

# PIÈCE 6

## ÉTUDE D'IMPACT

### - Chapitre 5 - Population et santé humaine

#### PLACE DU CHAPITRE DANS L'ÉTUDE D'IMPACT

Résumé non technique

Sommaire général

Chapitre 1 – Objectifs et contenu de l'étude d'impact

Chapitre 2 – Description du projet

Chapitre 3 – Radioécologie

Chapitre 4 – Biodiversité

**Chapitre 5 – Population et santé humaine**

Chapitre 6 – Analyse des incidences cumulées

Chapitre 7 – Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000

Chapitre 8 – Conclusions de l'étude d'impact

Chapitre 9 – Auteurs de l'étude d'impact

ANNEXES

## SOMMAIRE

PRESENTATION DU CHAPITRE 5.....	5
5.1. ÉTAT INITIAL DE L'ENVIRONNEMENT .....	6
5.1.1. POPULATION .....	6
5.1.1.1. Répartition de la population autour du site .....	6
5.1.1.1.1. Contexte régional et départemental .....	6
5.1.1.1.2. Répartition de la population jusqu'à 50 kilomètres autour du site.....	8
5.1.1.1.2.1. Densité de population au sein de l'aire d'étude élargie.....	8
5.1.1.1.2.2. Communes de plus de 5 000 habitants au sein de l'aire d'étude élargie.....	12
5.1.1.2. Identification des populations d'intérêt à proximité du site du Bugey.....	14
5.1.1.2.1. Populations sensibles dans un rayon de 10 kilomètres autour du site du Bugey.....	14
5.1.1.2.2. Zones habitées les plus proches du site du Bugey.....	17
5.1.2. SYNTHÈSE DES ENJEUX SUR LA POPULATION .....	18
5.2. ANALYSE DES INCIDENCES SUR LA POPULATION ET LA SANTÉ HUMAINE .....	19
5.2.1. ÉVALUATION DE L'IMPACT DOSIMÉTRIQUE À L'HOMME DES REJETS RADIOACTIFS .....	19
5.2.1.1. Évaluation de l'impact dosimétrique à l'homme des rejets d'effluents radioactifs.....	20
5.2.1.1.1. Démarche Générale .....	20
5.2.1.1.2. Caractérisation des rejets d'effluents radioactifs à prendre en compte .....	20
5.2.1.1.3. Caractérisation de l'environnement autour de l'ICEDA.....	20
5.2.1.1.4. Évaluation des transferts dans l'environnement .....	21
5.2.1.1.4.1. Transferts en milieu atmosphérique.....	22
5.2.1.1.4.2. Transferts en milieu agricole.....	22
5.2.1.1.5. Évaluation de l'exposition des populations .....	24
5.2.1.1.5.1. Voies d'exposition et classes d'âge .....	24
5.2.1.1.5.2. Variables humaines d'exposition .....	25
5.2.1.1.6. Résultats de l'évaluation de l'impact dosimétrique à l'homme des rejets d'effluents radioactifs.....	26
5.2.1.2. Évaluation de l'exposition du public aux rayonnements ionisants par irradiation directe .....	28
5.2.1.3. Conclusion concernant l'évaluation de l'impact dosimétrique à l'homme .....	29

5.3. SURVEILLANCE .....	30
5.4. MESURES D'ÉVITEMENT ET DE RÉDUCTION D'IMPACT ET MESURES COMPENSATOIRES .....	30
5.5. DESCRIPTION DES MÉTHODES UTILISÉES .....	31
5.5.1. ÉVALUATION DE L'IMPACT DOSIMÉTRIQUE À L'HOMME DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS .....	31
5.5.1.1. Présentation du code de calcul .....	31
5.5.1.2. Hypothèses de calcul - conservatismes .....	31
5.5.2. ÉVALUATION DE L'EXPOSITION EXTERNE DU PUBLIC AUX RAYONNEMENTS IONISANTS PAR IRRADIATION DIRECTE .....	32
5.5.2.1. Présentation de la méthodologie .....	32
5.5.2.2. Hypothèses de calcul - incertitudes .....	33
5.6. CONCLUSION .....	33

## TABLEAUX

Tableau 5.a :	Doses efficaces annuelles par voie d'exposition (Sv/an) pour les rejets d'effluents radioactifs aux limites de l'ICEDA.....	26
---------------	---	----

## FIGURES

Figure 5.a :	Évolutions démographiques de la région Auvergne-Rhône-Alpes et du département de l'Ain depuis 1999 jusqu'en 2016 .....	7
Figure 5.b :	Densité de population dans un rayon de 50 kilomètres autour du site du Bugey en 2016 .....	9
Figure 5.c :	Fréquence des communes par classes de densité de population en 2016 dans un rayon de 10 kilomètres et de 50 kilomètres .....	10
Figure 5.d :	Évolution de la population dans un rayon de 50 kilomètres autour du site du Bugey entre 2008 et 2016 .....	11
Figure 5.e :	Fréquences d'évolution de la population (2008-2016) des communes dans un rayon de 50 kilomètres autour du site du Bugey.....	12
Figure 5.f :	Communes de plus de 5 000 habitants dans un rayon de 50 kilomètres autour du site du Bugey en 2016 .....	13
Figure 5.g :	Établissements scolaires et d'accueil du jeune enfant des communes dans un rayon de 10 kilomètres autour du site du Bugey.....	15
Figure 5.h :	Établissements de santé publique, médico-sociaux et sociaux des communes dans un rayon de 10 kilomètres autour du site du Bugey.....	16
Figure 5.i :	Habitations les plus proches dans un périmètre de 1 kilomètre autour du site du Bugey.....	17
Figure 5.j :	Schéma de principe du transfert dans l'environnement des radionucléides.....	21
Figure 5.k :	Voies d'exposition aux rejets d'effluents radioactifs atmosphériques .....	24
Figure 5.l :	Échelle des expositions.....	27
Figure 5.m :	Emplacement des balises de mesure du débit de dose gamma ambiant (Triangles rouges) en clôture du site de Bugey sur lequel est implantée l'ICEDA ...	28

# P RESENTATION DU CHAPITRE 5

L'objet de ce chapitre est d'analyser les effets des interactions du projet, au regard des sensibilités mises en évidence vis-à-vis de la thématique « population et santé humaine ».

L'étude des interactions du projet considère la mise en œuvre des modifications objet du dossier de demande d'autorisation, à savoir :

- M01 : l'évolution du domaine de fonctionnement de l'ICEDA,
- M02 : la réalisation d'opérations de maintenance fortuite en arrière/super-cellules en présence de déchets en cellule.

Le chapitre est organisé comme suit :

- § [5.1](#) : état initial de l'environnement ;
- § [5.2](#) : analyse des incidences sur la population et la santé humaine ;
- § [5.3](#) : surveillance ;
- § [5.4](#) : mesures d'évitement et de réduction d'impact et mesures compensatoires ;
- § [5.5](#) : description des méthodes utilisées ;
- § [5.6](#) : conclusion.

# 5.1.

## ÉTAT INITIAL DE L'ENVIRONNEMENT

### 5.1.1. POPULATION

Les données de l'état initial de l'environnement présentées par la suite s'attachent à définir la sensibilité du site du Bugey sur lequel est implanté l'ICEDA au vu de la répartition de la population avoisinante au sein de deux zones d'études complémentaires :

- un périmètre d'étude local (jusqu'à 10 kilomètres de rayon) au niveau duquel sont identifiées les populations d'intérêt ;
- un périmètre d'étude élargi de 50 kilomètres destiné à présenter la répartition de la population autour du site du Bugey.

#### 5.1.1.1. REPARTITION DE LA POPULATION AUTOUR DU SITE

Ce paragraphe présente l'état des populations municipales au sein des deux zones d'étude. Le terme de population municipale regroupe :

- les personnes ayant leur résidence habituelle sur le territoire de la commune ;
- les personnes détenues dans les établissements pénitentiaires de la commune ;
- les personnes sans abri recensées sur le territoire de la commune ;
- les personnes résidant habituellement dans des habitations mobiles et recensées sur le territoire de la commune.

Les données proviennent des recensements de la population municipale de 1999, 2008 et 2016<sup>1</sup> de l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE).

##### 5.1.1.1.1. Contexte régional et départemental

Le site du Bugey se situe sur la commune de Saint-Vulbas (1 306 habitants en 2016), dans le département de l'Ain (01), appartenant à la région Auvergne-Rhône-Alpes. En 2016, le département de l'Ain comptait 638 425 habitants et la région Auvergne-Rhône-Alpes 7 916 889 habitants, soit 12,3 % de la population française<sup>2</sup>.

La région Auvergne-Rhône-Alpes, créée par la réforme territoriale de 2015 et effective au 1<sup>er</sup> janvier 2016, est le résultat de la fusion des régions Auvergne et Rhône-Alpes. L'évolution

<sup>1</sup> Les populations légales millésimées 2016 sont entrées en vigueur au 1<sup>er</sup> janvier 2019. Leur date de référence statistique est le 1<sup>er</sup> janvier 2016.

<sup>2</sup> France Métropolitaine.

démographique de la région Auvergne-Rhône-Alpes correspond donc à l'évolution cumulée de ces deux anciennes régions.

Les évolutions démographiques de la région Auvergne-Rhône-Alpes et du département de l'Ain entre 1999 et 2016 sont présentées à la [Figure 5.a](#).

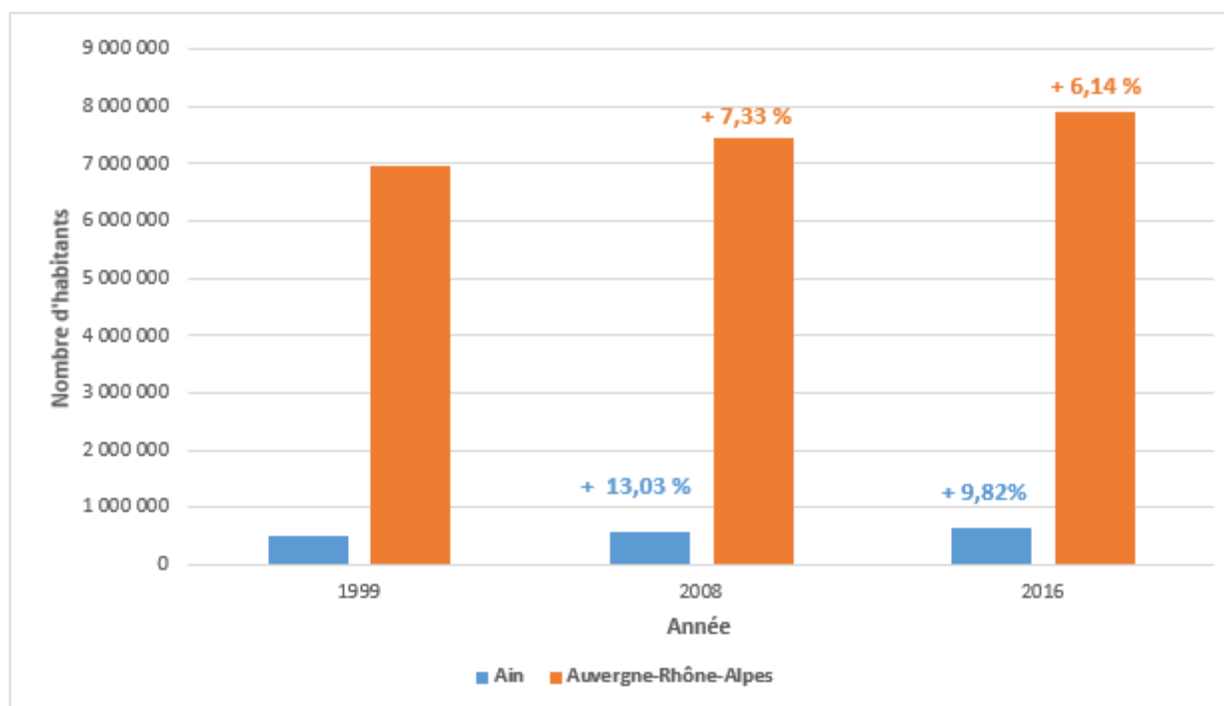


Figure 5.a : Évolutions démographiques de la région Auvergne-Rhône-Alpes et du département de l'Ain depuis 1999 jusqu'en 2016

**Nota :** les pourcentages correspondent aux évolutions de la population par rapport aux précédents recensements.

#### 5.1.1.1.2. Répartition de la population jusqu'à 50 kilomètres autour du site

Ce paragraphe vise à identifier les principales zones peuplées au sein de l'aire d'étude élargie à 50 kilomètres. Elle repose sur la prise en compte des deux critères suivants :

- la densité de la population ;
- la localisation des communes de plus de 5 000 habitants.

##### 5.1.1.1.2.1. Densité de population au sein de l'aire d'étude élargie

La répartition de la population jusqu'à une distance de 50 kilomètres autour du site du Bugey est présentée à la [Figure 5.b](#).

La Métropole de Lyon (à l'ouest) constitue la principale zone peuplée autour du site du Bugey.

Dans le rayon d'étude de 50 kilomètres, la densité moyenne de population est de 300 habitants/km<sup>2</sup> tandis qu'elle est de 173 habitants/km<sup>2</sup> dans un rayon de 10 kilomètres.

Ainsi, dans les rayons de 10 et de 50 kilomètres autour du site, les densités moyennes de population sont supérieures à la valeur moyenne en France Métropolitaine (de l'ordre de 119 habitants/km<sup>2</sup> en 2016).

**Nota** : les statistiques se basent sur les communes dans leur totalité dès lors qu'elles se trouvent, même partiellement, dans le périmètre.



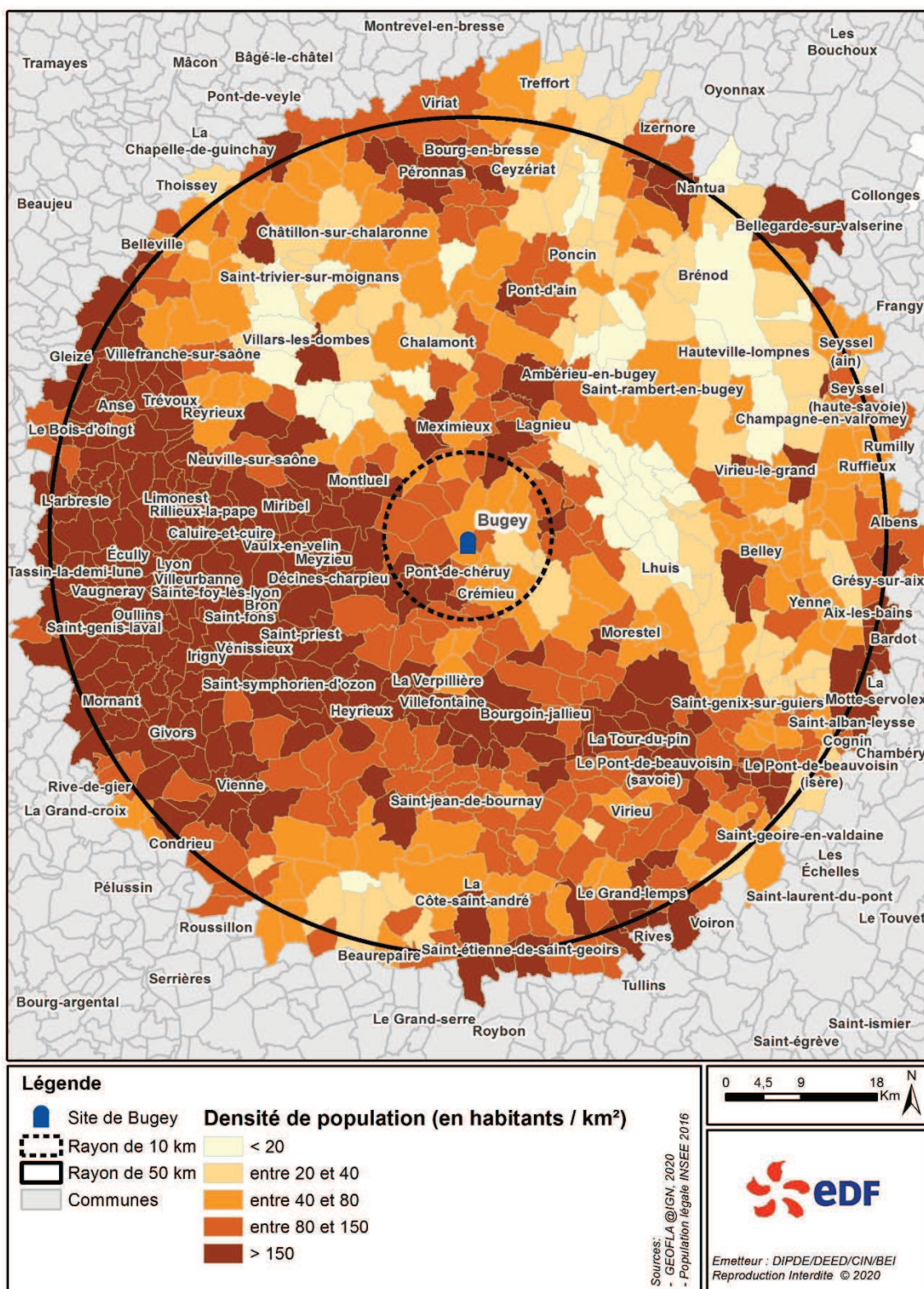


Figure 5.b : Densité de population dans un rayon de 50 kilomètres autour du site du Bugey en 2016

La fréquence des communes par classe de densité (pourcentages de communes ayant une densité comprise dans un intervalle donné) est présentée à la [Figure 5.c](#).

Dans un rayon de 10 kilomètres, il y a une prédominance des communes de forte densité (66 % des communes présentent une densité de population supérieure à 80 habitants/km<sup>2</sup>).

Dans un rayon de 50 kilomètres, les communes de forte densité sont également majoritaires (62 % des communes présentent une densité de population supérieure à 80 habitants/km<sup>2</sup>).

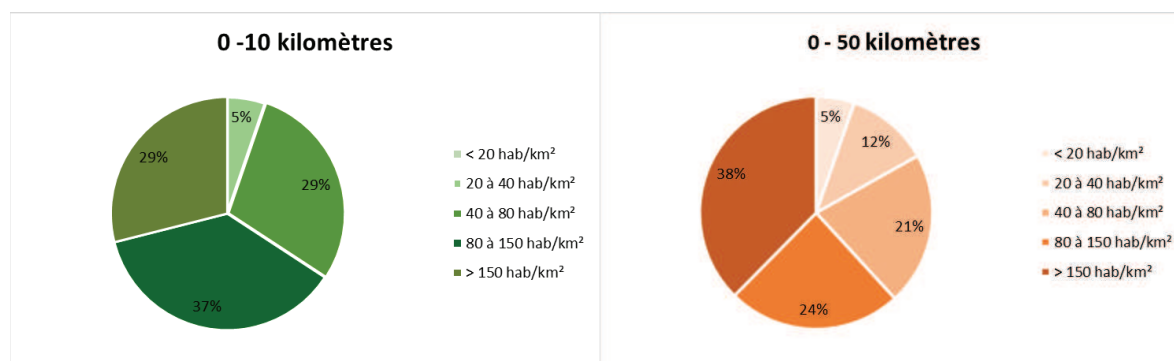


Figure 5.c : Fréquence des communes par classes de densité de population en 2016 dans un rayon de 10 kilomètres et de 50 kilomètres

Enfin, il est à noter que dans un rayon de 50 kilomètres autour du site du Bugey, la population est passée de 2 440 886 habitants en 2008 à 2 677 885 habitants en 2016, soit une augmentation de 9,7 %. Cette évolution est nettement supérieure à la moyenne nationale sur la même période (3,8 % entre 2008 et 2016<sup>3</sup>). Ces évolutions de population sont toutefois inégales au sein du territoire d'étude : 10 % des communes connaissent une diminution de la population supérieure à 1 % et 75 % une augmentation de leur population communale de plus de 4 %.

Ces tendances sont présentées à la [Figure 5.d](#) et à la [Figure 5.e](#).

<sup>3</sup> Source : INSEE - Populations légales en 2008 et en 2016 (France Métropolitaine).



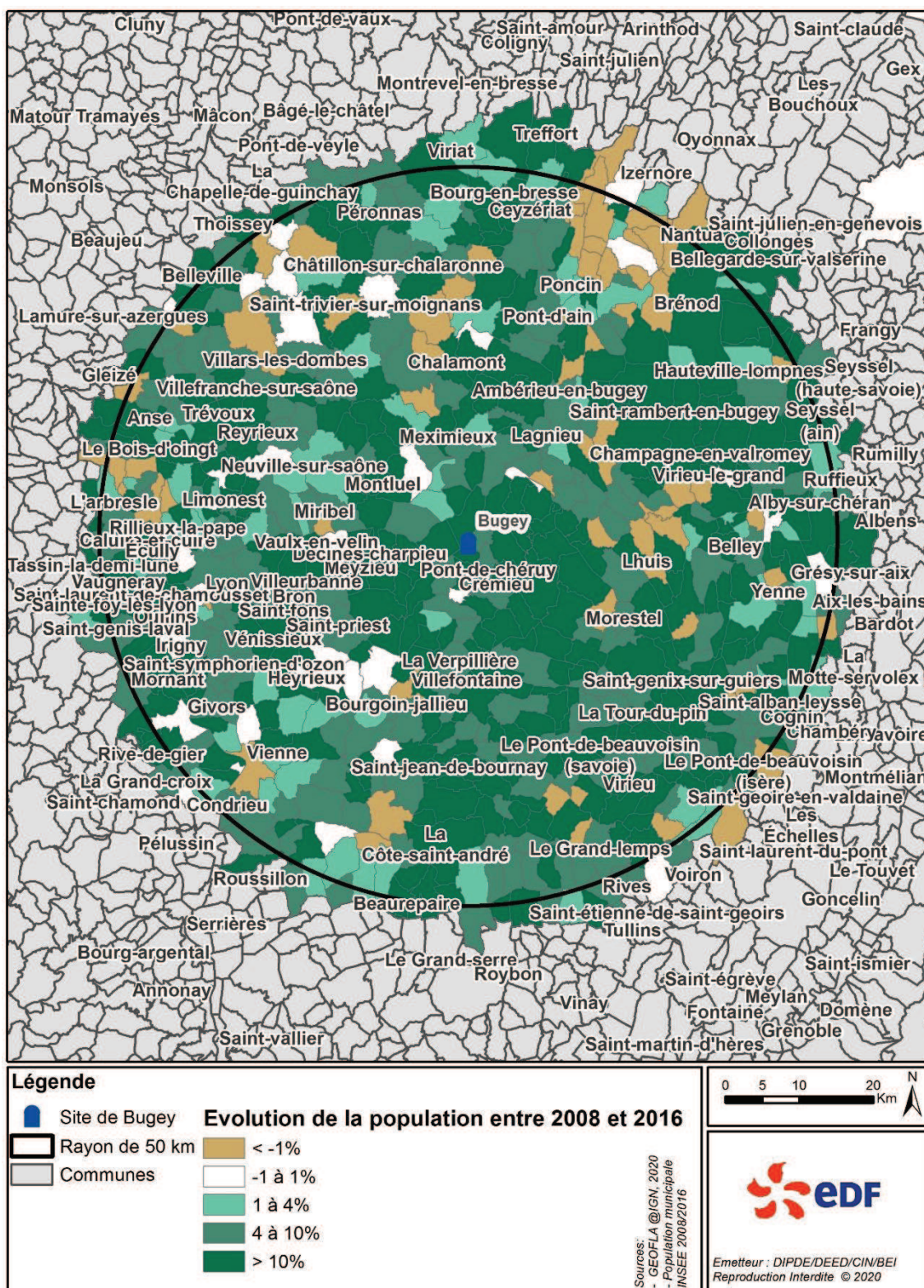


Figure 5.d : Évolution de la population dans un rayon de 50 kilomètres autour du site du Bugey entre 2008 et 2016

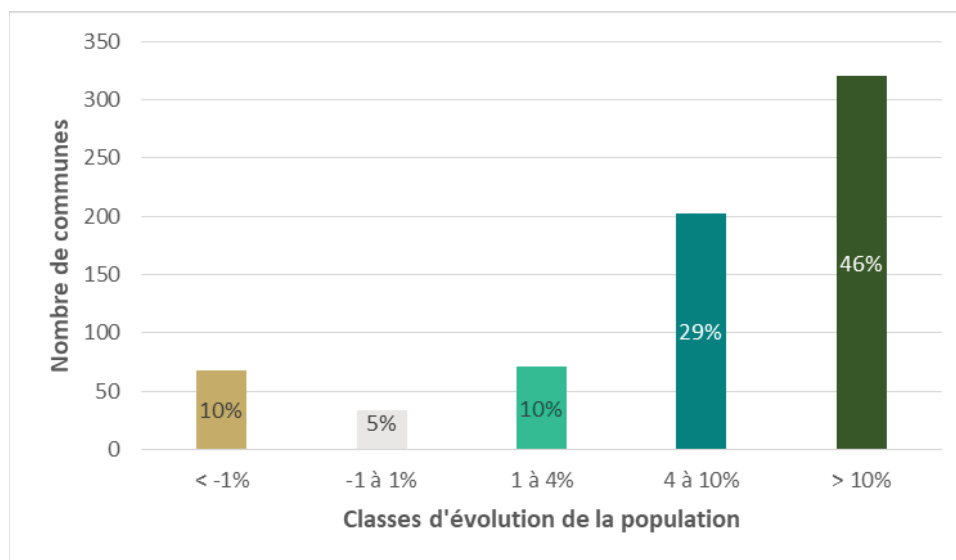


Figure 5.e : Fréquences d'évolution de la population (2008-2016) des communes dans un rayon de 50 kilomètres autour du site du Bugey

#### 5.1.1.1.2.2. Communes de plus de 5 000 habitants au sein de l'aire d'étude élargie

Les communes de plus de 5 000 habitants en 2016 situées dans le rayon de 50 kilomètres autour du site du Bugey sont présentées à la [Figure 5.f](#).

Les communes les plus importantes sont : Lyon (515 695 habitants), Villeurbanne (149 019 habitants) et Vénissieux (65 405 habitants).

Au sein du périmètre d'étude restreint (10 kilomètres), seules les communes de Charvieu-Chavagneux (9 292 habitants), Meximieux (7 669 habitants), Tignieu-Jamezieu (7 145 habitants), Lagnieu (7 090 habitants) et Pont-de-Chéruy (5 703 habitants) dépassent les 5 000 habitants.



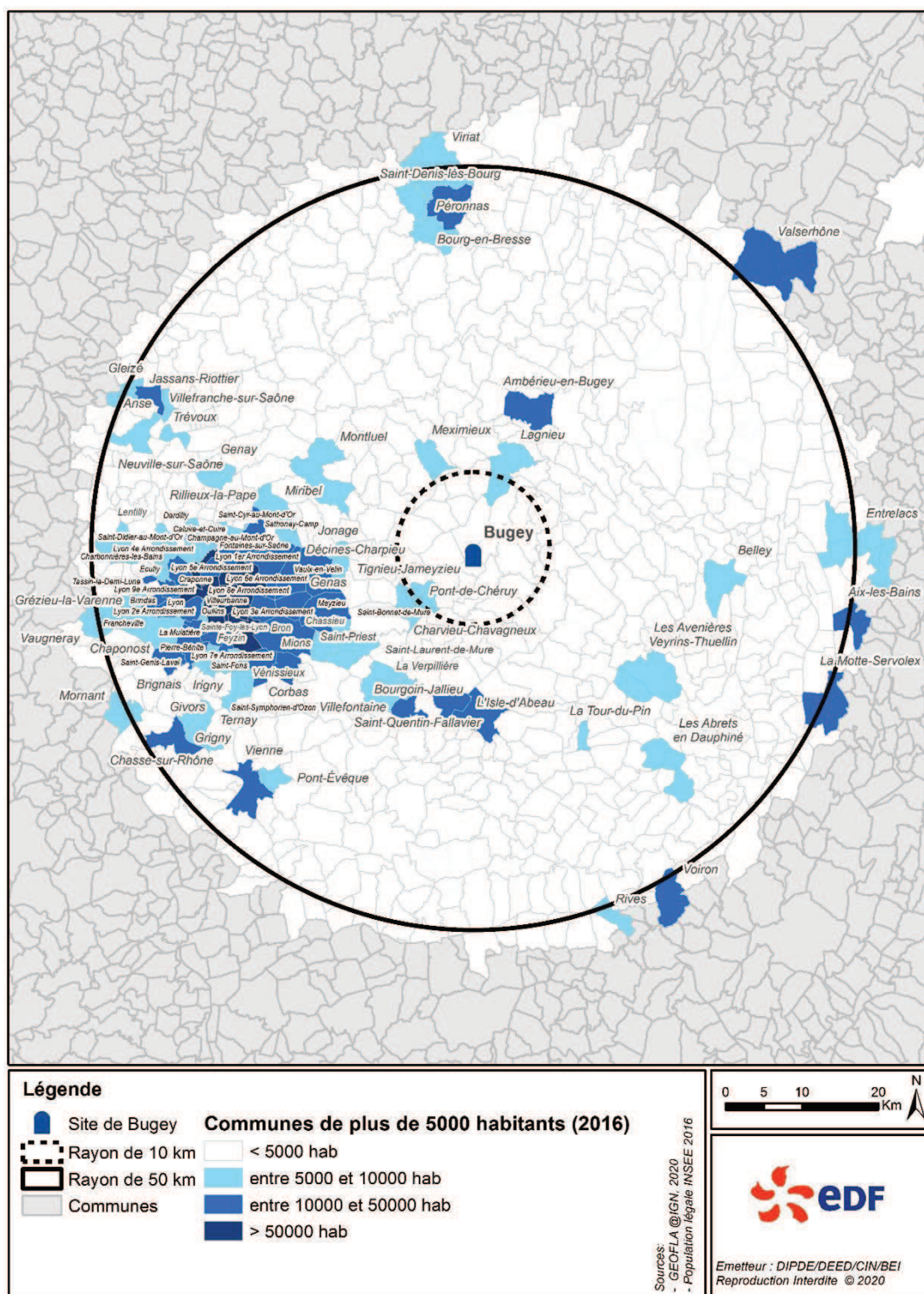


Figure 5.f : Communes de plus de 5 000 habitants dans un rayon de 50 kilomètres autour du site du Bugey en 2016

### 5.1.1.2. IDENTIFICATION DES POPULATIONS D'INTERET A PROXIMITE DU SITE DU BUGEY

L'identification des populations au sein de la zone d'étude restreinte repose sur les critères suivants :

- la localisation des populations sensibles ;
- la localisation des zones habitées les plus proches du site du Bugey.

#### 5.1.1.2.1. Populations sensibles dans un rayon de 10 kilomètres autour du site du Bugey

La prise en compte des populations sensibles repose sur l'identification des établissements suivants :

- les établissements scolaires (écoles maternelles et primaires) ;
- les Établissements d'Accueil du Jeune Enfant (EAJE) : ces structures sont autorisées à accueillir de manière non permanente des enfants de moins de 6 ans ;
- les établissements de santé publique, sociaux et médico-sociaux.

La localisation de ces établissements est présentée à la [Figure 5.g](#) pour les établissements scolaires et d'accueil du jeune enfant, et à la [Figure 5.h](#) pour les établissements de santé publique, médico-sociaux et sociaux. Un focus sur les éventuels établissements présents à proximité immédiate du site du Bugey (périmètre de 1 kilomètre) est également réalisé à la [Figure 5.i](#).

Les populations sensibles les plus proches sont localisées à environ 600 mètres au nord des limites foncières du site, sur la commune de Saint-Vulbas.



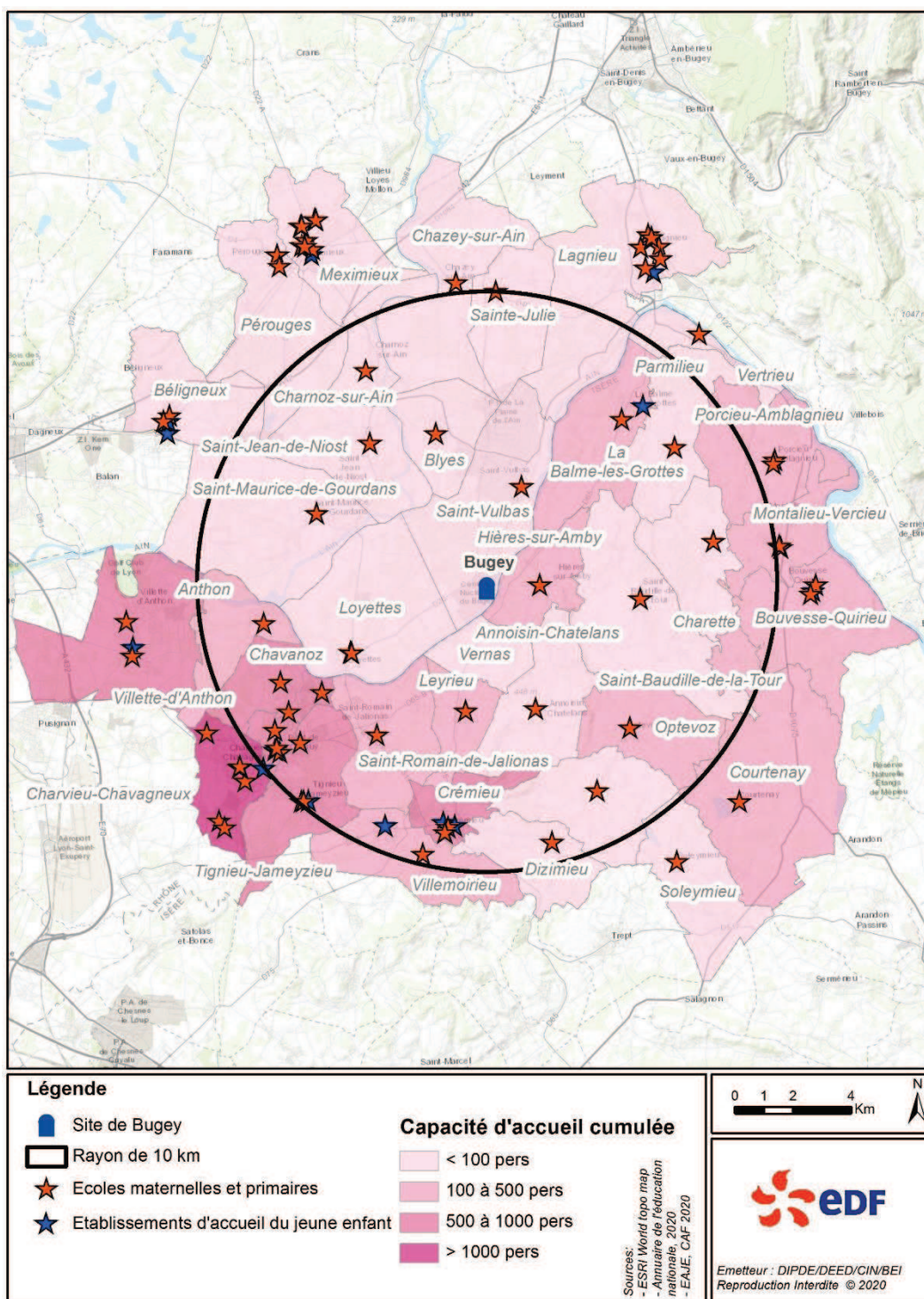


Figure 5.g : Établissements scolaires et d'accueil du jeune enfant des communes dans un rayon de 10 kilomètres autour du site du Bugey



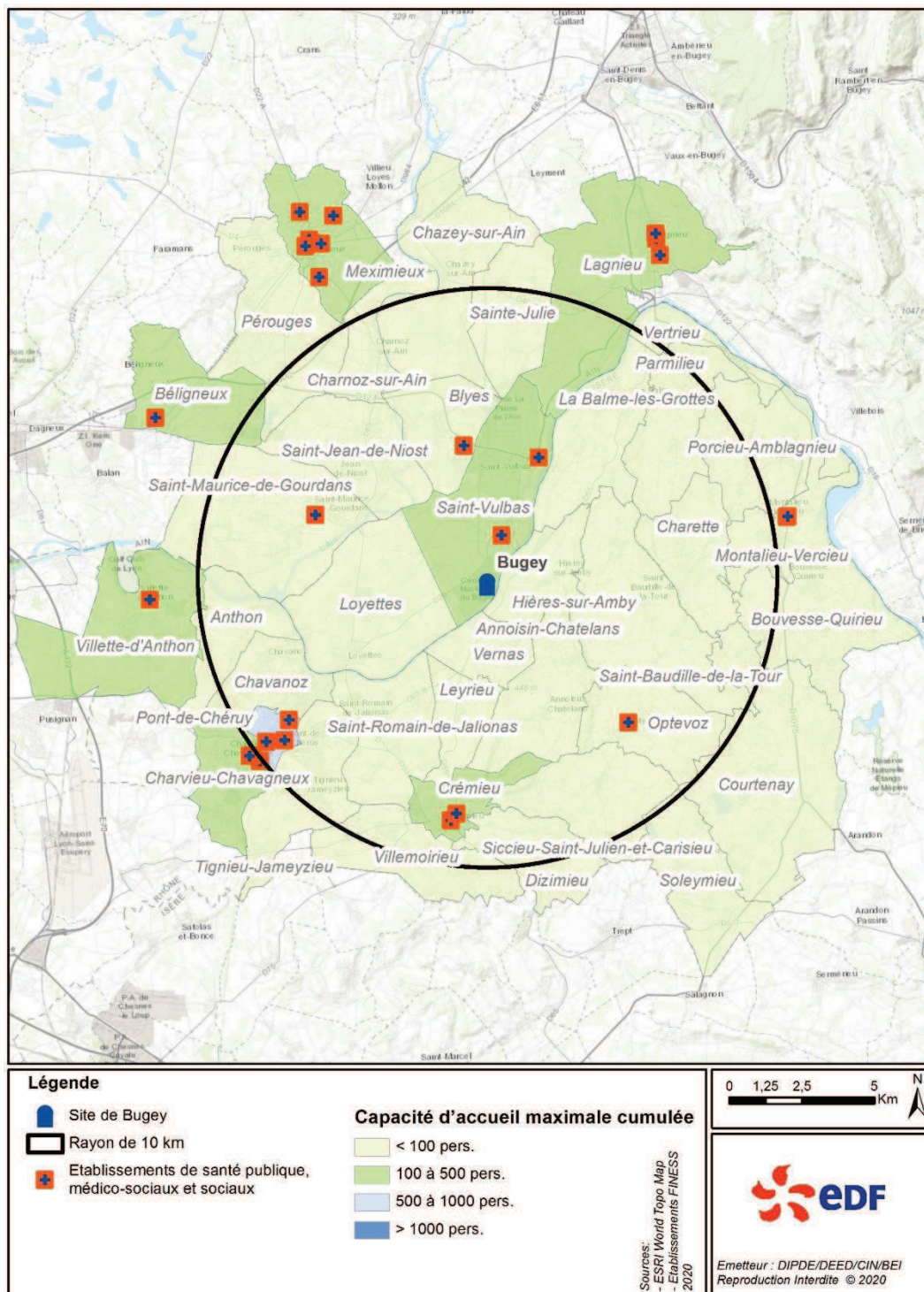


Figure 5.h : Établissements de santé publique, médico-sociaux et sociaux des communes dans un rayon de 10 kilomètres autour du site du Bugey



### 5.1.1.2.2. Zones habitées les plus proches du site du Bugey

Cette section s'attache à présenter la localisation des zones habitées aux environs immédiats du site du Bugey (dans un périmètre de 1 kilomètre), à partir des données de la BD Topo IGN<sup>4</sup> et de la cartographie Corine Land Cover 2018.

Comme présenté à la [Figure 5.i](#), les habitations les plus proches sont localisées à proximité immédiate des limites foncières nord du site, sur la commune de Saint-Vulbas.

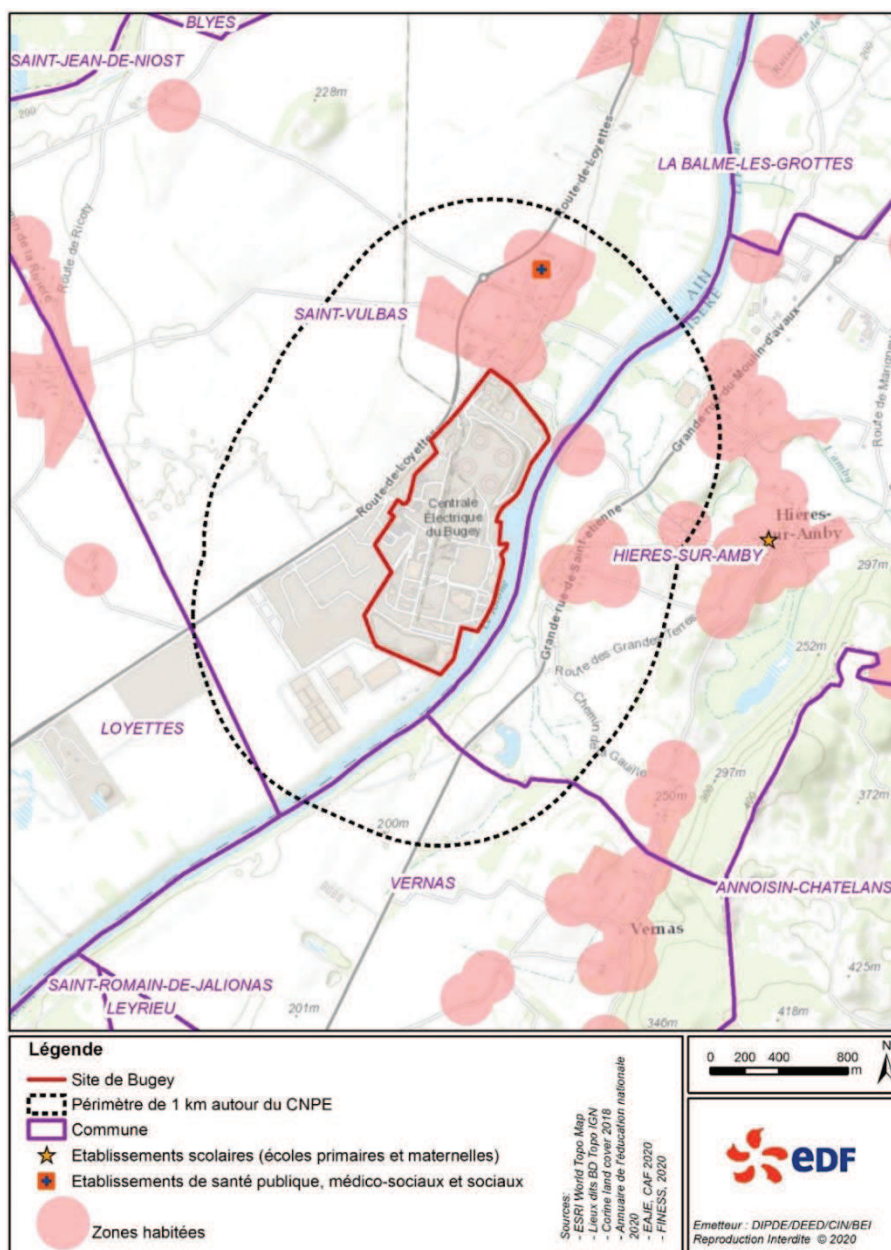


Figure 5.i : Habitations les plus proches dans un périmètre de 1 kilomètre autour du site du Bugey

<sup>4</sup> Composante topographique du RGE® (Référentiel à Grande Echelle) produit par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) français, la BD TOPO® est la modélisation 3D du territoire et de ses infrastructures.

## 5.1.2. SYNTHÈSE DES ENJEUX SUR LA POPULATION

Comme indiqué à la [Figure 5.i](#), les premières habitations sont situées au nord à proximité immédiate du site du Bugey, et les populations sensibles<sup>5</sup> les plus proches à environ 600 mètres au nord des limites foncières du site.

### ↳ ÉVOLUTION PROBABLE DE LA POPULATION

Il est à noter l'existence de scénarios de projections de l'évolution des populations départementales et régionales à l'horizon 2040, réalisés par l'INSEE sur la base des évolutions probables de la fécondité, de la mortalité et des quotients migratoires<sup>6</sup>. Entre 2007 et 2040, l'évolution démographique annuelle anticipée pour le département de l'Ain (population départementale estimée à 773 000 habitants en 2040) est de 0,91 % et de 0,56 % pour la région Auvergne-Rhône-Alpes (population régionale estimée à 8 899 000 habitants en 2040). Ces valeurs sont à comparer au taux de croissance annuel moyen de la population en France métropolitaine (0,41 % sur la même période). En conséquence, l'état initial de l'environnement actuellement décrit ne devrait pas être amené à évoluer significativement à l'horizon 2040.

<sup>5</sup> La prise en compte des populations sensibles repose sur l'identification des établissements scolaires, d'accueil du jeune enfant, de santé publique, médico-sociaux et sociaux.

<sup>6</sup> Source : INSEE, La population des régions en 2040, INSEE PREMIERE n°1326, décembre 2010.

# 5.2.

## ANALYSE DES INCIDENCES SUR LA POPULATION ET LA SANTÉ HUMAINE

Pour rappel, la mise en service de l'ICEDA a eu lieu en septembre 2020 et le conditionnement des premiers déchets actifs a eu lieu en septembre 2021. Aucune donnée de Retour d'EXpérience (REX) n'est disponible pour évaluer l'incidence de l'ICEDA à la date de rédaction de la présente étude.

### 5.2.1. ÉVALUATION DE L'IMPACT DOSIMÉTRIQUE À L'HOMME DES REJETS RADIOACTIFS

#### ↳ DEFINITIONS

L'**activité** des radionucléides qui composent une source radioactive correspond au nombre de désintégrations spontanées de noyaux d'atomes par unité de temps (la seconde) ; elle s'exprime en **becquerel** (1 Bq = 1 désintégration par seconde). À titre informatif, le corps humain d'un adulte contient entre autres une activité de l'ordre de 6 500 Bq de potassium 40 ( $^{40}\text{K}$ ) dont l'origine est naturelle.

Les relations entre les caractéristiques de la source, l'exposition et les conséquences de l'interaction des rayonnements avec la matière sont complexes. Elles sont étudiées par le biais de la **dosimétrie**, dont la finalité est l'évaluation de la **dose**.

La **dose efficace** est la somme des doses absorbées par tous les tissus, pondérée pour tenir compte de la qualité du rayonnement ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ...) et de la radiosensibilité relative du tissu exposé. La dose efficace a pour objectif d'apprécier le risque total et s'exprime en sievert (Sv). Elle est appelée communément « **dose** ».

#### ↳ LIMITE ANNUELLE D'EXPOSITION

L'article R. 1333-11 du code de l'environnement fixe à 1 mSv par an la limite de dose efficace pour l'exposition de la population à des rayonnements ionisants résultant de l'ensemble des activités nucléaires.

## 5.2.1.1. ÉVALUATION DE L'IMPACT DOSIMÉTRIQUE A L'HOMME DES REJETS D'EFFLENTS RADIOACTIFS

### 5.2.1.1.1. Démarche Générale

L'évaluation de l'impact dosimétrique à l'homme des rejets d'effluents radioactifs de l'installation est réalisée selon les étapes présentées ci-dessous, qui sont explicitées dans les [Paragraphe 5.2.1.1.2 à 5.2.1.1.6](#) :

- Étape 1 : Caractérisation des rejets d'effluents radioactifs à prendre en compte ;
- Étape 2 : Caractérisation de l'environnement autour de l'ICEDA ;
- Étape 3 : Évaluation des transferts des radionucléides rejetés dans les différents compartiments de l'environnement jusqu'à l'homme ;
- Étape 4 : Évaluation de l'exposition des populations riveraines ;
- Étape 5 : Présentation des résultats avec comparaison de la dose efficace totale reçue par la personne représentative (Cf. [Paragraphe 5.2.1.1.5.2.4](#)) à la limite réglementaire de 1 mSv/an.

À l'étape 1, il est considéré de manière enveloppe les limites de rejets d'effluents radioactifs.

Les étapes 2, 3 et 4 font appel à l'utilisation du code de calcul SYMBIOSE, développé par l'IRSN. La présente évaluation est effectuée avec la version V2.1.3 de ce code. Les principales hypothèses et caractéristiques des calculs sont rappelées dans le présent document. Le détail de l'ensemble de l'étude et des paramètres utilisés dans les calculs sont présentés en [Annexe 3](#).

### 5.2.1.1.2. Caractérisation des rejets d'effluents radioactifs à prendre en compte

L'évaluation de la dose efficace reçue par les personnes du public vivant au voisinage de l'ICEDA est faite en considérant les limites de rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère.

L'ensemble des radionucléides et des activités rejetées pris en compte dans les calculs est donné en [Annexe 3](#).

Pour les rejets aux limites, les autorisations de rejet sont données par famille de radionucléides. L'évaluation de l'impact dosimétrique nécessite une donnée d'entrée plus détaillée : il est nécessaire d'attribuer les activités rejetées à des radionucléides particuliers. Pour cela, le spectre théorique des rejets radioactifs de l'ICEDA est utilisé.

### 5.2.1.1.3. Caractérisation de l'environnement autour de l'ICEDA

L'évaluation de l'impact dosimétrique à l'homme des rejets d'effluents radioactifs de l'installation est réalisée en tenant compte du paysage autour de l'installation. Le paysage est une représentation du territoire qui permet de prendre en compte la spécificité et l'hétérogénéité spatiale des caractéristiques environnementales, telles que l'occupation du sol (zones agricoles, d'habitation...) ou la topographie du site. Le paysage, dans le cadre de la présente étude, est décrit à partir des composantes suivantes :

- Le site nucléaire : caractérisé par ses points de rejet en milieu fluvial et les émissaires de rejet en milieu atmosphérique ;
- Le milieu terrestre : zones agricoles dédiées aux cultures maraîchères, aux grandes cultures, aux prairies, aux lieux d'élevage ; zones occupées par des surfaces nues et zones d'habitation.

#### 5.2.1.1.4. Évaluation des transferts dans l'environnement

L'évaluation de l'impact dosimétrique à l'homme des rejets d'effluents radioactifs de l'installation nécessite de caractériser la manière dont les radionucléides présents dans les rejets se comportent dans l'environnement depuis les émissaires de rejet jusqu'à l'homme. La [Figure 5.j](#) ci-dessous résume les transferts pris en compte dans le cadre de la présente étude.

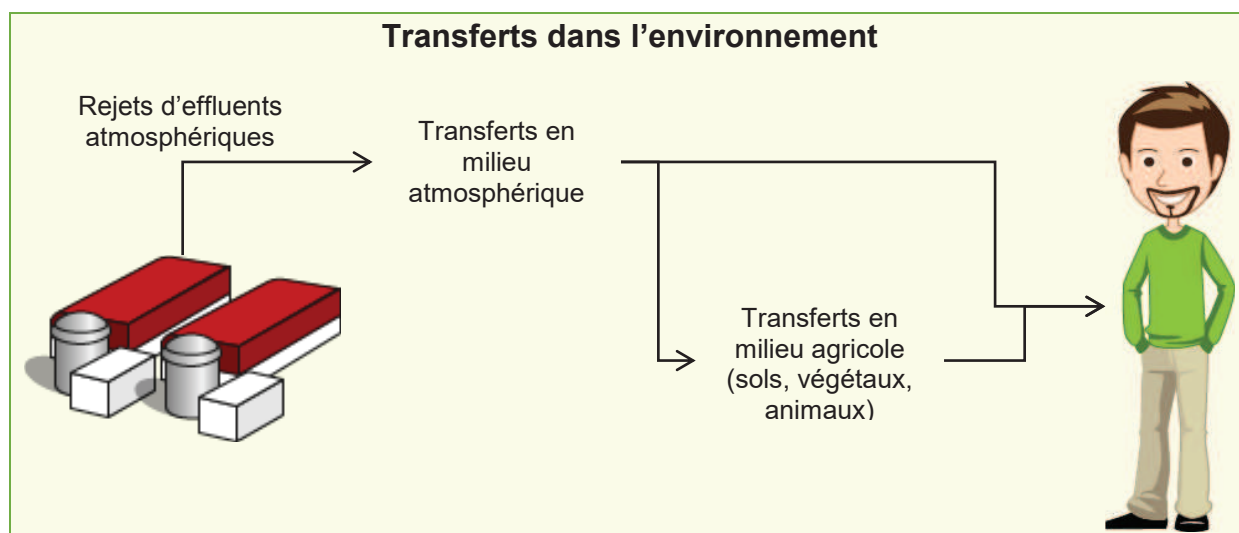


Figure 5.j : Schéma de principe du transfert dans l'environnement des radionucléides

Les transferts des radionucléides dans l'environnement sont évalués pour le calcul à un pas de temps de trois heures sur une durée de cinq ans. Cette durée permet la stabilisation des solutions des équations des modèles de transfert. Les chroniques d'activité au sein des différents compartiments de l'environnement sont fournies à partir des données environnementales exprimées à différents pas de temps, notamment les données météorologiques séquentielles horaires.

Les modèles de transfert sont communs à tous les radionucléides à l'exception du tritium et du carbone 14. En effet, le comportement du tritium et du carbone 14 dans l'environnement est particulier dans la mesure où, en tant qu'isotopes de l'hydrogène et du carbone, ils participent au cycle de ces éléments dans l'environnement naturel. Ils peuvent être présents dans toutes les molécules hydrogénées ou carbonées et par conséquent être associés aussi bien aux composantes minérales qu'à la matière organique des organismes vivants. C'est pourquoi les transferts du tritium et du carbone 14 dans l'environnement seront décrits de manière spécifique lorsque nécessaire.

### ↘ CARBONE 14

Le **carbone 14** suit le cycle du carbone, élément entrant dans la constitution de la matière vivante.

Les **formes chimiques** du  $^{14}\text{C}$  varient suivant le mode de production. Dans l'environnement, le  $^{14}\text{C}$  existe sous deux formes principales ayant des comportements différents, l'une minérale ( $^{14}\text{CO}_2$  principalement), l'autre **organique** (notamment  $^{14}\text{CH}_4$ ). Il est considéré que seule la forme **minérale** est assimilée par les végétaux au cours des processus de synthèse de la matière vivante.

## ↘ TRITIUM

En tant qu'isotope de l'**hydrogène**, le **tritium** est intimement lié au cycle de cet élément dans l'environnement. Il peut être présent dans toutes les molécules hydrogénées, être associé aussi bien à l'eau tissulaire qu'à la matière organique des végétaux et des animaux.

Les **formes chimiques** du tritium considérées sont :

- Le **tritium libre HTO**. Sous cette forme, le tritium est extrêmement mobile dans l'environnement et dans tous les systèmes biologiques, et de ce fait rapidement intégré dans de nombreux cycles de la géosphère et de la biosphère. La rapidité des échanges avec l'hydrogène de l'eau favorise l'homogénéisation des activités en HTO au sein des organismes vivants.
- Le **tritium organiquement lié (TOL)**. Cette forme, qui correspond au tritium lié à la matière organique, résulte de l'incorporation du tritium dans divers composés organiques au cours des processus de synthèse de la matière vivante. La stabilité du tritium au sein de ces composés est variable.

### 5.2.1.1.4.1. Transferts en milieu atmosphérique

La dispersion atmosphérique des rejets est évaluée via l'utilisation d'un modèle de dispersion gaussien implémenté dans SYMBIOSE (Cf. [Annexe 3](#)).

Ce modèle de dispersion atmosphérique prend en compte :

- les caractéristiques des substances rejetées (nature des radionucléides, forme aérosol ou gaz, activités associées),
- les données météorologiques séquentielles horaires associées au site étudié.

### 5.2.1.1.4.2. Transferts en milieu agricole

#### 5.2.1.1.4.2.1. Transferts dans le sol

En l'absence de rejets d'effluents radioactifs liquides, les activités des radionucléides dans un sol agricole sont issues des apports par voie atmosphérique. Le sol peut être nu ou cultivé, tous types de cultures étant possibles : cultures maraîchères, grandes cultures et prairie permanente.

Le transfert d'activité dans le sol se fait par dépôt atmosphérique sec ou humide et par fixation ou migration des radionucléides dans les sols (labour, vieillissement, percolation). Il est considéré que les radionucléides sous forme gazeuse comme le carbone 14 ont une vitesse de dépôt nulle.

Il est considéré que la perte d'eau du sol par évapotranspiration est compensée par les précipitations et par conséquent que la teneur en eau du sol est constante dans le temps.

Pour le tritium, outre le dépôt atmosphérique humide, sont pris en compte des phénomènes d'échange entre la vapeur d'eau atmosphérique et la surface du sol ainsi que l'absorption racinaire (prélèvement par les racines de la plante de l'eau tritiée du sol).

Pour le carbone 14, seuls les transferts plante → sol et air → sol sont pris en compte, la contribution du sol à l'activité du végétal n'est pas prise en compte car elle est négligeable.



#### 5.2.1.1.4.2.2. Transferts dans les végétaux

##### Pour les formes aérosol (tous les radionucléides hors carbone 14 et tritium)

En l'absence de rejets d'effluents radioactifs liquides, les activités des radionucléides dans les végétaux sont issues des apports par voie atmosphérique.

Les principales productions agricoles répertoriées sur le territoire français ont été regroupées selon trois catégories afin de prendre en compte notamment leur appartenance à une famille agronomique, les pratiques agricoles qui leur sont associées et leur comportement relatif aux transferts des radionucléides. Il s'agit respectivement des cultures maraîchères, des grandes cultures, et de la prairie permanente.

Les parcelles agricoles considérées irriguées sont les parcelles dédiées aux productions maraîchères et aux grandes cultures annuelles. L'eau d'irrigation est considérée directement prélevée dans la rivière et l'irrigation est considérée réalisée en continu (indépendamment de la pluviométrie). Le taux d'irrigation dépend du type de culture de la parcelle.

L'activité des radionucléides dans les organes consommés peut résulter d'un transfert foliaire ou d'un transfert racinaire (Cf. [Annexe 3](#)). La prise en compte de ces transferts dépend de la date du dépôt dans le calendrier agricole et de la (ou des) date(s) de récoltes concernées pendant la durée de l'étude.

##### Pour le carbone 14 et le tritium

La photosynthèse constitue le mode principal d'incorporation des formes gazeuses du carbone 14 (CO<sub>2</sub>) et du tritium organiquement lié (TOL) au sein de la matière organique (Cf. [Annexe 3](#)). La dynamique de croissance de la biomasse est prise en compte.

L'apport de tritium sous forme HTO prend en compte plusieurs phénomènes, notamment les phénomènes diffusifs à l'interface feuille-atmosphère et l'absorption racinaire (Cf. [Annexe 3](#)).

#### 5.2.1.1.4.2.3. Transferts dans les produits d'origine animale

Les aliments d'origine animale pris en compte sont les suivants : viande de bœuf, viande de mouton, viande de porc, viande de poulet, lait de vache, œufs de poule.

Le transfert de radionucléides dans le milieu animal se fait par ingestion de produits végétaux locaux. Les rations alimentaires des animaux sont basées sur les calendriers d'affouragement pour les bovins et sont génériques pour les autres animaux considérés (Cf. [Annexe 3](#)).

Pour le tritium, on considère en plus un apport d'activité par inhalation de vapeur d'eau tritiée présente dans l'atmosphère.

### 5.2.1.1.5. Évaluation de l'exposition des populations

#### 5.2.1.1.5.1. Voies d'exposition et classes d'âge

On distingue l'exposition interne, pour laquelle les radionucléides pénètrent dans l'organisme à partir du milieu ambiant (inhalation, ingestion) et l'exposition externe, pour laquelle les radionucléides ne pénètrent pas dans l'organisme (dépôts sur le sol, exposition au panache...).

Les voies d'exposition prises en compte dans le cadre de la présente étude sont les suivantes (Cf. [Figure 5.k](#)) :

- exposition externe au panache d'effluents radioactifs atmosphériques ;
- exposition externe aux dépôts atmosphériques radioactifs sur les sols ;
- exposition interne par inhalation du panache ;
- exposition interne par ingestion de denrées alimentaires.

Trois classes d'âge sont considérées : le jeune enfant de 1 an, l'enfant de 10 ans et l'adulte.

Les coefficients de dose associés aux différentes voies d'exposition sont présentés en [Annexe 3](#).

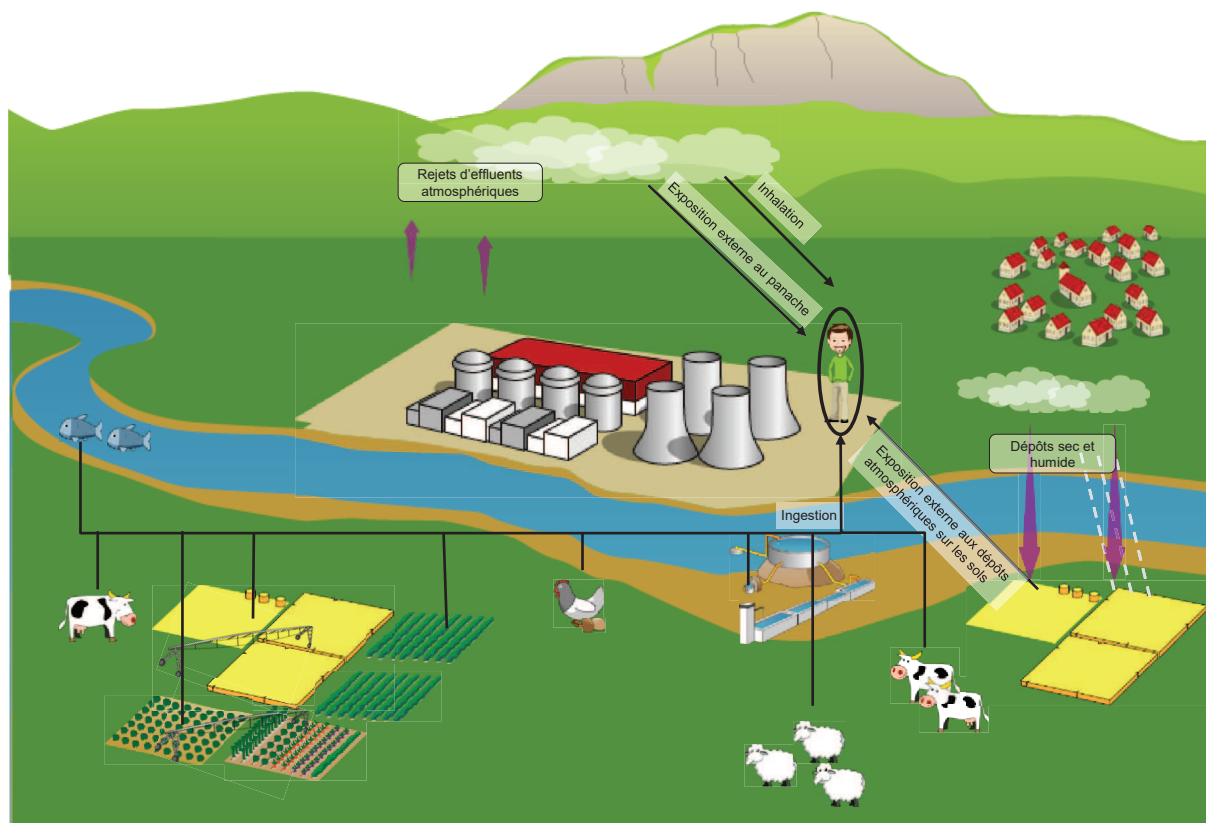


Figure 5.k : Voies d'exposition aux rejets d'effluents radioactifs atmosphériques



#### 5.2.1.1.5.2. Variables humaines d'exposition

Le calcul de dose à l'homme nécessite de définir un scénario d'exposition qui regroupe les principales hypothèses concernant le comportement de la population. On définit ainsi un ensemble de variables humaines d'exposition, notamment :

- **Ration alimentaire**, qui définit le type et la quantité d'aliments ingérés par la population. Elle est assortie d'un taux d'autoconsommation qui permet de préciser la proportion des aliments d'origine locale. Ces données sont nécessaires au calcul de la dose par ingestion.
- **Débits respiratoires** définis selon le type d'activité pratiquée (repos ou activité physique). Ces données sont nécessaires pour évaluer la dose par inhalation.
- **Budgets-temps**, correspondant aux temps passés quotidiennement par la population à faire des activités. Cette donnée est nécessaire pour l'évaluation de l'exposition externe de la population et de son exposition interne par inhalation.

##### 5.2.1.1.5.2.1. Rations alimentaires

Les rations alimentaires retenues sont issues des dernières enquêtes alimentaires présentant des données consolidées et adaptées aux outils de calcul (Cf. [Annexe 3](#)).

À chaque catégorie d'aliment est associé un taux d'autoconsommation, part de la consommation de denrées produites localement exprimée en pourcentage de la quantité totale ingérée. La ration alimentaire dite « autoconsommée » (d'origine locale) correspond alors à la ration alimentaire totale multipliée par le taux d'autoconsommation (exprimé selon une fraction).

Les taux d'autoconsommation appliqués pour chaque catégorie d'aliments ont été établis à partir des enquêtes de l'INSEE disponibles (Cf. [Annexe 3](#)).

##### 5.2.1.1.5.2.2. Débits respiratoires

L'évaluation de l'exposition interne de la population par inhalation nécessite de déterminer des valeurs de débit respiratoire des individus à l'intérieur et en plein air. Ces valeurs sont déduites des débits respiratoires en fonction du niveau d'activité physique (endormi, assis, activité modérée ou intense) et du nombre d'heures journalières consacrées à ces activités, qui sont fournies par les publications 71 et 66 de la CIPR<sup>7</sup>. Les débits respiratoires sont donnés en [Annexe 3](#).

##### 5.2.1.1.5.2.3. Budgets-temps

L'évaluation de l'exposition externe de la population et de son exposition interne nécessite de déterminer les budgets-temps. Ils correspondent aux temps passés quotidiennement par la population à faire des activités qui l'exposent aux différentes voies de transfert. Les activités considérées peuvent avoir lieu à l'extérieur, sur des sols cultivés ou nus ou sur les berges des cours d'eau. Elles peuvent aussi se passer à l'intérieur, avec une exposition atténuée par rapport à l'extérieur.

Les budgets-temps utilisés pour l'étude sont issus de la base CIBLEX (Cf. [Annexe 3](#)). Ils proviennent de valeurs régionalisées pour l'adulte et nationales pour les autres classes d'âge.

<sup>7</sup> Commission Internationale de Protection Radiologique.

#### 5.2.1.1.5.2.4. Détermination de la personne représentative

La personne représentative retenue correspond à la personne recevant une dose, qui est représentative des personnes les plus exposées au sein de la population<sup>8</sup> :

- enfants de 1 an, enfants de 10 ans ou individus adultes ;
- résidant dans un rayon d'environ 5 km autour de l'ICEDA (on suppose ici que les habitants restent toute l'année sur leur lieu d'habitation) ;
- ingérant des produits végétaux impactés par les dépôts atmosphériques ;
- ingérant des produits animaux nourris avec ces végétaux.

La personne représentative correspond aux personnes pouvant recevoir la dose efficace annuelle maximale induite par les rejets d'effluents radioactifs d'un site parmi l'ensemble des lieux d'étude dans un rayon de 5 km autour du site. Au vu des résultats de dose efficace annuelle liée aux rejets d'effluents radioactifs de l'ICEDA (rejets aux limites), la personne représentative est située sur la commune de Vernas.

#### 5.2.1.1.6. Résultats de l'évaluation de l'impact dosimétrique à l'homme des rejets d'effluents radioactifs

Le [Tableau 5.a](#) suivant présente les résultats de dose efficace annuelle liée aux rejets d'effluents radioactifs de l'ICEDA (rejets aux limites avec le spectre des rejets révisé).

Tableau 5.a : Doses efficaces annuelles par voie d'exposition (Sv/an) pour les rejets d'effluents radioactifs aux limites de l'ICEDA avec le spectre des rejets révisé

Dose efficace annuelle pour la personne représentative (Sv/an)	
<b>ADULTE</b>	
Dose efficace annuelle externe hors panache	1,18.10 <sup>-8</sup>
Dose efficace annuelle externe due au panache	2,04.10 <sup>-12</sup>
Dose efficace annuelle interne due à l'inhalation	2,71.10 <sup>-9</sup>
Dose efficace annuelle interne due à l'ingestion	4,30.10 <sup>-9</sup>
Dose efficace annuelle TOTALE	<b>1,88.10<sup>-8</sup></b>
<b>ENFANT DE 10 ANS</b>	
Dose efficace annuelle externe hors panache	1,12.10 <sup>-8</sup>
Dose efficace annuelle externe due au panache	2,10.10 <sup>-12</sup>
Dose efficace annuelle interne due à l'inhalation	2,18.10 <sup>-9</sup>
Dose efficace annuelle interne due à l'ingestion	3,65.10 <sup>-9</sup>
Dose efficace annuelle TOTALE	<b>1,71.10<sup>-8</sup></b>
<b>ENFANT DE 1 AN</b>	
Dose efficace annuelle externe hors panache	1,05.10 <sup>-8</sup>
Dose efficace annuelle externe due au panache	2,13.10 <sup>-12</sup>
Dose efficace annuelle interne due à l'inhalation	2,62.10 <sup>-9</sup>
Dose efficace annuelle interne due à l'ingestion	9,62.10 <sup>-9</sup>
Dose efficace annuelle TOTALE	<b>2,27.10<sup>-8</sup></b>

<sup>8</sup> À l'exclusion des personnes ayant des habitudes extrêmes ou rares.

Pour les personnes représentatives situées sur la commune de Vernas, la dose efficace totale annuelle liée aux rejets d'effluents radioactifs aux limites de l'installation avec le spectre des rejets révisé, toutes voies d'exposition et tous radionucléides confondus, est estimée :

- pour l'adulte, à  $1,88 \cdot 10^{-8}$  Sv/an, soit moins de  $0,1 \mu\text{Sv}/\text{an}$  ;
- pour l'enfant de 10 ans, à  $1,71 \cdot 10^{-8}$  Sv/an, soit moins de  $0,1 \mu\text{Sv}/\text{an}$  ;
- pour l'enfant de 1 an, à  $2,27 \cdot 10^{-8}$  Sv/an, soit moins de  $0,1 \mu\text{Sv}/\text{an}$ .

À titre de comparaison, il apparaît que les doses efficaces annuelles estimées avec le spectre des rejets radioactifs révisé sont du même ordre de grandeur, et même légèrement inférieures, à celles estimées avec le spectre actuellement considéré.

Chacune de ces doses représente moins de 1/10 000 de la limite annuelle d'exposition fixée à 1 mSv par l'article R. 1333-11 du code de la santé publique.

Afin de mettre en perspective les doses calculées par rapport à d'autres modes d'exposition, la [Figure 5.1](#) ci-dessous présente des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes.

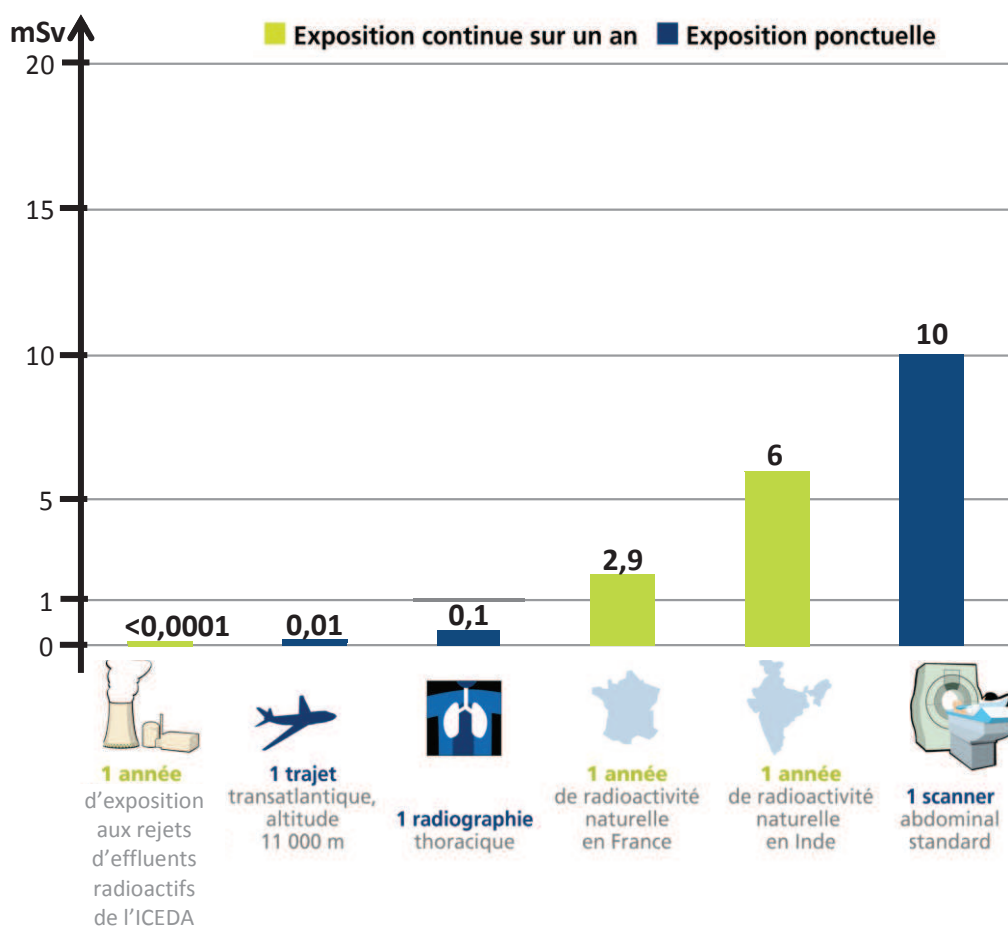


Figure 5.1 : Échelle des expositions

## 5.2.1.2. ÉVALUATION DE L'EXPOSITION DU PUBLIC AUX RAYONNEMENTS IONISANTS PAR IRRADIATION DIRECTE

### ↙ DÉFINITION

L'irradiation externe directe représente l'exposition du public aux rayonnements ionisants provoqués par l'installation.

Dans le cadre de la surveillance de l'environnement, plusieurs balises de mesure de débit de dose gamma ambiant sont implantées en limite du site de Bugey (Cf. [Figure 5.m](#)).

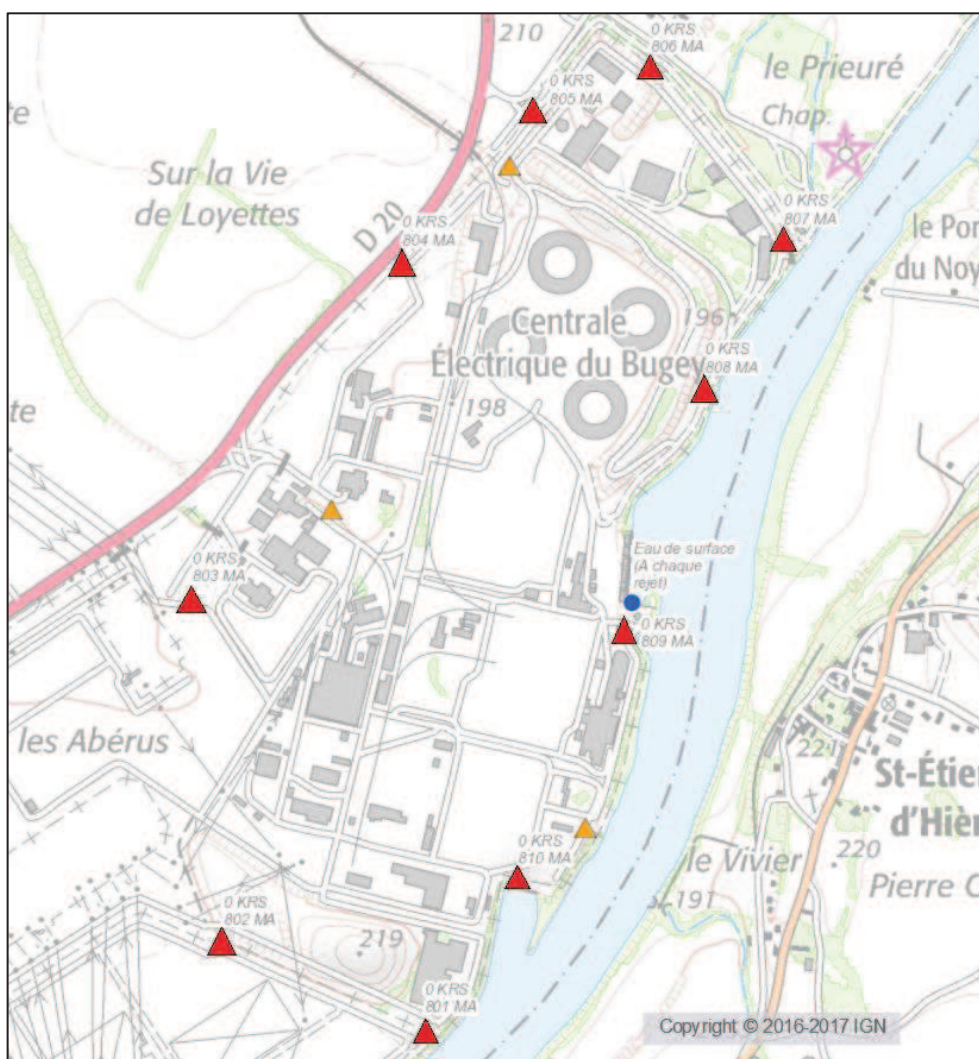


Figure 5.m : Emplacement des balises de mesure du débit de dose gamma ambiant (Triangles rouges) en clôture du site de Bugey sur lequel est implantée l'ICEDA

Étant donné que les balises sont implantées sur le périmètre du site du Bugey, les rayonnements ionisants provenant de l'ICEDA ne sont pas discernables de ceux provenant du CNPE de Bugey et de l'installation en déconstruction de Bugey 1.

La méthode d'évaluation de la dose annuelle due à l'irradiation directe est basée sur la règle d'atténuation en fonction de la distance (atténuation inversement proportionnelle au carré de la distance).

Dans la présente évaluation, il est considéré de manière enveloppe un débit de dose en clôture du site fixé à 114 nSv/h correspondant à la limite réglementaire d'exposition de 1 mSv/an fixée par l'article R. 1333-11 du code de la santé publique. Compte-tenu de l'absence de Retour d'EXpérience, l'évaluation considère donc une valeur maximale et fictive. L'évaluation de l'exposition du public par irradiation directe est effectuée pour la personne représentative déterminée pour les rejets d'effluents radioactifs.

La méthode prend également en compte les temps passés à l'intérieur et à l'extérieur des habitations. Ce budget temps varie selon les sites et selon les classes d'âge (Cf. [Annexe 3](#)).

Pour le scénario où la personne représentative est considérée en permanence à proximité de son habitation pendant le temps qu'elle passe à l'extérieur (scénario réaliste), la dose par exposition externe du fait des rayonnements ionisants est estimée :

- pour l'adulte, à 73  $\mu$ Sv/an ;
- pour l'enfant de 10 ans, à 62  $\mu$ Sv/an ;
- pour l'enfant de 1 an, à 57  $\mu$ Sv/an.

Pour le scénario où la personne représentative passe 1 h de son temps quotidien à l'extérieur à se promener à proximité immédiate de la clôture du site de Bugey (scénario promeneur), la dose par exposition externe du fait des rayonnements ionisants est estimée :

- pour l'adulte, à 110  $\mu$ Sv/an ;
- pour l'enfant de 10 ans, à 99  $\mu$ Sv/an ;
- pour l'enfant de 1 an, à 94  $\mu$ Sv/an.

Ainsi, la dose par exposition externe du fait des rayonnements du site du Bugey en considérant une dose maximale fictive égale à la limite réglementaire en clôture de site, est environ 10 fois inférieure à la limite annuelle d'exposition fixée à 1 mSv par l'article R. 1333-11 du code de la santé publique.

De plus, ces doses calculées sont à comparer avec la dose annuelle due à l'exposition naturelle dans le département de l'Ain, qui est de l'ordre de 620  $\mu$ Sv/an.

### 5.2.1.3. CONCLUSION CONCERNANT L'ÉVALUATION DE L'IMPACT DOSIMÉTRIQUE À L'HOMME

Au vu des doses calculées dans les [Paragraphe 5.2.1.1](#) et [5.2.1.2](#), le cumul des doses reçues par la personne représentative dues aux rejets d'effluents radioactifs et *via* l'irradiation directe ne sont pas susceptibles de remettre en cause le respect de la limite annuelle d'exposition fixée à 1 mSv par l'article R. 1333-11 du code de la santé publique.

## 5.3. SURVEILLANCE

La surveillance des incidences du projet sur les populations avoisinantes et sur leur santé est réalisée à travers la surveillance des incidences du projet sur la radioécologie de l'environnement (présentée au [Chapitre 3](#)).

## 5.4. MESURES D'ÉVITEMENT ET DE RÉDUCTION D'IMPACT ET MESURES COMPENSATOIRES

Les potentielles incidences sur les populations alentour sont dues aux rejets de substances radioactives atmosphériques, pour lesquels les mesures d'évitement et de réduction d'impact ainsi que la justification de leur caractère MTD<sup>9</sup> sont détaillées au [Paragraphe 3.4 du Chapitre 3](#).

Les dépenses associées à la mise en place de ces mesures d'évitement et de réduction sont intégrées aux coûts de conception, d'exploitation et de maintenance de l'ICEDA.

Afin de vérifier l'efficacité des mesures d'évitement et de réduction décrites au [Paragraphe 3.4 du Chapitre 3](#), des mesures de surveillance sont mises en place. Par exemple, l'exposition externe du public est notamment surveillée par des mesures de débit de dose en limite de site. Les mesures de surveillance liées aux rejets radioactifs à l'atmosphère (Cf. [Chapitre 3](#)) contribuent également à garantir l'efficacité des mesures d'évitement et de réduction mises en œuvre pour limiter les impacts sur la population et la santé humaine.

Ces différentes mesures ont été prises en compte lors de l'analyse des incidences sur la population et la santé humaine menée précédemment. Cette analyse ne met pas en évidence d'incidences notables, si bien qu'il n'est pas proposé de mesure supplémentaire d'évitement ou de réduction d'impact ni de mesure de compensation.

<sup>9</sup> MTD : Meilleure Technique Disponible



# 5.5.

## DESCRIPTION DES METHODES UTILISEES

### 5.5.1. ÉVALUATION DE L'IMPACT DOSIMETRIQUE A L'HOMME DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS

#### 5.5.1.1. PRESENTATION DU CODE DE CALCUL

Pour évaluer l'impact dosimétrique sur la population des rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques liés au fonctionnement normal des centrales, EDF dispose de l'outil SYMBIOSE, développé par l'IRSN.

Cet outil est mis à jour régulièrement pour intégrer les dernières avancées scientifiques. Les valeurs des paramètres radioécologiques implémentées dans SYMBIOSE sont validées par l'IRSN et font l'objet de réactualisations en fonction de l'évolution des connaissances.

Les modèles de transfert implémentés dans SYMBIOSE sont reconnus scientifiquement et ont pour la plupart fait l'objet de publications scientifiques. De plus, dans une démarche d'amélioration continue de ces modèles, des expérimentations sur le terrain sont prévues ou en cours.

#### 5.5.1.2. HYPOTHESES DE CALCUL - CONSERVATISMES

Les modèles de transfert implémentés dans SYMBIOSE sont basés sur des bilans massiques en régime non stationnaire respectant la conservation de la masse au sein des différents compartiments de l'environnement.

La dose efficace totale annuelle est déterminée pour la « personne représentative » au sein de la population (adultes, enfants de 10 ans et enfants de 1 an) la plus exposée, à l'exclusion des personnes ayant des habitudes extrêmes ou rares, de sorte que l'ensemble des populations résidant de manière permanente ou temporaire autour du site est soumis à un impact inférieur ou égal à celui calculé pour la personne représentative.

Certains paramètres de l'évaluation de dose efficace annuelle ont des valeurs par défaut intrinsèques au code de calcul. D'autres sont caractéristiques du site étudié (débits, météorologie, habitudes alimentaires des riverains...). La détermination de ces paramètres se fait autant que possible à partir d'études locales récentes.

Par ailleurs, pour évaluer l'impact dosimétrique, des hypothèses concernant les paramètres caractérisant le mode de vie ou la situation géographique ont été prises. Les principales hypothèses retenues sont les suivantes :

- les habitants consomment pour partie des aliments produits dans l'environnement proche du site ;
- ils vivent toute l'année sur leur lieu d'habitation (non prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances...).

Les principaux facteurs d'incertitudes dans l'évaluation de dose sont associés essentiellement à quelques données et paramètres difficiles à acquérir sur le terrain, tels que certaines caractéristiques de l'environnement et les comportements précis des populations riveraines (les rations alimentaires par exemple).

## 5.5.2. ÉVALUATION DE L'EXPOSITION EXTERNE DU PUBLIC AUX RAYONNEMENTS IONISANTS PAR IRRADIATION DIRECTE

### 5.5.2.1. PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE

Pour évaluer l'impact dosimétrique sur la population lié au rayonnement ionisant de l'installation, la méthode utilisée est la règle d'atténuation en fonction de la distance (atténuation inversement proportionnelle au carré de la distance).

Cette règle s'écrit de la manière suivante :

$$DdD_2 = DdD_1 \times (d_1/d_2)^2$$

Avec :

- $DdD_1$  : débit de dose à la clôture du CNPE, située à une distance  $d_1$  de la source,
- $DdD_2$  : débit de dose à une distance  $d_2$  de la source,
- $d_1$  : distance entre l'installation, considérée comme une source ponctuelle, et la clôture du CNPE,
- $d_2$  : distance d'évaluation de la dose reçue par les populations par exposition externe aux rayonnements ionisants du fait de l'installation,

Les calculs sont effectués pour la personne représentative déterminée pour les rejets d'effluents radioactifs. Les débits de dose calculés sont pondérés en fonction du budget-temps de la personne représentative (temps passé par cette personne en extérieur, en promenade le long de la clôture du site ou à proximité immédiate de son habitation ; temps passé à l'intérieur de son habitation avec un facteur de protection de 0,5).



### 5.5.2.2. HYPOTHESES DE CALCUL - INCERTITUDES

Parmi les limites identifiées, on peut citer les suivantes :

L'approche mise en place ne permet de considérer qu'une seule source de rayonnement ionisant, c'est-à-dire que toute l'activité est attribuée à une source ponctuelle localisée au barycentre des bâtiments réacteurs. De plus, il est considéré qu'il n'y a pas d'écran entre la source de rayonnement ionisant et l'individu et que le terrain n'a pas de relief.

Par ailleurs, il est considéré de manière pénalisante un débit de dose 1 mSv/an en limite de site correspondant à la limite annuelle d'exposition fixée par l'article R. 1333-11 du code de la santé publique, indépendamment de la distance entre chaque balise et la source du rayonnement considéré. Ce débit de dose gamma ambiant enveloppe ne correspond pas à une mesure réelle, et est indépendant des termes sources de l'installation.

Les principaux facteurs d'incertitude associés à l'évaluation de la dose due à l'irradiation directe sont essentiellement liés aux raisons évoquées ci-dessus.

## 5.6. CONCLUSION

L'analyse montre que les modifications demandées n'ont **pas d'incidence notable sur la santé des populations avoisinantes**.