,22	0,28	0,00	13,42	15,51	17,60	21,48	24,00
Hors du logement	Hommes	8,78	0,28	0,00	6,36	8,48	10,57	16,05	24,00
Chambre	Femmes	9,42	0,14	0,00	8,28	9,55	10,76	13,24	19,12
Séjour/salon	Femmes	3,05	0,22	0,00	0,69	2,69	4,61	7,64	17,52
Cuisine/CUS <sup>a</sup>	Femmes	3,05	0,14	0,00	1,26	2,56	3,96	7,91	12,43
Autres pièces	Femmes	0,75	0,05	0,00	0,10	0,43	1,00	2,60	8,62
Salle de bain	Femmes	0,72	0,02	0,00	0,50	0,69	0,88	1,29	3,07
Garage attenant	Femmes	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	7,29
Intérieur du logement	Femmes	17,03	0,23	0,00	15,40	17,26	19,50	21,81	24,00
Hors du logement	Femmes	6,97	0,23	0,00	4,50	6,74	8,57	14,05	24,00

<sup>a</sup> CUS : cuisine américaine

| FIGURE 16 |

**Répartition pondérée du temps en heures passé dans chaque pièce du logement**





À l'instar du profil journalier décrit précédemment, cette connaissance fine du BET permet de pointer sur la nécessaire réflexion des stratégies de mesure des polluants à l'intérieur des logements lorsqu'un objectif d'estimation de l'exposition de la population est à atteindre. Cette stratégie doit clairement combiner le choix des pièces les plus fréquentées avec la localisation des sources des polluants considérés. Les enjeux sont de taille pour pouvoir ensuite, dans des conditions les plus appropriées possibles conduire des études d'EQRS et/ou des études épidémiologiques.

L'utilisation de la méthode d'imputation multiple a permis de prendre en compte l'incertitude dans l'imputation des valeurs manquantes du BET, bien que le poids de la composante inter-imputations reste faible dans cette étude. En ce qui concerne le benzène et le formaldéhyde, l'exposition a été estimée dans la chambre car c'est la seule pièce instrumentée. En revanche, pour le CO, des hypothèses ont été formulées pour pallier l'absence de données dans des pièces du logement fréquentées par les

occupants mais non instrumentées. Ces hypothèses s'appuyaient sur les connaissances bibliographiques des écarts de concentrations mesurés dans les différentes pièces du logement [5]. Les données disponibles dans la littérature montrent d'une part que les concentrations dans les différentes pièces d'un habitat sont plutôt homogènes hormis s'il existe une source de combustion majeure en un endroit qui influence une partie de l'habitat et pas l'autre. Par ailleurs, sur un pas de temps court, une pièce dans laquelle fonctionne une source de combustion peut influencer directement la concentration de CO dans la ou les pièces adjacentes. Un retour à un équilibre s'effectuant dans un laps de temps allant jusqu'à 1 h 30 min après que la source de combustion ait été fermée. Cela n'empêche pas d'enregistrer des concentrations qui varient d'un facteur allant jusqu'à 10 entre les différentes pièces instrumentées. De nombreux paramètres entrent en jeu pour expliquer ces variations de concentration, dont les principaux sont le type de ventilation, la présence d'un garage adjacent et le tabagisme [30].

## 8. Conclusion

Cette étude permet de disposer de la connaissance du BET de la population française. Globalement, on passe 67 % de notre temps dans notre logement. Ce temps diffère selon le sexe, l'âge et l'activité professionnelle des personnes occupant le logement. Il varie également en fonction de la région de résidence, de la saison et des jours de la semaine. Ce détail de connaissance permet d'envisager des constructions de scénarios d'exposition appropriés en fonction de la situation et de l'objectif à atteindre.

L'approche indirecte, utilisée dans ce travail, a permis en associant les concentrations de pollution intérieure et le BET, d'estimer avec précision l'exposition de la population d'étude, en particulier pour le CO dont les concentrations ont été mesurées toutes les

cinq minutes. La résolution spatiale de ces mesures a été cependant limitée à certaines pièces du logement et a nécessité le recours à des méthodes d'imputation des concentrations de pollution dans les pièces fréquentées par les individus mais pour lesquelles les mesures n'ont pas été réalisées. En revanche, l'approximation pour le benzène et le formaldéhyde est plus grande en raison de concentrations recueillies sur un pas de temps d'une semaine.

Au final, les données de l'OQAI sur le BET constituent donc une source d'information utile pour améliorer l'estimation de l'exposition des populations aux polluants présents à l'intérieur du logement et dans les EQRS.

# Références bibliographiques

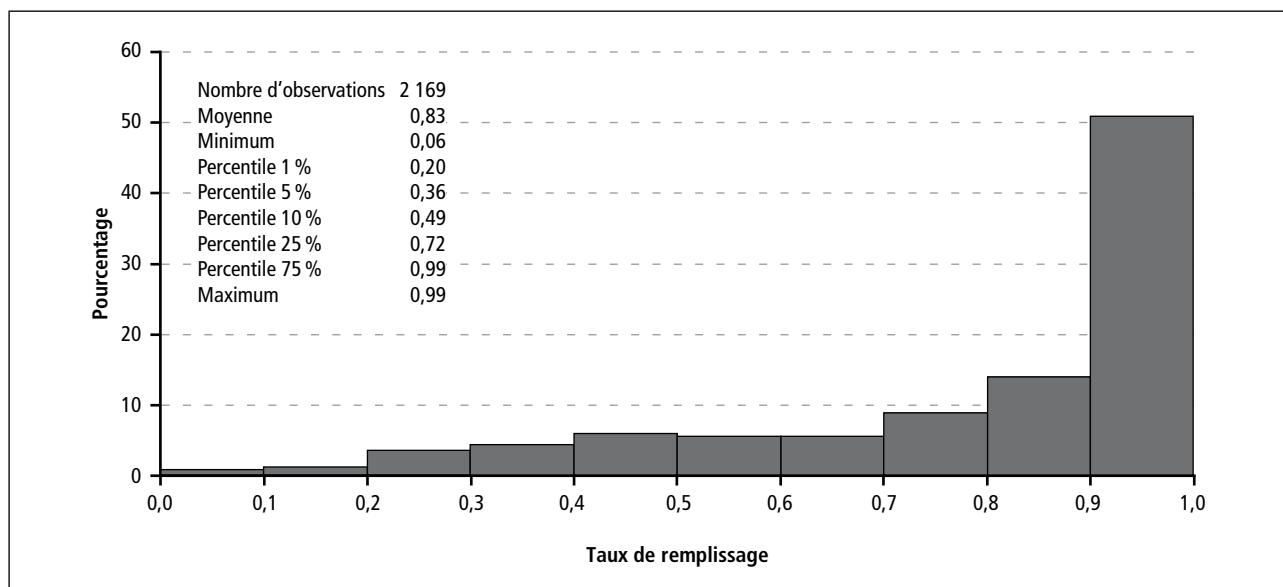
- [1] Ardilly A. Les techniques de sondage. Éditions Technip, 2006.
- [2] Beaudéau P, Zeghnoun A, Ledrans M, Volatier J. Consommation d'eau du robinet pour la boisson en France métropolitaine : résultats tirés de l'enquête alimentaire Inca 1. Environnement, risques et santé 2003;2(3):147-58.
- [3] Chavance M, Manfredi R. Modélisation d'observations incomplètes. Rev Epidem Santé Publ 2000;48:389-400.
- [4] Dor F *et al.* Propositions de quantités de sol et poussières ingérées par des enfants; intérêt de prendre en compte la biodisponibilité et/ou bioaccessibilité des polluants. Institut de veille sanitaire, à paraître en 2011.
- [5] Dor F, Zeghnoun A, Brosselin P. Estimation de l'exposition des populations aux polluants présents à l'intérieur des habitations. Saint-Maurice (Fra): Institut de veille sanitaire, novembre 2004, 79 p. Disponible sur : [www.invs.sante.fr](http://www.invs.sante.fr).
- [6] Dumontier F, Pan Ké Shon JL. En 13 ans, moins de temps contraints et plus de loisirs. Rep. 675, 1999.
- [7] Echols S, Macintosh DL, Hammerstrom K, Ryan B. Temporal variability of microenvironmental time budgets in Maryland. Journal of exposure science and environmental epidemiology 1999;9:502-12.
- [8] Eurostat. How Europeans spend their time: everyday life of women and men. Luxembourg, 2004.
- [9] Gauvin S. Pollution atmosphérique d'origine automobile et développement de la maladie asthmatique de l'enfant : une étude épidémiologique dans 5 villes françaises – étude VESTA. Université Joseph Fourier. 2001, 151 pages.
- [10] Jantunen M, Jaakkola J, Krzyzanowski M. Assessment of exposure to indoor air pollutants. Rep. 78, 1997.
- [11] Kirchner S, Arenes J, Cochet C, Derbez M, Duboudin C *et al.* Campagne nationale logements : état de la qualité de l'air dans les logements français. Rep. Rapport final, CSTB, département développement durable, division santé, Champs-sur-Marne, 2006.
- [12] Kirchner S, Golliot F. Campagne opérationnelle : méthodologie d'échantillonnage des logements. Rep. Rapport final, CSTB, département développement durable, division santé, Champs-sur-Marne, 2003.
- [13] Klepeis NE, Nelson WC, Ott WR, Robinson JP, Tsang AM *et al.* The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. J Expo Anal Environ Epidemiol 2001;11(3):231-52.
- [14] Klepeis N. An introduction to the indirect exposure assessment approach: modeling human exposure using microenvironmental measurements and the recent National Human Activity Pattern Survey. Environ Health Perspect 107 Suppl 1999;2:365-74.
- [15] Leech J, Nelson W, Burnett R, Aaron S, Raizenne M. It's about time: a comparison of Canadian and American time-activity patterns. J Expo Anal Environ Epidemiol 2002;12(6):427-32.
- [16] Leech JA, Wilby K, McMullen E, Laporte K. The Canadian Human Activity Pattern Survey: report of methods and population surveyed. Chronic Dis Can 1996;17(3-4):118-23.
- [17] Little R, Rubin D. Statistical analysis with missing data, New York: Wiley, 1987.
- [18] Lumley T. Analysis of complex survey samples. Journal of statistical software, 2004;(8):1-19.
- [19] R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, 2006.
- [20] Royston P. Multiple imputation of missing values. The Stata Journal 2004;4(3):227-41.
- [21] Rubin D. Inference and missing data (with discussion). Biometrika 1976;63(581):592.
- [22] Rubin D. Multiple imputation after 18+ years. Journal of the american statistical association 1996;91(473):489.

- [23] SAS Institute. SAS/STAT user's guide (version 9.2). SAS Inst. Inc., Cary, NC. 2004.
- [24] Sautory O. La macro Calmar : redressement d'un échantillon par calage sur marges. Rep. F9310, Insee, 1993.
- [25] Schadkowski C. Exposition individuelle au benzène : premiers résultats de l'étude "Sentinelles de l'air" en région Nord-Pas-de-Calais. Rep. Air Pur n° 65, 2003.
- [26] Schafer JL. Analysis of incomplete multivariate data, London: Chapman & Hall, 1997.
- [27] Schweizer C, Edwards RD, Bayer-Oglesby L. Indoor time-microenvironment-activity patterns in seven regions of Europe. Journal of exposure science and environmental epidemiology 2007;2(17):170-81.
- [28] Stata. StataCorp. Statistical software: release 7.0. College station, TX: Stata corporation. 2001. [www.stata.com](http://www.stata.com).
- [29] Tanguy J, Zeghnoun A, Dor F. Description du poids corporel en fonction du sexe et de l'âge dans la population française. Environnement risques et santé 2007;6(3):179-87.
- [30] Persily AK. Carbon monoxide dispersion in residential buildings: literature review and technical analysis. National Institute of Standards and Technology, October 1996, 71 p.

## ANNEXE 1 – TAUX DE REMPLISSAGE DES BUDGETS ESPACE-TEMPS JOURNALIERS INCOMPLETS

| FIGURE 1 |

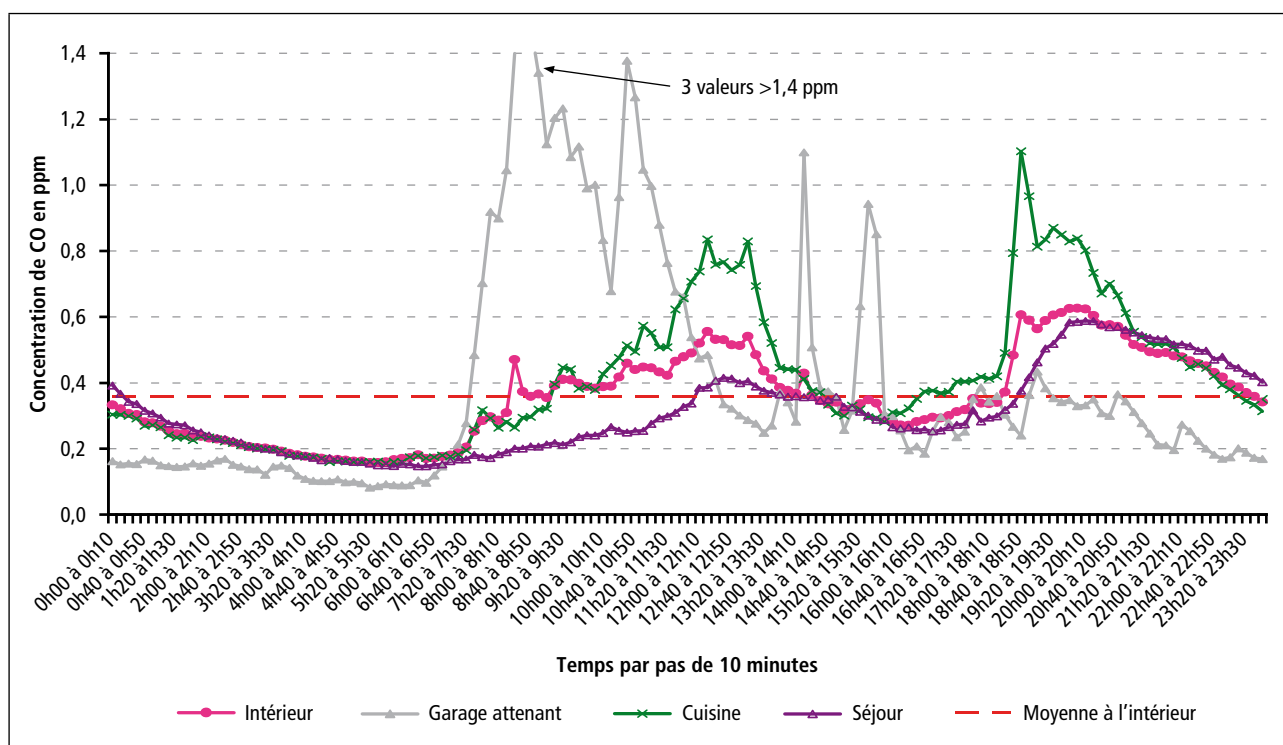
### Distribution des taux de remplissage des BET journaliers incomplets



## ANNEXE 2 – PROFILS JOURNALIERS DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE MONOXYDE DE CARBONE DANS CERTAINES PIÈCES DU LOGEMENT

| FIGURE 2 |

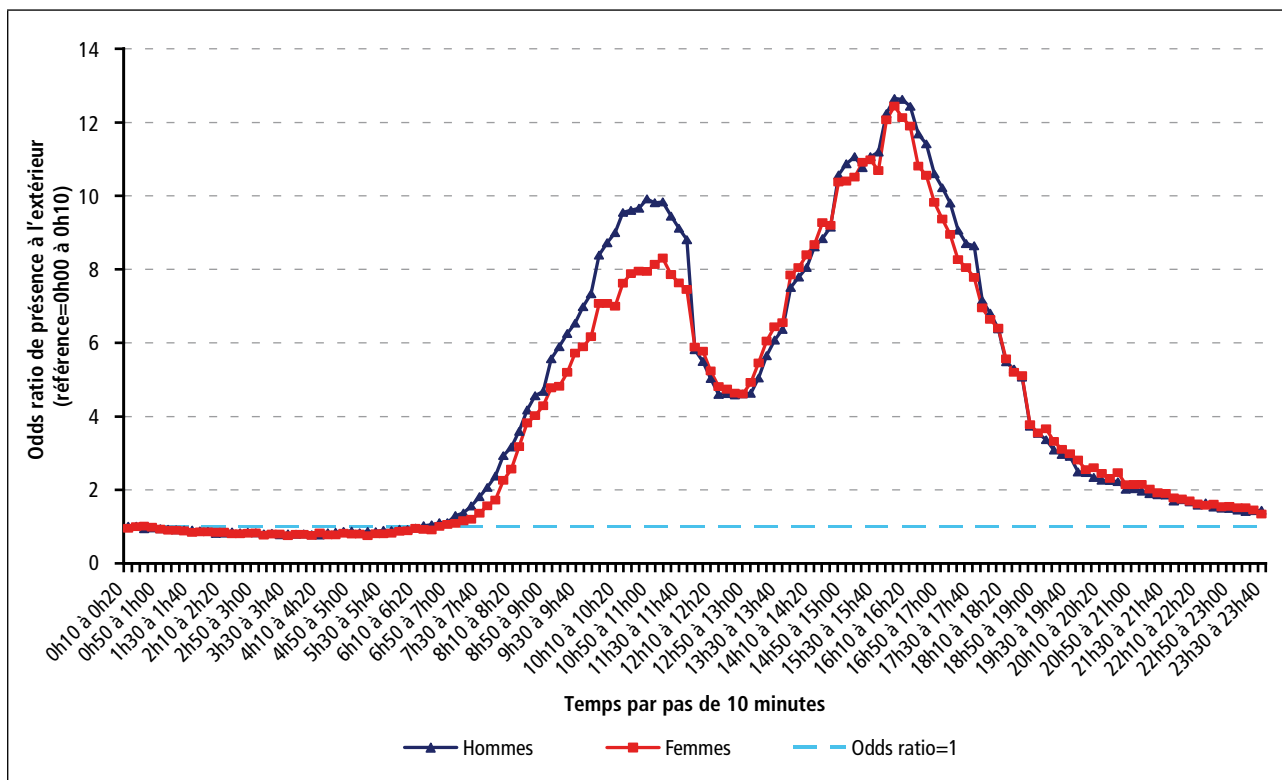
### Concentrations moyennes de monoxyde de carbone à l'intérieur du logement en fonction du temps



# ANNEXE 3 – PROFIL JOURNALIER DU BUDGET ESPACE-TEMPS EN FONCTION DU SEXE ET DE L'ÂGE

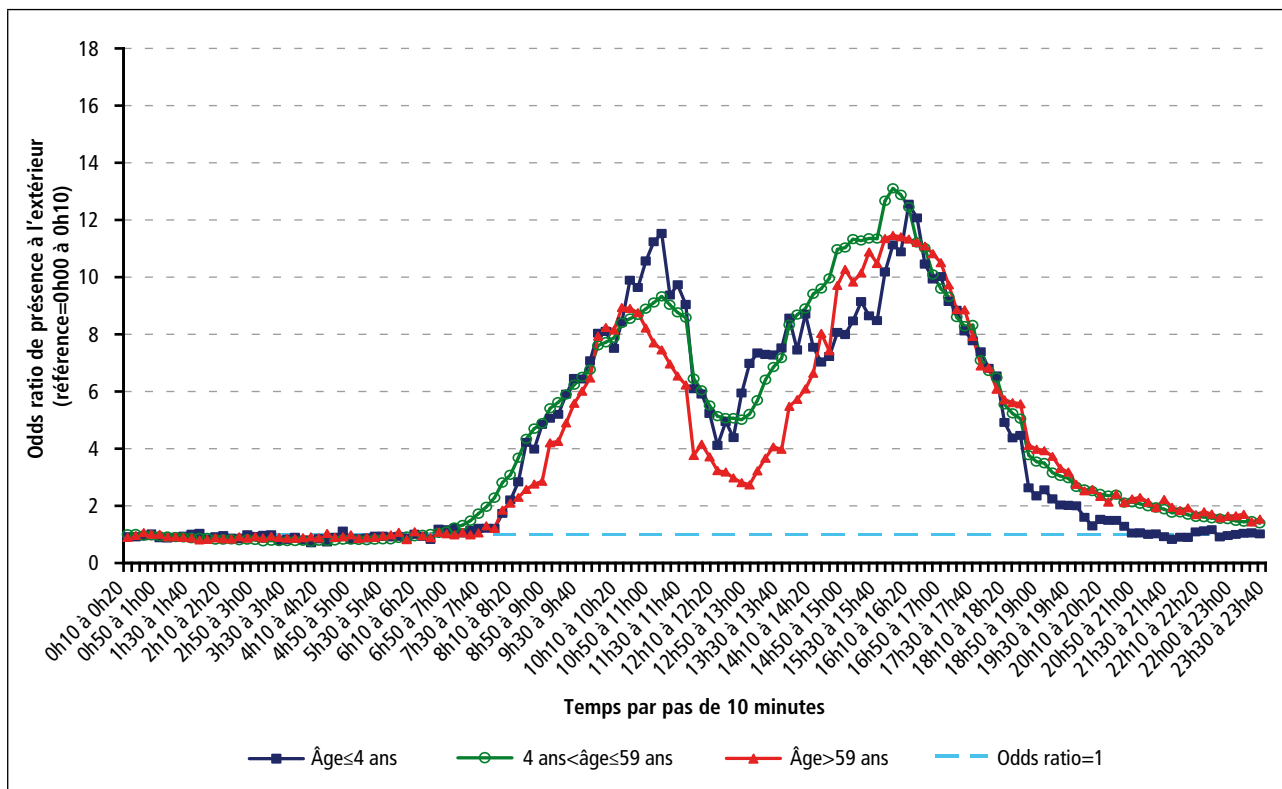
| FIGURE 3A |

## Budget espace-temps en fonction du temps par sexe



| FIGURE 3B |

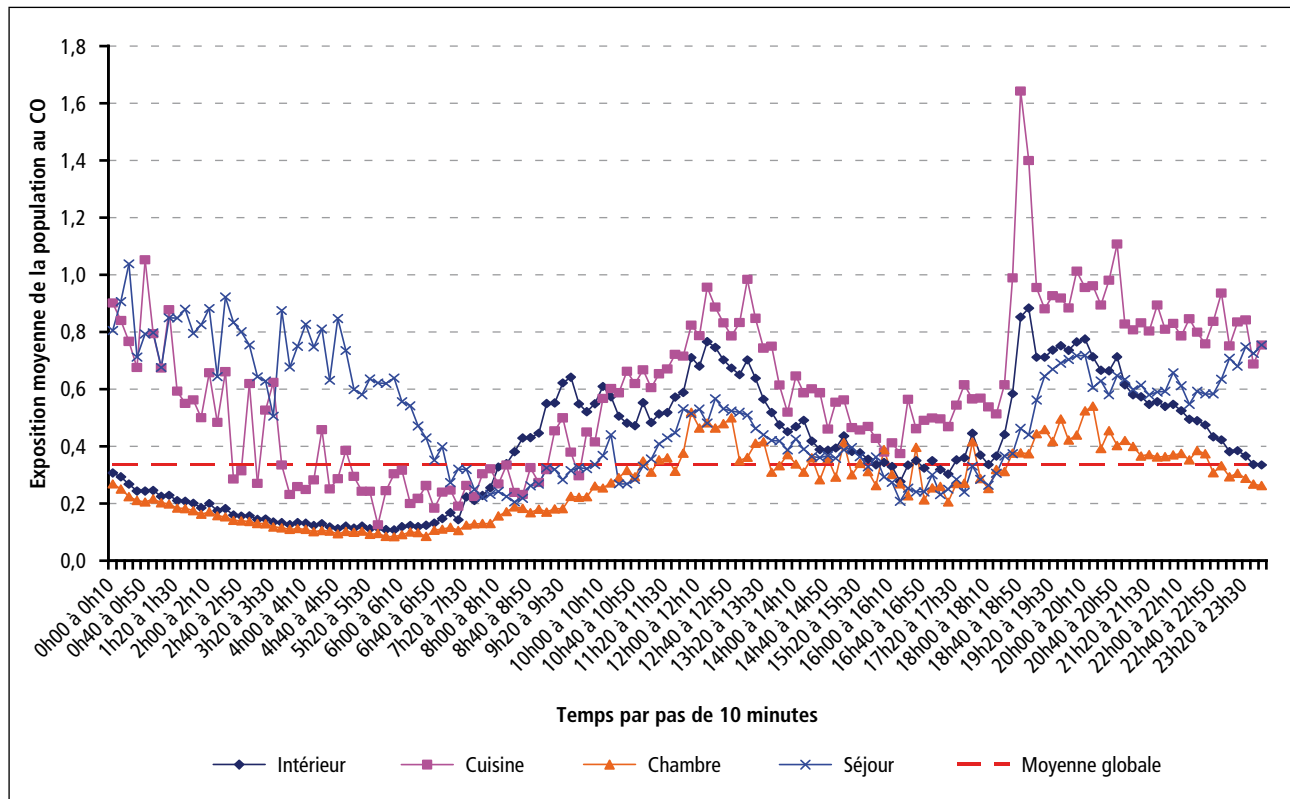
## Budget espace-temps en fonction du temps par classes d'âge



## ANNEXE 4 – PROFIL JOURNALIER DE L'EXPOSITION AU MONOXYDE DE CARBONE DANS LES DIFFÉRENTES PIÈCES DU LOGEMENT

| FIGURE 4 |

Exposition moyenne de la population au monoxyde de carbone à l'intérieur du logement en fonction du temps



## Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement

La qualité de l'air que nous respirons à l'intérieur des logements est aujourd'hui reconnue comme un facteur déterminant dans l'accroissement de la fréquence de diverses pathologies chroniques et allergies respiratoires. Dans les pays industrialisés, la population passe une bonne partie de son temps dans les espaces intérieurs, tel que le logement. La quantification du temps passé dans le logement est donc une donnée importante pour l'estimation de l'exposition aux polluants intérieurs. Les études portant sur le budget espace-temps (BET) sont relativement peu nombreuses en France. Ce travail a pour objectifs d'estimer la distribution du temps passé à l'intérieur du logement de la population française et son exposition au monoxyde de carbone (CO), benzène et formaldéhyde en associant les concentrations de ces polluants avec les données sur le BET.

Les données utilisées ont été collectées par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur entre octobre 2003 et décembre 2005. En moyenne sur la semaine, le temps passé quotidiennement à l'intérieur du logement est de 16 h 10 min. Ceci représente 67 % du temps journalier (71 % chez les femmes et 63 % chez les hommes).

Globalement, l'exposition moyenne de la population au CO est faible. Elle est toujours plus élevée en hiver (moy.=0,5 ppm ; max.=7,5 ppm) qu'en été (moy.=0,2 ppm ; max.=3 ppm). L'exposition au formaldéhyde et au benzène dans la chambre est légèrement supérieure en été pour le formaldéhyde et inversement pour le benzène.

Les données sur le BET constituent une source d'information utile pour améliorer l'estimation de l'exposition des populations aux polluants présents à l'intérieur du logement et dans les évaluations quantitatives du risque sanitaire.

**Mots clés :** budget espace-temps, pollution air intérieur, monoxyde de carbone, benzène, formaldéhyde

### Description of space-time-budget and exposure assessment of the French population in the home

*The quality of air we breathe in the home is known to be a key factor in the growing incidence of various chronic diseases and respiratory allergies. Furthermore, in industrialized countries, people spend much of their time in indoor spaces, such as the home. Quantifying the time spent at home is important to estimate exposure to indoor pollutants. There are relatively few studies on space-time-budget (STB) in France. This work aims to estimate the distribution of time spent in the home by the French population and their exposure to carbon monoxide (CO), benzene and formaldehyde by combining the concentrations of these pollutants with STB data.*

*The data used were collected by the Observatory of Indoor Air Quality between October 2003 and December 2005. The average daily time spent in the home was 16 hours and 10 minutes. This represents 67% of the daily time (71% for women and 63% for men).*

*The average exposure to CO of the studied population is low. It is always higher in winter (mean=0.5 ppm, max.=7.5 ppm) than in summer (average=0.2 ppm, max.=3 ppm). Exposure to formaldehyde and benzene at home is slightly higher in summer for formaldehyde and inversely for benzene.*

*STB data represent a useful source of information in improving the estimation of the population's exposure to indoor pollutants and in conducting health risks assessments.*

**Citation suggérée :**

Zeghnoun A, Dor F. Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, octobre 2010, 37 p. Disponible sur : [www.invs.sante.fr](http://www.invs.sante.fr)