

Cartographie du potentiel d'émanation du radon en Auvergne

Rapport final
BRGM/RP-55940-FR
Novembre 2007



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PREFECTURE DE LA REGION AUVERGNE

Direction Régionale de l'Équipement Auvergne Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales d'Auvergne



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Cartographie du potentiel d'émanation du radon en Auvergne

Rapport final

BRGM/RP-55940-FR
Novembre 2007

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2007 07POLE03

B. Tourlière
Avec la collaboration de
C. Bertin et D. Rouzaire

Vérificateur :

Nom : D. Bonijoly

Date : 25/02/08

Signature :



Approbateur :

Nom : P. Rocher

Date : 29/02/08

Signature :



Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PREFECTURE DE LA REGION AUVERGNE

Direction Régionale de l'Équipement Auvergne Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales d'Auvergne



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots clés : aléa radon, Auvergne, cartographie, exposition, formations géologiques, uranium, failles, sources thermales, AEP

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Tourlière B., collab. Bertin C. et Rouzaire D. (2007) - Cartographie du potentiel d'émanation du radon en Auvergne. Rapport final BRGM/RP-55940-FR 59 p., 21 ill., 3 an. et 3 cartes hors texte.

© BRGM, 2007, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Cette étude s'inscrit dans le cadre des orientations du Plan Régional Santé Environnement adopté en Auvergne pour la période 2005-2008, qui prévoit notamment la mise en œuvre de mesures de prévention pour réduire l'exposition au gaz radon à l'intérieur des habitations. Elle vise à améliorer la connaissance de cette problématique dans la région, par l'identification de secteurs géographiques différenciés en terme de potentiel d'émissions telluriques.

Nous avons utilisé un ensemble de données géoscientifiques comprenant des cartes géologiques, des failles, des résultats d'analyses géochimiques, des indices et permis miniers, des sources thermo-minérales qui nous ont permis d'attribuer des scores traduisant l'aléa radon pour chaque élément géologique, et de produire un ensemble de cartes qui permettent d'apprécier les contrastes territoriaux.

Nous avons vérifié la bonne cohérence générale entre l'aléa estimé à partir des paramètres géologiques et les mesures d'exposition au radon dans les bâtiments, disponibles à la DRASS.

Il ressort de cette étude que les formations granitiques du socle, les volcanites acides du Houiller et les formations détritiques du Permien sont celles qui présentent l'aléa radon le plus fort dans la région. Ensuite, se situent les formations métamorphiques du socle puis les formations détritiques tertiaires, quand celles-ci se trouvent à proximité du contact avec le socle.

Les formations volcaniques tertiaires montrent un aléa plus important au niveau des roches intermédiaires et différenciées (trachytes, mugéarites, phonolites) comparativement aux roches basiques (basaltes, basanites, hawaïtes...).

Les autres formations sédimentaires mésozoïques ou tertiaires sont associées à un aléa faible. L'aléa n'a pas pu être estimé pour les alluvions récentes car on ne dispose pas de mesure directe de leur teneur en uranium, et le caractère hétérogène de ces formations ne permet pas d'estimer un aléa moyen.

Il ne faut toutefois pas oublier que des phénomènes locaux, comme la présence de faille ou de cavité naturelle ou anthropique, peuvent favoriser l'exhalaison du radon même dans une formation géologique à faible aléa.

Sommaire

1. Cadre du projet	9
1.1. CONTEXTE	9
1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE.....	10
1.3. DONNEES DE BASE	10
2. Généralités sur le radon.....	11
2.1. RAPPEL CONCERNANT LA RADIOACTIVITE	11
2.2. ORIGINE DU RADON.....	12
2.3. RADON ET SANTE	13
3. Données d'exposition au radon dans les bâtiments disponibles en Auvergne	15
4. Cadre géologique	21
5. Cartographie du potentiel d'émission tellurique	25
5.1. ESTIMATION DES TENEURS EN URANIUM DES FORMATIONS GEOLOGIQUES	25
5.2. PRISE EN COMPTE DES INDICES ET PERMIS MINIERS	29
5.3. INFLUENCE DES FAILLES.....	31
5.4. PREMIER CALCUL DE L'ALEA RADON.....	31
5.5. PRISE EN COMPTE DES PERMIS D'EXPLORATION MINIERE POUR L'URANIUM DANS L'APPROCHE DE L'ALEA RADON	35
6. DONNEES COMPLEMENTAIRES	43
6.1. SOURCES THERMALES	43
6.2. RAYONNEMENT ALPHA ET BETA DES POINTS DES RESEAUX D'AEP	43
6.3. MESURES D'EXPOSITION AU RADON DANS LES BATIMENTS	45
7. Discussion.....	47
8. Conclusion	49

Liste des illustrations

III. 1 - Départements prioritaires pour la mesure de l'exposition au radon	9
III. 2 - Chaîne de désintégration de l'uranium 238	12
III. 3 - Communes présentant au moins une mesure d'exposition radon supérieure ou égale à 400 Bq/m ³	17
III. 4 - Report des teneurs moyennes en radon constatées dans les seuls bâtiments ayant fait l'objet de mesures avant 2007	18
III. 5 - Report des teneurs maximales en radon constatées dans les seuls bâtiments ayant fait l'objet de mesures avant 2007	19
III. 6 - Carte géologique de la région Auvergne (d'après la carte géologique de la France à 1/1 000 000)	22
III. 7 - Légende de la carte géologique de la région Auvergne	23
III. 8 - Teneurs estimées en uranium des formations géologiques	25
III. 9 - Teneur moyenne en uranium des roches volcaniques du Massif central	26
III. 10 - Carte des teneurs moyennes en uranium des formations géologiques	27
III. 11- Carte des teneurs maximales en uranium des formations géologiques	28
III. 12 - Nombre d'indices d'uranium par formation géologique	29
III. 13- Présentation des premières données support de l'analyse : carte des teneurs maximales en uranium par formation, des indices d'uranium et des permis miniers pour uranium	30
III. 14 - Carte des failles et de la sismicité récente	32
III. 15 - Zones d'influence des failles (« bufferisation ») en fonction de la sismicité associée	33
III. 16 - Aléa radon calculé en prenant en compte les formations géologiques (teneurs moyennes en uranium), les indices d'uranium et les failles	34
III. 17 - Aléa radon estimé à partir de l'ensemble des indications de potentiel uranifère : teneurs moyennes en uranium des formations géologiques, indices d'uranium, failles et permis d'exploration minière	36
III. 18 - Score uranium moyen des formations géologiques	37
III. 19 - Liste des communes présentant un score uranium moyen supérieur à 5 (aléa radon important)	39
III. 20 - Liste des communes présentant un score uranium moyen entre 4 et 4.99 (aléa radon important)	41
III. 21 - Hiérarchisation des communes en fonction de l'aléa géologique radon	42
III. 22 - Report des sources thermales et des mesures de rayonnement bêta des points des réseaux d'AEP	44

III. 23 - Grille estimée à partir de la mesure moyenne de l'exposition au radon par commune (a) et valeur moyenne en radon des formations géologiques calculée à partir de la grille précédente (b).....	45
III. 24 - Comparaison entre les teneurs moyennes et maximales en uranium et les valeurs moyennes de l'exposition radon estimée à partir de la grille et du score uranium moyen des formations géologiques.....	48
III. 25 - Alea radon estimé à partir de l'ensemble des indications de potentiel uranifère : formations géologiques (teneurs moyennes en uranium), failles, indices d'uranium, permis miniers et sources thermales	50

Liste des annexes

- Carte n° 1 - Aléa radon calculé en prenant en compte les formations géologiques (teneurs moyennes en uranium), les indices d'uranium et les failles (format A3)
- Carte n° 2 - Valeur moyenne en radon des formations géologiques calculée à partir de la mesure moyenne de l'exposition par commune (format A3)
- Carte n° 3 - Hiérarchisation des communes en fonction de l'aléa géologique radon (format A3)

Annexes hors texte

- Carte n° 1 - Aléa radon des formations géologiques calculé à partir des teneurs moyennes en uranium des formations, des indices d'uranium, des permis miniers pour uranium et des failles. Report des sources thermales (format A0)
- Carte n° 2 - Aléa radon des formations géologiques calculé à partir des mesures radon dans les bâtiments. Report des sources thermales (format A0)
- Carte n° 3 - Hiérarchisation des communes en fonction de l'aléa géologique radon (format A0)

1. Cadre du projet

1.1. CONTEXTE

Le radon est un gaz radioactif naturel généré dans le sous-sol par désintégration du radium, lui-même produit par désintégration de l'uranium. Ce gaz provient donc des minéraux contenant de l'uranium généralement contenus dans les roches granitiques, mais aussi dans d'autres formations géologiques comme celles contenant des phosphates ou des grès.

Ce gaz invisible et sans odeur peut s'accumuler dans l'atmosphère confinée de certains bâtiments et atteindre des concentrations dangereuses pour la santé (risque de développer un cancer du poumon).

De 1982 à 1999, des campagnes de mesure d'exposition ont été menées dans les habitations par l'IPSN (Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire) et la DGS (Direction Générale de la Santé).

Ces mesures ont conduit à identifier sur le territoire national 31 départements (cf. ill. 1) dans lesquels les propriétaires, ou à défaut les exploitants de certains lieux ouverts au public (établissements d'enseignement, établissements sanitaires et sociaux, établissements thermaux, établissements pénitentiaires), sont tenus de disposer, depuis avril 2006, et en application de l'article R1333-15 du code de la santé publique, d'un diagnostic radon de leurs locaux.

Les 4 départements de la région Auvergne sont inclus dans cette liste prioritaire.

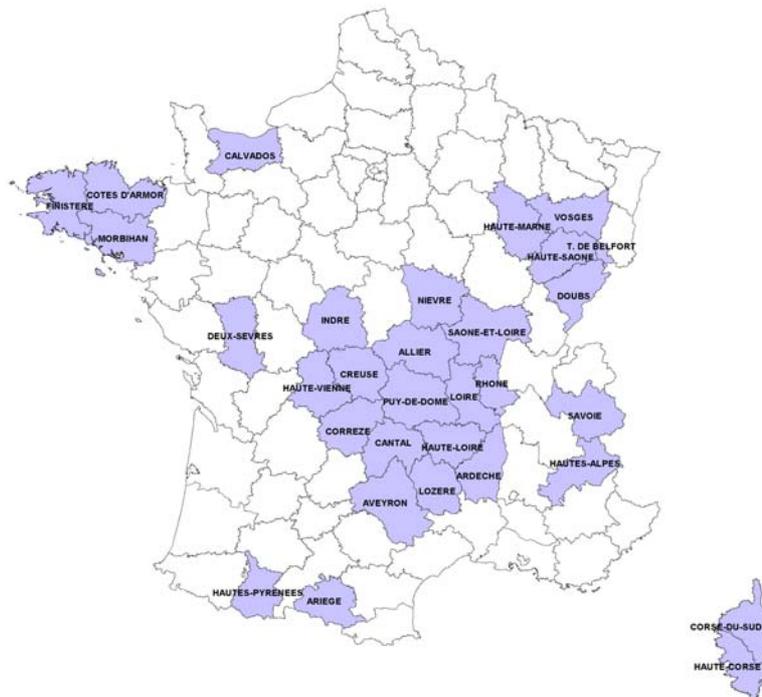


Illustration 1 - Départements prioritaires pour la mesure de l'exposition au radon

En ce qui concerne les locaux d'habitation, le Plan National Santé Environnement et le plan d'actions interministériel pour la gestion des risques liés au radon mettent aujourd'hui l'accent sur l'information du public, tant pour ce qui concerne les risques d'exposition que les moyens de s'en prémunir, le plus souvent très simples.

Cette étude pour la cartographie du potentiel d'émanation du radon en région Auvergne correspond à une convention (SG. DJ/06.305/JMP) signée le 26 novembre 2006 entre l'Etat, représenté par le Préfet de Région, la Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales, la Direction Régionale de l'Equipeement d'Auvergne et le BRGM. Son objectif est l'amélioration de la connaissance de la problématique radon dans l'habitat de la région Auvergne avec deux finalités :

- pour les services chargés des questions de construction, il s'agit de se donner les moyens d'adapter les conseils techniques donnés aux maîtres d'ouvrages en fonction de la localisation de leur projet ;
- pour les services chargés des questions de santé publique, l'amélioration de la connaissance vise à mieux appréhender la distribution géographique des expositions au radon dans l'habitat, afin de progresser dans l'évaluation des risques sanitaires induits pour la population.

L'objectif final pour les services de l'Etat est de disposer de données pertinentes pour informer les personnes concernées (habitants, collectivités, architectes, constructeurs) et documenter une approche épidémiologique.

1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE

Le travail envisagé consiste à produire une cartographie de l'aléa radon (au stade de l'émission) dans la région Auvergne à partir d'un ensemble de données disponibles.

La définition de l'aléa sera précisée en prenant en compte des paramètres issus de la connaissance géologique de la région et des différents travaux qui ont été effectués - comme les prospections pour l'uranium - et d'autres facteurs comme les sources thermales et les failles.

1.3. DONNEES DE BASE

Les données disponibles sont les suivantes :

- La carte géologique de la France à 1/1 000 000 ;
- Les failles de la carte géologique à 1/1 000 000 complétées par les failles issues de l'étude du potentiel géothermique de la Limagne ;
- Les mesures radon dans l'habitat et les ERP (établissements recevant du public) fournies par la DRASS Auvergne ;
- Les sources thermo-minérales ;
- Les mesures de rayonnement alpha et bêta dans les points des réseaux d'AEP (alimentation en eau potable) fournies par la DRASS Auvergne ;
- Les indices minéralisés et les analyses chimiques concernant l'uranium (bases de données BRGM) ;
- Les périmètres des permis miniers.

2. Généralités sur le radon

2.1. RAPPEL CONCERNANT LA RADIOACTIVITE

La radioactivité est l'ajustement du noyau d'un atome d'un état instable (radionucléide ou radioisotope) vers un état stable avec émission d'énergie radioactive sous trois formes :

- **Radiations alpha :**

Une radiation alpha correspond à un noyau d'hélium (deux neutrons et deux protons) accompagnée de la libération d'une quantité donnée d'énergie.

Ces particules qui ont une masse et une charge interagissent facilement avec la matière et sont arrêtées par quelques centimètres d'air ou quelques micromètres de matière solide.

- **Radiations bêta :**

Les radiations bêta sont comparables, au niveau de la masse et de l'énergie, aux électrons mais peuvent avoir une charge négative ou positive (la désintégration bêta correspond à la transformation d'un proton en neutron ou inversement).

Les particules bêta sont bien plus petites que les particules alpha et peuvent voyager jusqu'à 1 m dans l'air.

- **Radiations gamma :**

Les radiations alpha et bêta laissent les nouveaux noyaux dans un état excité qui est réduit par une autre émission d'énergie libérée sous forme de rayonnement gamma.

Il s'agit d'une radiation électromagnétique sans charge ni masse (photons de haute énergie) à fort potentiel de pénétration (50 cm dans les sols et roches et des centaines de mètres dans l'air).

Les principaux éléments radioactifs naturels ont été créés lors de la synthèse originelle de l'univers et incluent le potassium 40, le thorium 232, l'uranium 238 et l'uranium 235. Leur demi-vie, de l'ordre du milliard d'années, leur permet d'être encore présents dans les roches.

La série de décroissance de l'uranium 238 est présentée à titre d'exemple sur l'illustration 2.

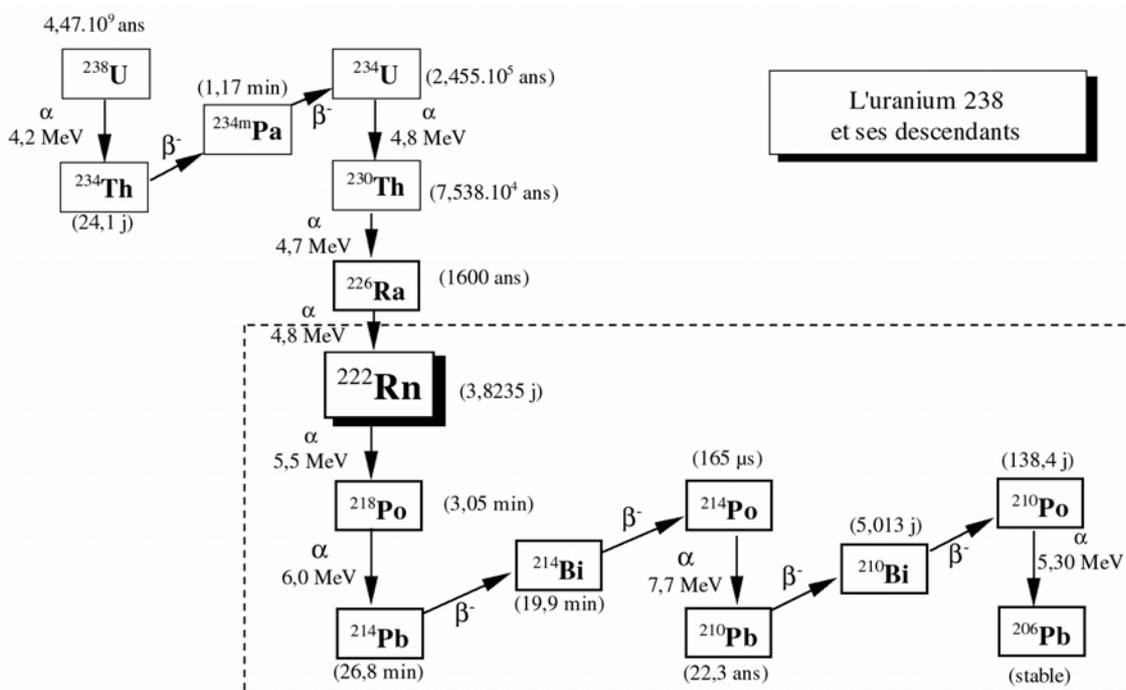


Illustration 2 - Chaîne de désintégration de l'uranium 238
(d'après M.C. Robé, dossier IRSN)

2.2. ORIGINE DU RADON

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle inodore et incolore, provenant de la désintégration du radium, lui-même issu de la désintégration de l'uranium contenu dans la croûte terrestre.

Sa concentration varie selon la nature géologique du sol. Il émane surtout des sous-sols granitiques mais d'autres roches peuvent présenter des concentrations significatives en uranium.

Il diffuse dans l'air à partir du sol ou de l'eau où il peut être dissous. A l'air libre, sa concentration est faible (il est dilué par les vents), mais dans l'atmosphère confinée d'un bâtiment il peut atteindre des concentrations élevées.

Cet élément possède trois isotopes naturels (radon 219, radon 220, radon 222) descendant respectivement des radioéléments uranium 235, thorium 232 et uranium 238. Leurs abondances respectives sont fonction de la teneur des parents dans le sous-sol et de leurs périodes radioactives.

Le radon 222 issu de la désintégration de l'uranium 238 est l'isotope le plus présent dans l'atmosphère, du fait de sa période radioactive suffisamment longue (3,8 jours) pour lui permettre de migrer à l'air libre (ill. 2).

2.3. RADON ET SANTE

2.3.1. Références sanitaires

Le radon est un cancérigène pulmonaire certain pour l'Homme : il est classé dans le groupe 1 dans la classification du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Le radon pénètre dans les poumons avec l'air respiré mais ne reste que quelques secondes dans les voies respiratoires.

En revanche, les descendants solides se déposent dans les poumons et émettent des rayonnements alpha qui irradient les cellules les plus sensibles des bronches (ill. 2). Ce phénomène peut induire le développement d'un cancer.

Le radon est considéré comme la deuxième cause de cancer du poumon, loin derrière le tabac (l'association tabac - radon augmente le risque).

On estime aujourd'hui qu'environ 9 % des cancers du poumon en Europe seraient dus au radon (BEH N° 18-19 du 15 mai 2007).

Pour un site donné, c'est-à-dire à émission constante, la concentration en radon dans les bâtiments varie en fonction de l'ouverture des portes et fenêtres tout au long de la journée (concentrations plus élevées entre 0 et 9 h), ainsi qu'au cours de l'année (concentrations plus élevées en hiver). Elle varie aussi en fonction des caractéristiques de la construction. Dans les endroits clos (sous-sol, vide sanitaire), le radon peut se concentrer et entrer dans les maisons par les fissures, les passages de canalisation, etc ...

Le Becquerel par mètre cube (Bq/m^3) est l'unité de mesure de la concentration du radon dans l'air. Il équivaut à une désintégration d'un atome de radon par seconde.

La mesure d'exposition est effectuée à l'aide d'un dosimètre. Les particules alpha émises par le radon heurtent le film du dosimètre et on compte les impacts sur ce film (durée minimale : deux mois afin d'intégrer les variations de concentrations).

Le dispositif réglementaire mis en œuvre pour les établissements recevant du public (ERP) fixe à 400 Bq/m^3 le niveau limite admissible au-delà duquel une réaction s'impose. D'abord sous la forme d'interventions simples (aération, étanchéité, ...) avant d'envisager, si et seulement si cela s'avère nécessaire, des travaux curatifs plus lourds. Au-delà de 1000 Bq/m^3 , l'intervention se doit d'être rapide.

2.3.2. Mesures de prévention

Les techniques de réduction de la concentration en radon des bâtiments consistent à :

- renouveler l'air intérieur (aération, ventilation quotidienne) ;
- assurer l'étanchéité des sous-sols, des vides sanitaires, des murs, planchers et passages de canalisation ;
- ventiler le sol sous le bâtiment et les vides sanitaires.

3. Données d'exposition au radon dans les bâtiments disponibles en Auvergne

Pour 739 des 1310 communes d'Auvergne pour lesquelles nous avons les résultats des mesures de l'exposition au radon dans les bâtiments, on a rassemblé les 2019 mesures faites dans les habitations et les ERP, puis on a calculé une valeur moyenne à partir de l'ensemble des mesures et la valeur maximum du radon sur la commune (ill. 3).

Il est à noter que ces mesures sont d'origine diverse (habitations pour la campagne IPSN de 1997, ERP pour les campagnes DDASS de 2000 et les diagnostics ERP réglementaires à partir de 2006) et peuvent induire certains biais d'interprétation. C'est le cas par exemple de celles effectuées par les propriétaires d'ERP après mai 2006 car ces propriétaires ne sont tenus de fournir à l'administration que les mesures supérieures à 400 Bq/m³.

Les valeurs transcrites correspondent à des mesures d'activités volumiques effectuées sur de longues périodes (> 2 mois) afin de rendre compte d'une exposition proche de la moyenne annuelle. Elles sont exprimées en Bq/m³ d'air.

Le radon moyen est la moyenne des activités volumiques relevées dans la commune (ill. 4), et le radon maximum représente l'activité volumique maximale enregistrée dans la commune (ill. 5).

Numéro INSEE	Commune	Radon Moyen	Radon maximum	Ecart-type	Nombre de mesures dans la commune
43154	43-PRADELLES	754	4499	1174.4	16
43051	43-LE CHAMBON-SUR-LIGNON	814	4369	1163.7	34
15108	15-LOUBARESSE	1209	2315	1564.12	2
03310	03-VICHY	180	2090	294.6	96
63471	63-YOUX	744	2000	545.69	9
63393	63-SAINT-REMY-SUR-DUROLLE	1744	1744		1
43157	43-LE PUY	230	1631	527	9
03095	03-CUSSET	251	1506	303.5	31
63084	63-CHANONAT	517	1397	600	4
43153	43-PONT-SALOMON	552	1258	578.5	5
43241	43-SOLIGNAC-SUR-LOIRE	430	1224	687.9	3
03165	03-LE MAYET-DE-MONTAGNE	1216	1216		1
03039	03-BRESNAY	520	1215	527.52	7
03048	03-CERILLY	187	1139	339.83	10
15078	15-JABRUN	1128	1128		1
03248	03-SAINT-NICOLAS-DES-BIEFS	1086	1086		1
03091	03-CRECHY	414	1067	570.12	3
63158	63-FAYET-RONAYE	1053	1053		1
15187	15-SAINT-FLOUR	184	1016	282.83	15
63102	63-CHATELDON	424	1006	346.98	7
15028	15-CARLAT	587	960	322.76	3
03042	03-LE BREUIL	948	948		1
63262	63-ORCET	529	941	583.36	2

Cartographie du potentiel d'émanation du radon en Auvergne

Numéro INSEE	Commune	Radon Moyen	Radon maximum	Ecart-type	Nombre de mesures dans la commune
63113	63-CLERMONT-FERRAND	360	923	325.73	15
03066	03-CHATEL-MONTAGNE	598	915	407.02	3
03264	03-SAINT-YORRE	403	909	425.4	4
03195	03-NERIS-LES-BAINS	240	908	229.13	39
03046	03-BUXIERES-LES-MINES	293	900	285.31	10
43111	43-LANDOS	889	889		1
43158	43-QUEYRIERES	515	882	371.1	3
03006	03-ARFEUILLES	466	880	586.19	2
03084	03-COSNE-D'ALLIER	133	880	236.55	12
43224	43-SAINT-SIGOLENE	193	854	262.3	9
63205	63-MANGLIEU	371	850	323.7	4
03071	03-CHAVROCHES	477	845	399.96	5
15197	15-SAINT-MARC	837	837		1
63094	63-CHARENSAT	830	830		1
43166	43-SAINT-ANDRE-DE-CHALENCON	276	830	317.1	5
63293	63-LE QUARTIER	813	813		1
03024	03-BERT	500	787	250.58	3
15211	15-SAINT-SANTIN-CANTALES	420	779	298.59	4
15120	15-MAURIAC	183	779	268.11	7
63349	63-SAINT-GEORGES-DE-MONS	407	772	516.19	2
15089	15-LADINHAC	428	744	447.6	2
63463	63-VISCOMTAT	739	739		1
63075	63-CHAMALIERES	447	736	274.46	3
15255	15-VEZAC	272	710	380.27	3
03249	03-SAINT-PALAIS	692	692		1
63194	63-LEMPTY	282	689	353	3
43136	43-MONISTROL-D'ALLIER	682	682		1
15222	15-SANSAC-VEINAZES	657	657		1
63159	63-FERNOEL	641	641		1
15113	15-MANDAILLES-SAINT-JULIEN	630	630		1
43042	43-CAYRES	326	613	406.59	2
03142	03-LENAX	582	582		1
15045	15-CHAUDES-AIGUES	212	580	206.43	5
63163	63-GELLES	514	574	84.85	2
63148	63-ENNEZAT	291	571	248.25	3
03131	03-ISSERPENT	570	570		1
63034	63-BEAUREGARD-L'EVEQUE	435	569	189.5	2
43141	43-MONTFAUCON-EN-VELAY	127	569	217.5	6
15094	15-LAROQUEBROU	295	549	220.38	3
63072	63-CHABRELOCHE	545	545		1
63441	63-VALCIVIERES	543	543		1
15117	15-MARCOLES	351	543	144.47	5
63077	63-CHAMBON-SUR-LAC	540	540		1
15014	15-AURILLAC	129	535	153.24	19
63248	63-NEBOUZAT	273	526	228.69	3

Numéro INSEE	Commune	Radon Moyen	Radon maximum	Ecart-type	Nombre de mesures dans la commune
43087	43-DUNIERES	228	525	174.1	12
03139	03-LAPRUGNE	521	521		1
15133	15-MONTMURAT	521	521		1
15169	15-SAIGNES	292	514	313.96	2
15250	15-VEBRET	307	513	162.34	4
63008	63-ARCONSAT	509	509		1
15268	15-LE ROUGET	303	507	289.21	2
15224	15-LA SEGALASSIERE	502	502		1
15196	15-SAINT-MAMET-LA-SALVETAT	246	502	221.96	3
43054	43-CHANAILEILLES	277	493	306.18	2
63086	63-LA CHAPELLE-AGNON	328	484	220.62	2
43041	43-BRIVES-CHARENSAC	162	482	164	7
03023	03-BELLERIVE-SUR-ALLIER	77	478	78.2	43
03317	03-VIPLAIX	477	477		1
15121	15-MAURINES	471	471		1
15063	15-DRUGEAC	447	447		1
63470	63-VOLVIC	135	440	115.93	11
63057	63-LE BRUGERON	438	438		1
63233	63-MONTAIGUT	436	436		1
63287	63-LES PRADEAUX	250	430	254.56	2
15258	15-VIC-SUR-CERE	154	428	184.34	4
03197	03-NEUILLY-LE-REAL	135	407	129.65	7
63281	63-PIONSAT	237	406	165.63	3
43002	43-AIGUILHE	94	405	120.1	9
63132	63-CUNLHAT	338	400	106.81	3
63069	63-LE CENDRE	92	400	108.8	10

Illustration 3 - Communes présentant au moins une mesure d'exposition radon supérieure ou égale à 400 Bq/m³

Les expositions maximum mesurées dans un bâtiment sont de 4499 et 4369 Bq/m³. Trente neuf communes (sur les 739 qui ont fait l'objet d'au moins une mesure) présentent au moins une teneur en radon supérieure à 800 Bq/m³ et 101 communes présentent une teneur maximum supérieure à 400 Bq/m³.

Les valeurs faibles peuvent résulter d'une émission tellurique faible ou d'une bonne isolation de l'habitation par rapport aux exhalaisons du terrain sous-jacent (vide sanitaire ventilé, cave, ...) ou d'une bonne aération du logement. Par contre, les valeurs élevées signent immanquablement une émission tellurique forte, éventuellement très localisée.

Globalement, les plus fortes valeurs d'exposition se retrouvent à l'aplomb des formations granitiques du socle, mais on note des exceptions correspondant à des mesures effectuées en Limagne ou dans les volcanites tertiaires du Velay ou du Cantal.

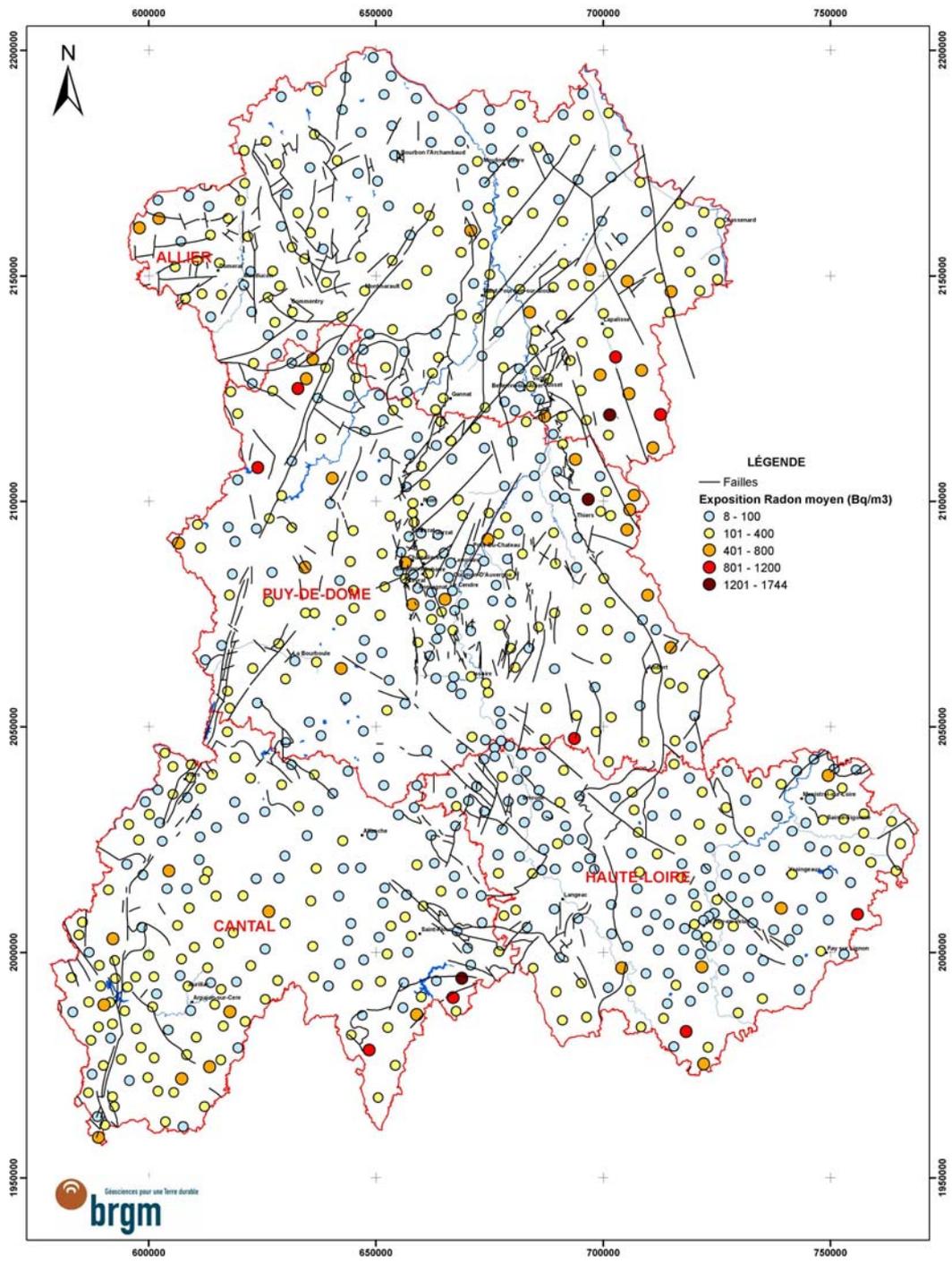


Illustration 4 - Report des teneurs moyennes en radon constatées dans les seuls bâtiments ayant fait l'objet de mesures avant 2007

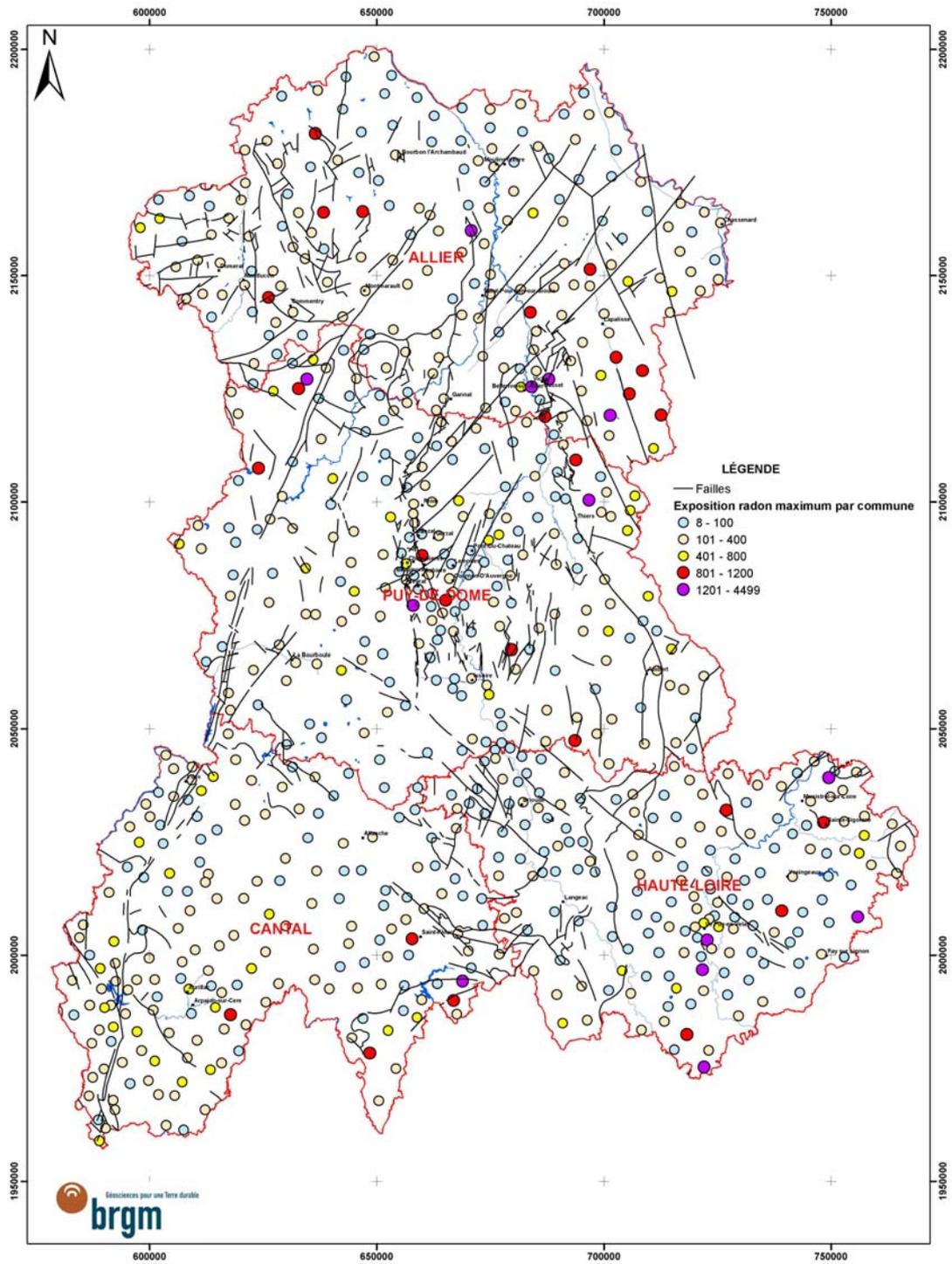


Illustration 5 - Report des teneurs maximales en radon constatées dans les seuls bâtiments ayant fait l'objet de mesures avant 2007

4. Cadre géologique

L'Auvergne offre une grande diversité géologique issue d'une histoire longue et complexe sur plus de 400 millions d'années (Ma), avec plusieurs étapes successives (ill. 6 et 7).

La première étape correspond à l'ouverture d'un domaine océanique à l'emplacement actuel du Massif central. Ce plancher océanique, il y a environ 400 Ma, s'enfonce sous la plaque européenne. L'intense métamorphisme qui en résulte produit des roches dont on retrouve des reliques dans plusieurs régions, notamment dans le Haut Allier.

Il y a environ 380 Ma, la fermeture de l'océan et la collision entre les plaques Afrique et Europe aboutissent à la formation de la chaîne hercynienne, et provoquent de vastes chevauchements des terrains ainsi qu'une intense déformation des roches. Les grands systèmes de failles, qui s'établissent vers 350 Ma, décalent horizontalement l'ensemble de ces terrains métamorphiques et favorisent la mise en place des premiers massifs granitiques.

Cette chaîne est ensuite soumise à une forte érosion qui conduit au passage de l'ensemble des terrains sous le niveau de la mer. Dans les bassins, localisés le long des grandes fractures de l'écorce terrestre, s'accumulent des sédiments riches en débris végétaux, à l'origine des gisements de charbon.

A partir de 250 Ma (début de l'ère secondaire), le Massif central est progressivement envahi par la mer mais les formations sédimentaires qui s'y déposent sont très érodées au cœur du massif et ne subsistent à l'affleurement que dans les grands bassins périphériques. En région Auvergne, elles ne sont observables aujourd'hui que dans son extrémité nord (terminaison méridionale du Bassin de Paris, Allier).

A l'ère tertiaire, il y a 30 à 40 Ma, intervient un nouveau soulèvement général lié à la genèse des Alpes, s'accompagnant de la formation de grandes failles qui compartimentent le massif et délimitent des bassins d'effondrement. En Auvergne, il s'agit notamment des Limagnes (Limagne d'Allier décomposée, du Nord au Sud, en Limagne Bourbonnaise, grande Limagne, Limagne d'Issoire et de Brioude), des bassins du Cher (région de Montluçon), d'Ambert-Arlanc, d'Aurillac, de Saint-Flour et du Puy-en-Velay. Ces bassins sont le siège d'une sédimentation variée, lacustre ou marine, détritique à l'origine (produits de l'érosion) puis carbonatée, évaporitique et marneuse.

Les 15 derniers millions d'années de cette histoire sont marqués par la mise en place progressive des édifices volcaniques dans le Velay (Velay oriental et Devès), le Cantal (plus vaste stratovolcan d'Europe), l'Aubrac, le Cézallier, les Monts-Dore / Sancy (stratovolcan composite) et la Chaîne des Puys. Un volcanisme de moindre importance ou plus dispersé voit également le jour dans le Forez, la vallée de la Sioule, les Limagnes et la Comté.

Les stades les plus récents de l'évolution géologique régionale sont caractérisés par l'érosion des principaux reliefs, processus à l'origine des dépôts glaciaires et périglaciaires en altitude ainsi que des alluvions dans les vallées, notamment celles du fleuve Loire et de la rivière Allier.

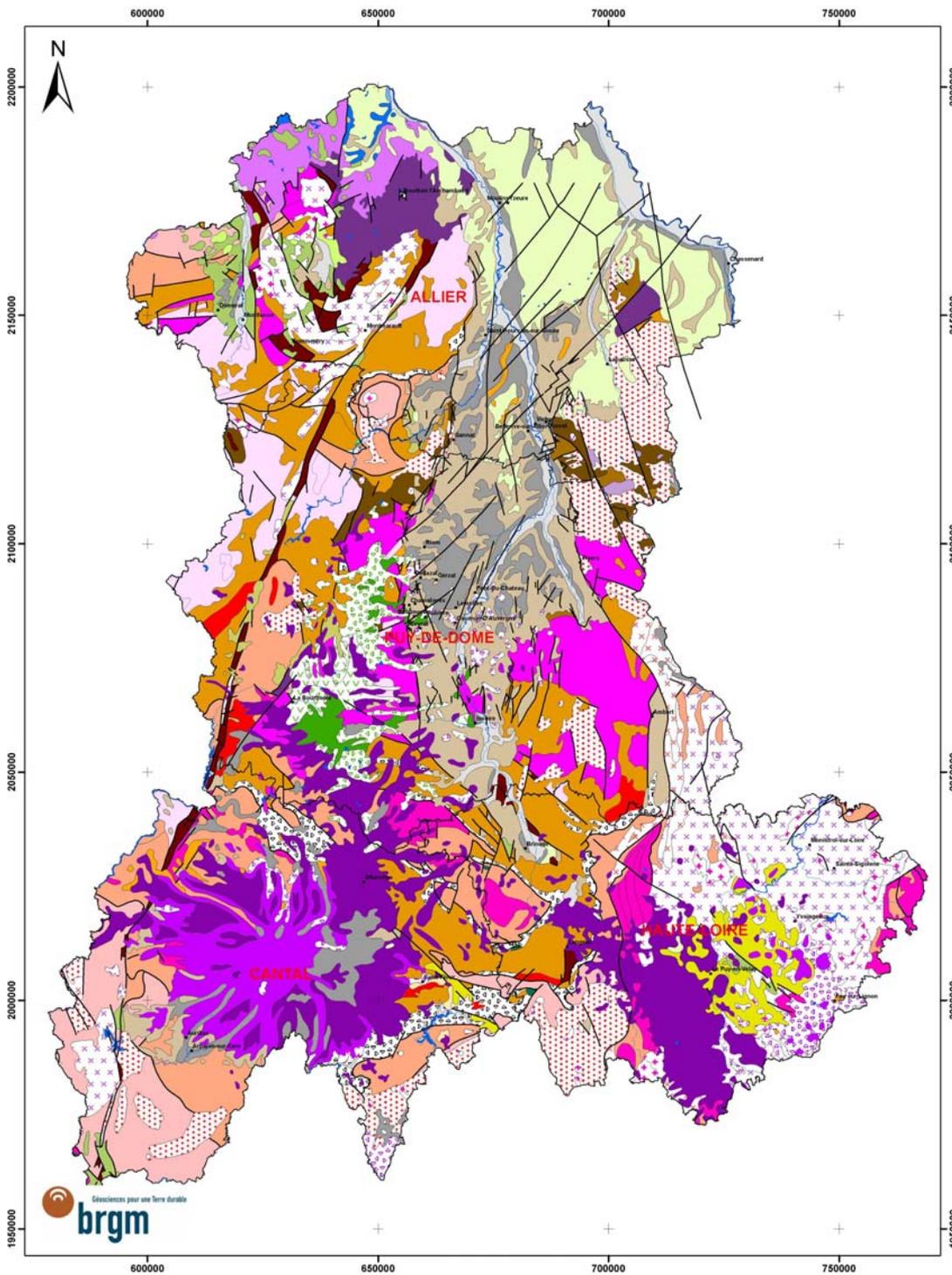
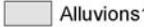
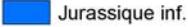
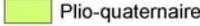
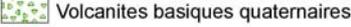
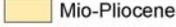
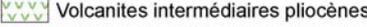
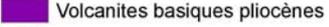
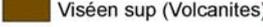
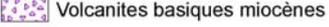
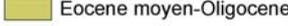
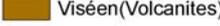
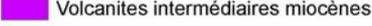
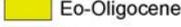
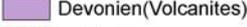
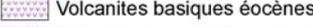
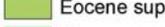
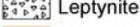
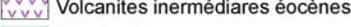
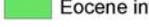
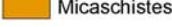
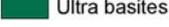


Illustration 6 - Carte géologique de la région Auvergne (d'après la carte géologique de la France à 1/1 000 000)

LÉGENDE

 Alluvions 1	 Jurassique moyen	 Micaschistes	 Granitoides stephaniens
 Alluvions 2	 Jurassique inf.	 Migmatites	 Granitoides namuriens
 Plio-quaternaire	 Trias sup	 Volcanites intermédiaires quaternaires	 Granitoides viséens
 Pliocene	 Trias	 Volcanites basiques quaternaires	 Granitoides tournasisiens
 Mio-Pliocene	 Permien	 Volcanites intermédiaires pliocènes	 Granitoides dinantiens
 Miocene	 Stephanien	 Volcanites basiques pliocènes	 Granitoides dévoniens
 Oligocene	 Viséen sup (Volcanites)	 Volcanites basiques miocènes	 Orthogneiss cambriens
 Eocene moyen-Oligocene	 Viséen (Volcanites)	 Volcanites intermédiaires miocènes	 Orthogneiss brioveriens
 Eo-Oligocene	 Devonien (Volcanites)	 Volcanites basiques éocènes	
 Eocene sup	 Leptynites	 Volcanites intermédiaires éocènes	
 Eocene inf	 Micaschistes	 Ultra basites	

*Illustration 7 - Légende de la carte géologique de la région Auvergne
(d'après la carte géologique de la France à 1/1 000 000)*

5. Cartographie du potentiel d'émission tellurique

Les données sur la région sont discontinues et notre approche a consisté à exploiter au maximum les informations disponibles afin de produire une carte d'aléa la plus fiable possible.

La démarche consiste d'abord à estimer le contenu en uranium des formations géologiques, puis à y rajouter des facteurs additionnels qui peuvent traduire un enrichissement (indice d'uranium par exemple) et donc une augmentation du potentiel source. Pour obtenir le potentiel radon final, on surimpose ensuite les facteurs qui peuvent favoriser l'exhalaison du radon, comme les failles par exemple.

5.1. ESTIMATION DES TENEURS EN URANIUM DES FORMATIONS GEOLOGIQUES

Le radon étant directement issu de l'uranium par la chaîne de désintégration de ce dernier, mesurer la teneur en uranium donne une indication sur le potentiel d'émanation du radon des formations géologiques.

Pour estimer le « potentiel uranium » des formations géologiques, on a utilisé les analyses géochimiques faites sur certaines roches de ces formations et on a utilisé ces valeurs pour calculer la teneur moyenne des formations (ill. 8). Ce mode d'estimation peut produire des artéfacts car les échantillons analysés ne sont pas forcément représentatifs de la formation moyenne. Néanmoins, les valeurs moyennes obtenues sont cohérentes avec ce qui est admis pour ces types de roches, et sont représentatives de l'aléa radon qu'elles peuvent induire dans ce contexte géologique.

Code	U moyen (ppm)	U maxi (ppm)	Lithologie	Age
17	12.29	74.50	monzogranites, granodiorites	viséen supérieur, namurien
18	12.24	95.00	monzogranites, granodiorites	namurien, westphalien, stéphanien
19	11.65	52.40	leucogranites peralumineux	stéphanien
r	9.28	13.60	grès, conglomérats, schistes, charbons	permien
h2	7.99	20.00	rhyodacites, tuffites acides, ignimbrites	viséen supérieur, namurien
h3	7.90	8.70	rhyodacites, tuffites acides, ignimbrites	stéphanien
15	7.32	36.69	monzogranites, granodiorites	tournaisien, viséen inférieur
6	6.52	27.20	métagranites, orthogneiss	briovérien supérieur, cambrien
bk	5.63	27.50	paragneiss, leptynites, amphibolites	briovérien, cambrien
q2-3 (b-h-t)	5.37	12.50	basanites, hawaïtes, benmoréites, téphrites	pléistocène supérieur, holocène
h1	5.30	12.60	rhyodacites, andésites, ignimbrites	tournaisien, viséen inférieur
16	4.28	8.80	granodiorites, tonalites, quartzdiorites	dinantien, namurien, westphalien
7	4.10	17.70	orthogneiss granitiques	cambrien, ordovicien inférieur-moyen
14	3.78	12.30	monzogranites, granodiorites	dévonien moyen-supérieur
ko	3.69	17.90	migmatites paradérivées	cambrien, ordovicien
ub (f-p)	3.61	8.90	ultrabasites, péridotites, serpentinites	indéterminé
bo	3.49	8.80	micaschistes, paragneiss, quartzites	briovérien, cambrien, ordovicien
gla (f-p)	2.53	5.30	leptynites, amphibolites, éclogites	cambrien, ordovicien

Illustration 8 - Teneurs estimées en uranium des formations géologiques

Ces teneurs moyennes montrent que les roches de la famille des granites s.l. et des volcanites acides du Houiller sont celles qui ont le plus fort contenu moyen en uranium. Les formations détritiques du Permien montrent aussi de fortes teneurs.

Les roches métamorphiques du socle (notées ko, bo et bk) montrent des teneurs moyennes assez faibles, cohérentes avec l'origine sédimentaire initiale de ces roches, avec toutefois des valeurs maximales qui peuvent être fortes (27,50 et 17,90 ppm), ce qui montre l'existence de reconcentrations.

Les analyses que nous avons collectées sur les roches volcaniques du Massif central nous permettent de calculer les teneurs moyennes suivantes par lithologie :

Lithologie	U moyen (ppm)
Basalte	2.12
Basanite	2.09
Phonolite	7.25
Rhyolite	14.93
Trachyandésite	4.20
Trachyandésite basaltique	2.74
Trachybasalte	1.90
Trachyte	4.94

Illustration 9 - Teneur moyenne en uranium des roches volcaniques du Massif central

En fonction de ces valeurs, on a affecté une teneur moyenne de 2 ppm aux roches de la famille des basaltes et de 5 ppm aux roches différenciées de la famille des trachytes et phonolites (ill. 8 et 9).

Pour les roches sédimentaires, surtout en Limagne, nous n'avons pas pu disposer de données d'analyse chimique (quoiqu'il en existe sûrement dans les archives d'Areva, ex-Cogema). Nous avons alors recherché les sondages ayant fait l'objet de diagraphies gamma, mais les mesures que nous avons trouvées correspondent à un « gamma total », ce qui ne nous permet pas de distinguer le rayonnement associé à l'uranium de celui associé au thorium et au potassium 40.

Dans le Bassin sédimentaire de Paris, affleurant au Nord-Ouest de la région, on sait que les formations détritiques du Permien et du Trias sont souvent porteuses d'indices d'uranium, et donc peuvent présenter un aléa important. Par contre, les formations sédimentaires du Jurassique ne sont pas réputées présenter des teneurs significatives en uranium (ill. 10 et 11), à l'exception de certaines argiles du Toarcien riches en matière organique.

Les alluvions quaternaires enfin couvrent une surface importante dans la région, surtout dans les lits majeurs de l'Allier et de ses affluents, mais le caractère hétérogène de ces formations, tant en composition minéralogique qu'en répartition spatiale des faciès, ne permet pas d'estimer une teneur moyenne représentative. Très localement, ils peuvent concentrer des minéraux lourds issus des formations du socle et présenter alors un aléa radon plus important.

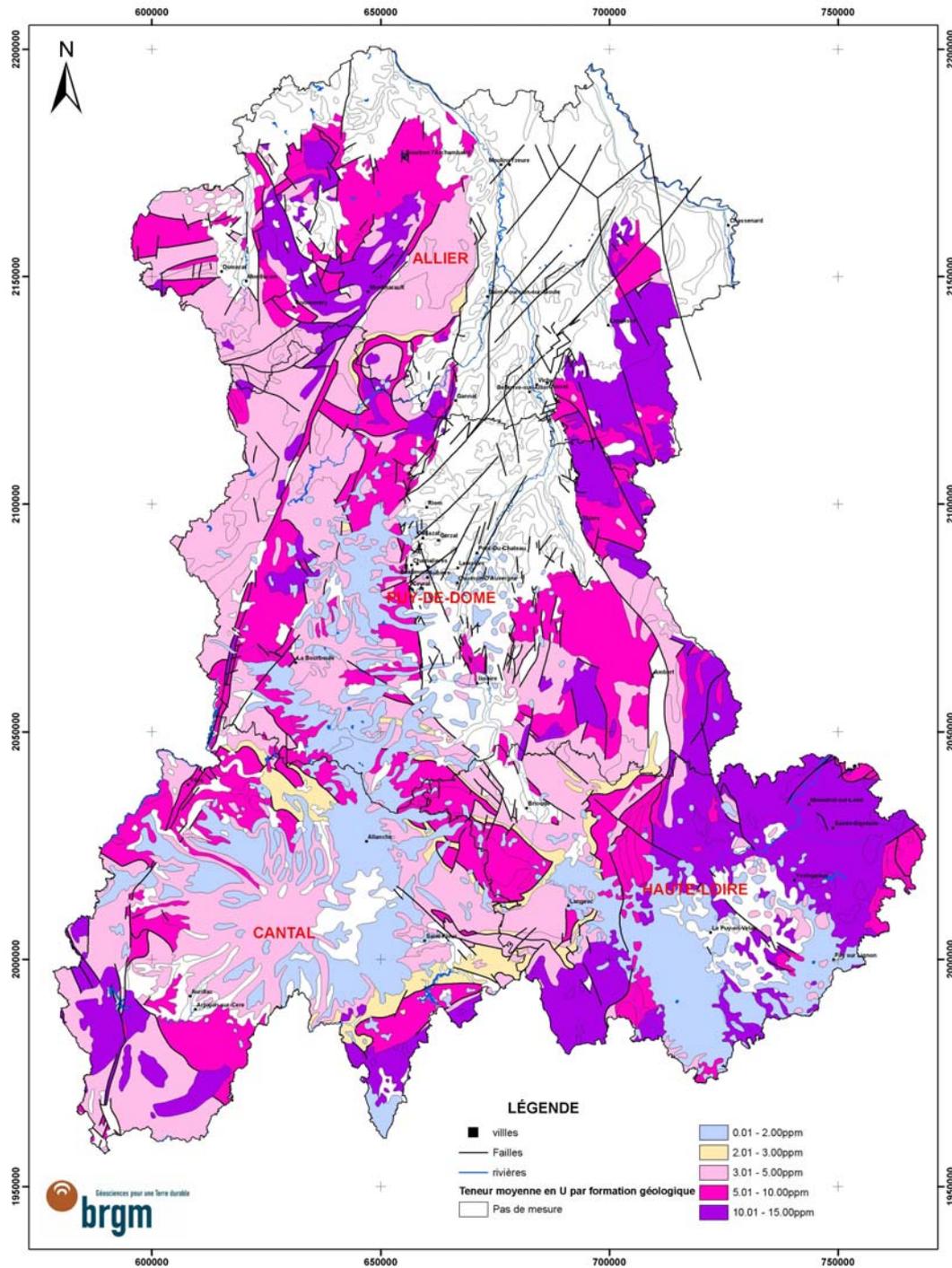


Illustration 10 - Carte des teneurs moyennes en uranium des formations géologiques

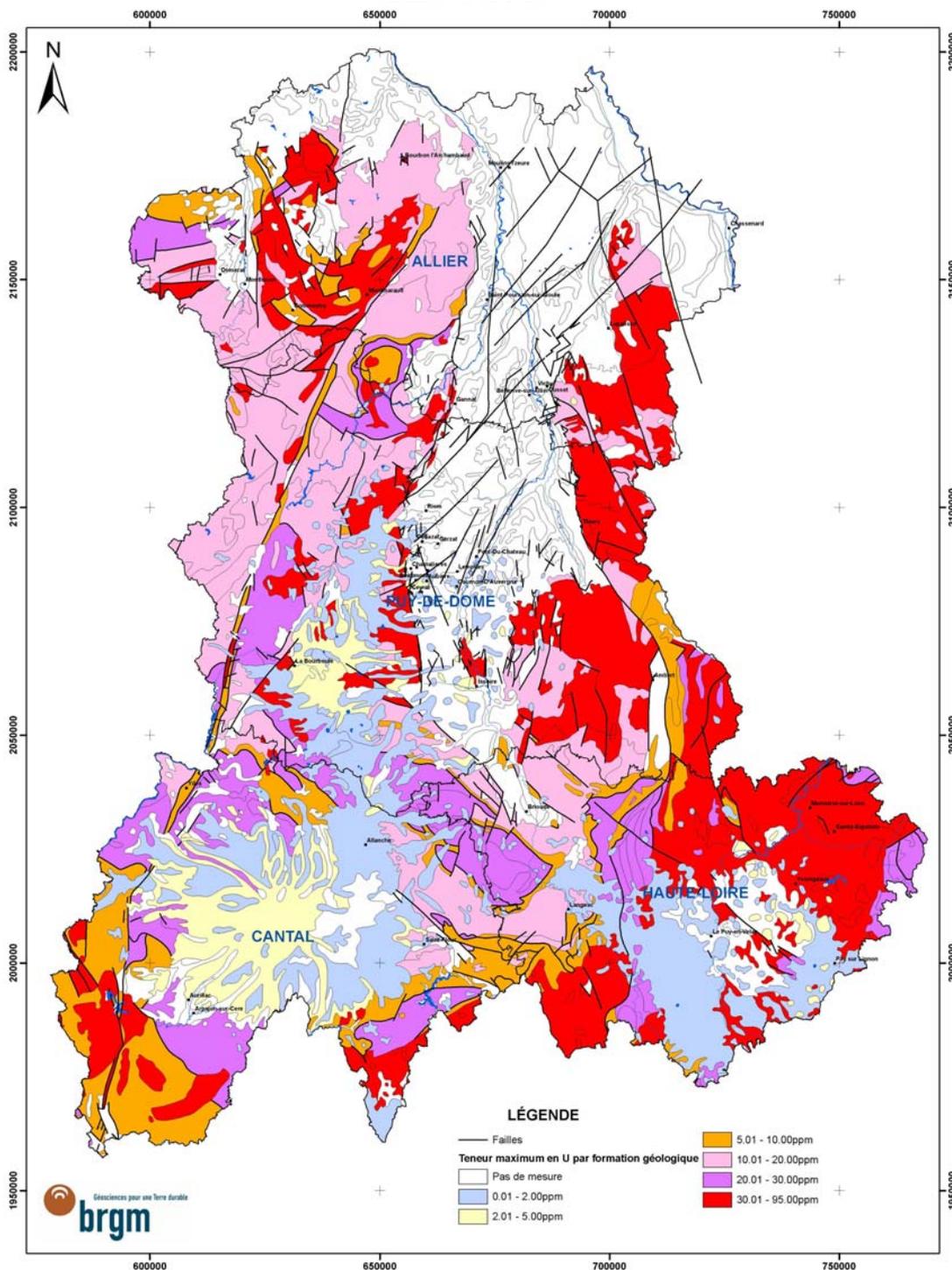


Illustration 11- Carte des teneurs maximales en uranium des formations géologiques

5.2. PRISE EN COMPTE DES INDICES ET PERMIS MINIERS

La présence d'indices d'uranium permet aussi de qualifier le potentiel uranifère des formations, en partant de l'hypothèse qu'il s'agit de concentrations issues des roches encaissantes. A partir des données d'indices contenues dans la BSS (Banque des données du Sous-Sol), il est possible de calculer le nombre d'indices contenus par formation et, ainsi, de qualifier celles qui sont les plus fertiles pour l'uranium (ill. 12).

Code	Nombre d'indic	Lithologie	Age
17	32	monzogranites, granodiorites	viséen supérieur, namurien
18	19	monzogranites, granodiorites	namurien, westphalien, stéphanien
bk	15	paragneiss, leptynites, amphibolites	briovérien, cambrien
15	11	monzogranites, granodiorites	tournaisien, viséen inférieur
16	11	granodiorites, tonalites, quartzdiorites	dinantien, namurien, westphalien
r	9	grès, conglomérats, schistes, charbons	permien
19	6	leucogranites peralumineux	stéphanien
g	5	sables, marnes, argiles, conglomérats	oligocène
h3	4	rhyodacites, tuffites acides, ignimbrites	stéphanien
ko	4	migmatites paradérivées	cambrien, ordovicien
14	3	monzogranites, granodiorites	dévonien moyen-supérieur
bo	3	micaschistes, paragneiss, quartzites	briovérien, cambrien, ordovicien
gla (f-p)	2	leptynites, amphibolites, éclogites	cambrien, ordovicien
h2	2	rhyodacites, tuffites acides, ignimbrites	viséen supérieur, namurien
p	2	sables, cailloutis, argiles	pliocène
e2	1	calcaires, sables, gypse, marnes, argiles	éocène moyen-supérieur
e2g	1	argiles, marnes, calcaires, sables	éocène moyen, oligocène
t2-3	1	argiles, grès, marnes, dolomies	trias moyen-supérieur

Illustration 12 - Nombre d'indices d'uranium par formation géologique

Ce nombre d'indices par formation géologique confirme les résultats précédents, le plus grand nombre d'indices se trouvant sur les formations à plus fortes teneurs en uranium. La présence d'indices dans des formations sédimentaires détritiques du Permien ou du Tertiaire confirme leur potentiel uranifère.

En plus des indices, la répartition spatiale des permis pour l'exploration minière de l'uranium dans la région montrent bien l'intérêt des formations du socle et du Permien, ainsi que celles des grès tertiaires situés en Limagne à proximité des socles qui ont fait l'objet d'une prospection systématique (ill. 13).

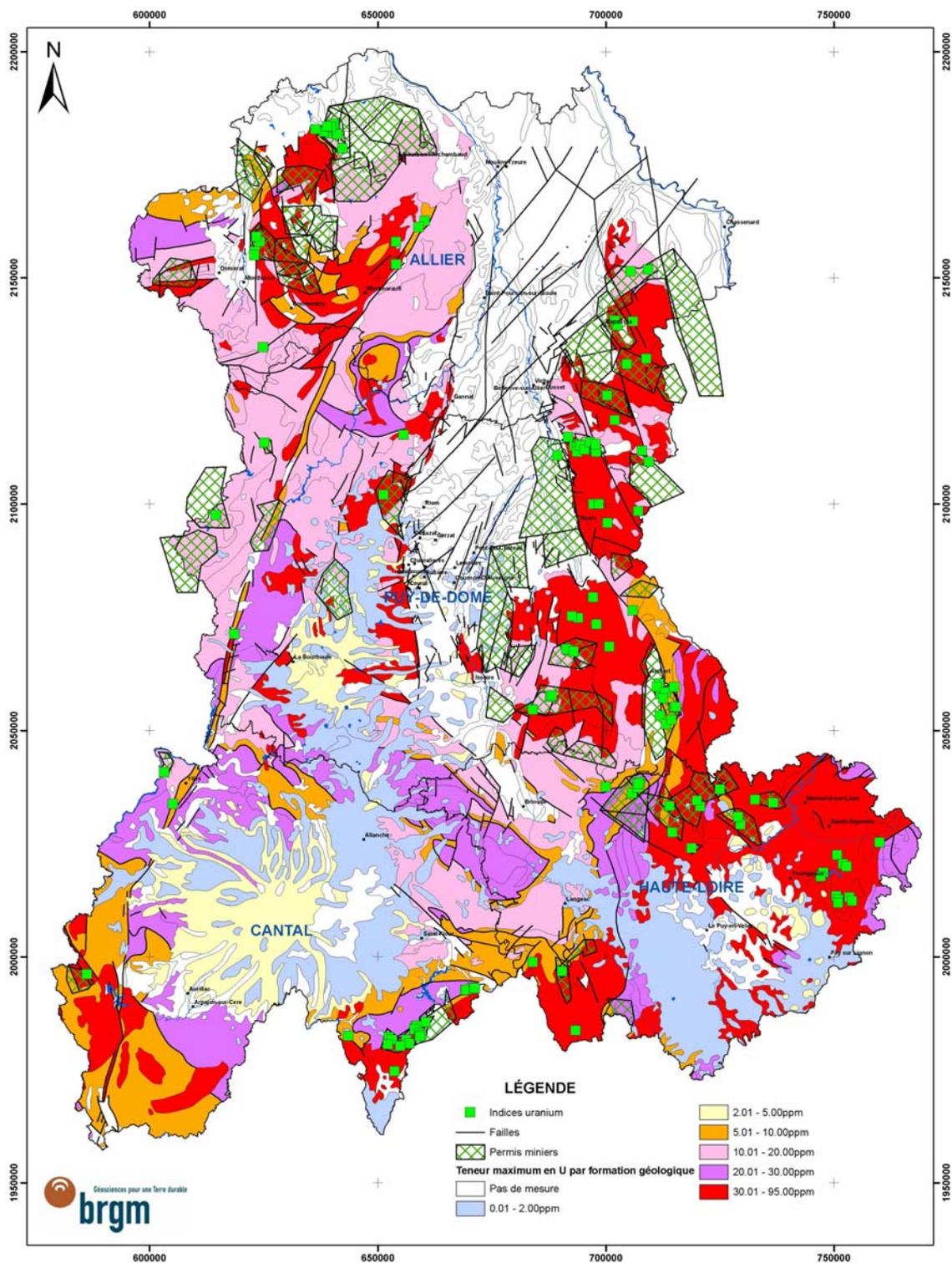


Illustration 13 - Présentation des premières données support de l'analyse : carte des teneurs maximales en uranium par formation, des indices d'uranium et des permis miniers pour uranium

5.3. INFLUENCE DES FAILLES

Les failles constituent des drains et des voies de circulation préférentielle des fluides et donc favorisent l'exhalaison du gaz radon vers la surface.

De ce fait, à teneur uranium équivalente, l'aléa radon sera plus fort dans les zones affectées par la fracturation.

Une faille active sera un drain plus efficace qu'une faille ancienne scellée. C'est pour cela que nous avons utilisé la sismicité récente dans la région pour caractériser l'activité des failles. Plus les séismes sont abondants près d'une faille et plus la faille est active et donc induira un aléa plus important (ill. 14).

Pour transcrire ce paramètre, on a donné une largeur d'influence ("buffer") plus importante aux failles associées spatialement à de plus nombreux séismes. Les buffers ont été fixés ainsi :

- faille non associée à un séisme : buffer = 100 m ;
- faille associée à moins de 5 séismes : buffer = 200 m ;
- faille associée à moins de 10 séismes : buffer = 500 m ;
- faille associée à plus de 10 séismes : buffer = 1000 m.

Ainsi, une faille non associée à une sismicité (ill. 15) aura une largeur d'influence de 100 m de part et d'autre de la faille, et une faille très sismique induira une largeur de 1000 m de part et d'autre de la faille, comme la faille du Sillon houiller par exemple.

5.4. PREMIER CALCUL DE L'ALEA RADON

Pour estimer l'aléa radon à partir des données géologiques, nous avons procédé en affectant à chacun des critères (teneur en uranium, présence de failles, nombre d'indices) un score et en considérant que la somme de critères sur une même formation géologique caractérise l'aléa radon.

Pour la teneur moyenne en uranium d'une formation, nous avons choisi les valeurs suivantes : pour une teneur moyenne supérieure à 8 ppm, le score de la formation est de 4 ; si cette teneur est comprise entre 5 et 8 ppm, son score est de 3 ; si sa teneur moyenne est comprise entre 3 et 5, son score est de 2 ; et si cette teneur est comprise entre 2 et 3, le score est de 1. Le score est nul en l'absence d'indication directe de la teneur en uranium.

Pour prendre en compte la densité d'indices par formation, on a augmenté de 2 le score des formations associées à de nombreux indices, et s'il n'y a que quelques indices, son score est augmenté de 1. Si aucun indice n'est associé, le score de la formation reste inchangé.

L'intersection entre la zone d'influence d'une faille et une formation géologique augmente le score de 1 à l'emplacement de l'intersection.

Les scores des formations sont donc compris entre 0 (aucune information) et 7 qui correspond à l'intersection entre une formation à teneur moyenne en uranium > 8 ppm possédant de nombreux indices et une faille (ill. 16).

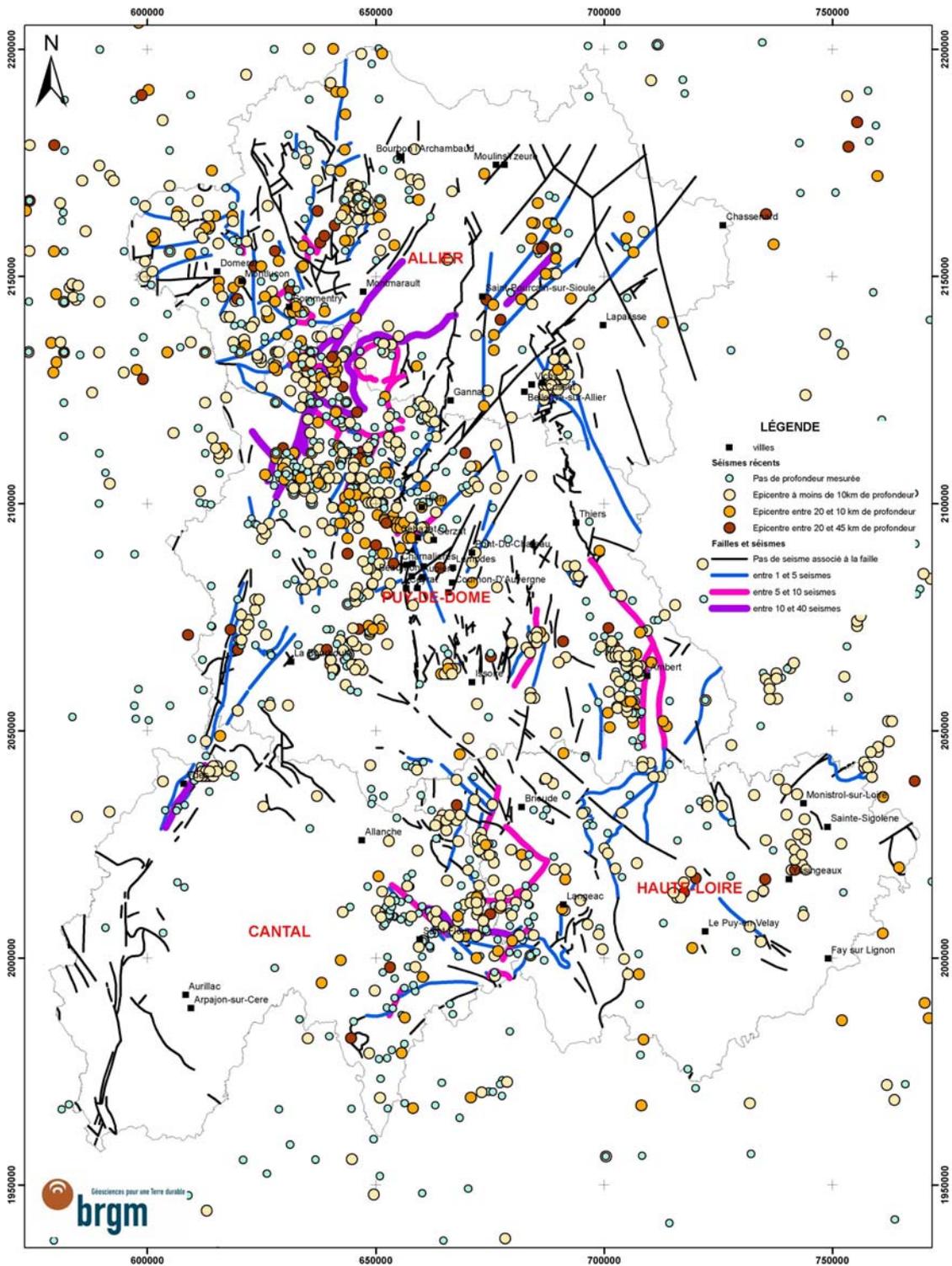


Illustration 14 - Carte des failles et de la sismicité récente

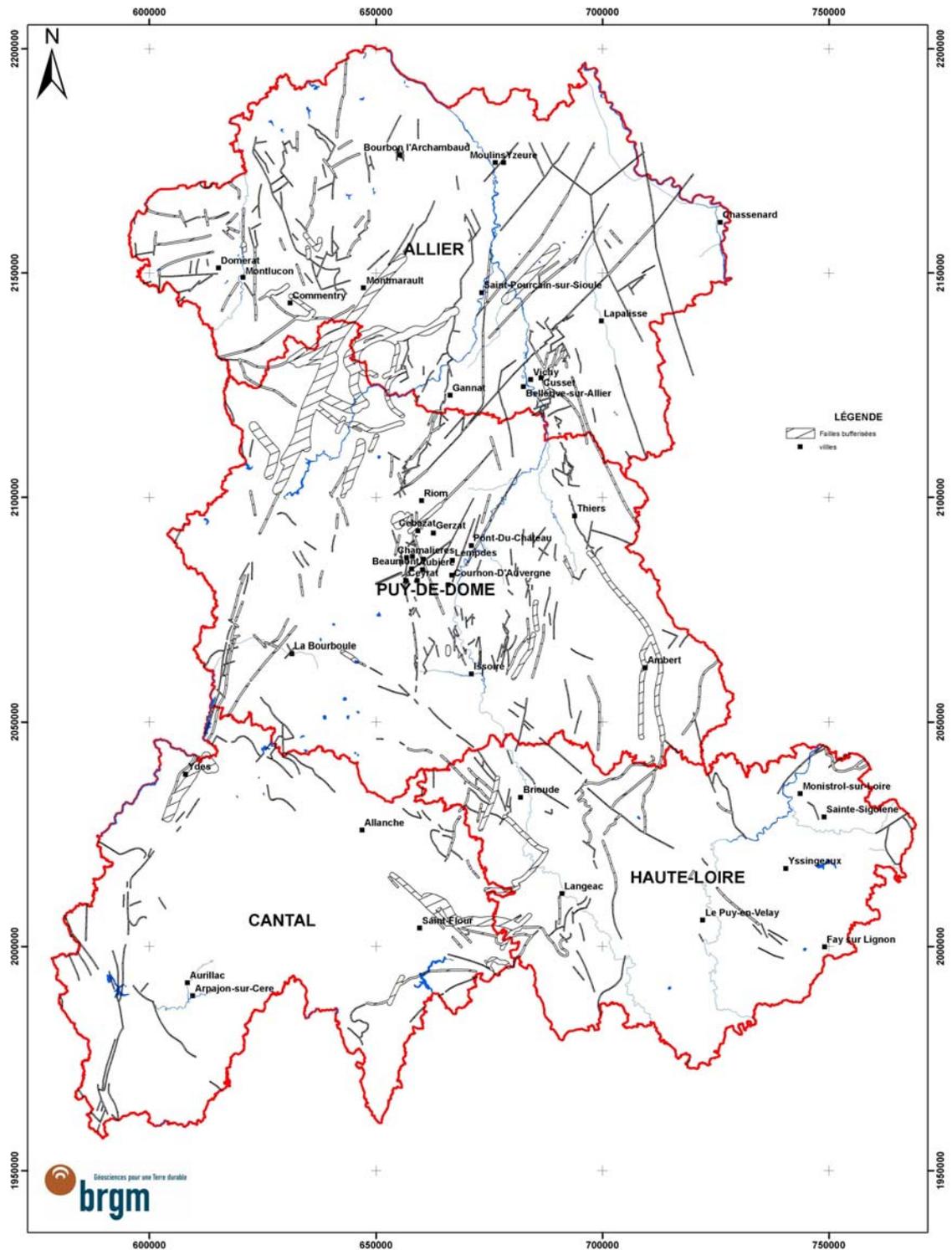


Illustration 15 - Zones d'influence des failles (« buffering ») en fonction de la sismicité associée

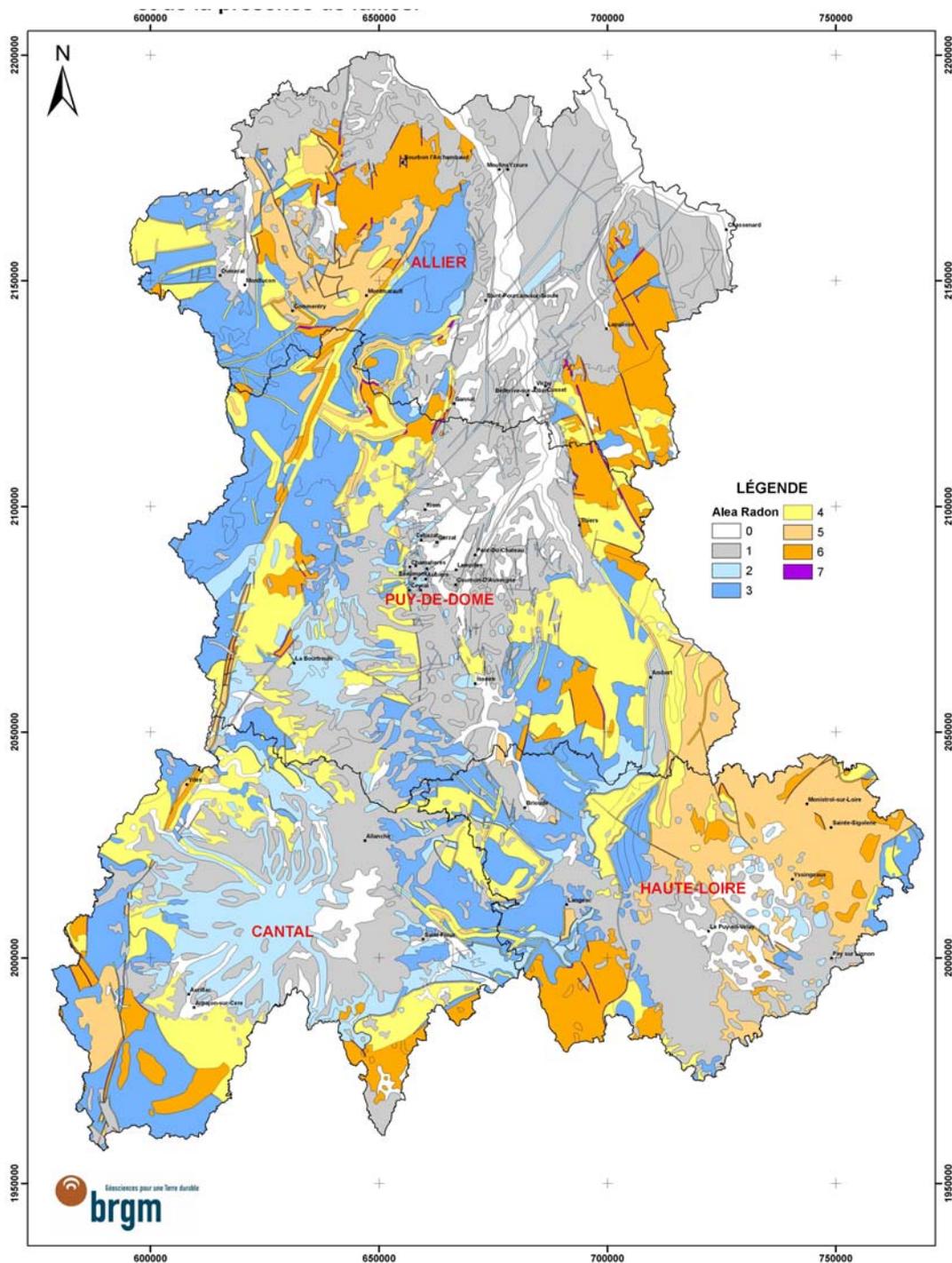


Illustration 16 - Aléa radon calculé en prenant en compte les formations géologiques (teneurs moyennes en uranium), les indices d'uranium et les failles

5.5. PRISE EN COMPTE DES PERMIS D'EXPLORATION MINIERE POUR L'URANIUM DANS L'APPROCHE DE L'ALEA RADON

Qualification géologique de l'aléa radon

La région Auvergne a été intensément prospectée pour l'uranium en ce qui concerne les formations du socle, les formations permo-triasiques de l'Allier et, aussi, les formations détritiques de la Limagne quand elles étaient localisées à proximité du contact du socle. Ce type de formations gréseuses est connu pour être favorable à la concentration de minéralisations uranifères (gisements de type "roll" comme au Niger par exemple).

Pour prendre en compte cette information importante pour l'aléa radon, nous avons d'abord superposé la limite des permis sur la carte géologique (ill. 13) et constaté que ces permis formaient une enveloppe autour des formations du socle, surtout dans la partie est de la région. Pour généraliser cette approche intégrant le potentiel uranifère des niveaux gréseux tertiaires de la Limagne, nous avons créé une surface d'influence de 10 km autour des massifs granitiques et extrait l'intersection entre ces buffers et les formations détritiques. Nous avons alors rajouté un score de 1 à cette partie des formations gréseuses afin de prendre en compte leur potentiel uranium plus important (ill. 17).

La récapitulation des résultats obtenus par formation, en prenant en compte les failles les indices d'uranium et les permis d'exploration permet de dégager les scores moyens suivants (ill. 18).

L'essentiel de l'aléa radon est associé aux roches de nature granitique du socle, aux volcanites acides (rhyodacites) du Carbonifère et aux sédiments gréseux permo-carbonifères (score moyen supérieur à 4).

Viennent ensuite les formations métamorphiques du socle et les volcanites acides à intermédiaires avec des scores compris entre 2 et 4.

Aucune information directe ne permet d'estimer un aléa pour les formations du Dévonien (notées d2) du Forez et constituées d'un ensemble de roches d'origine volcanosédimentaire. Toutefois, la faible surface couverte par cette formation limite son impact au niveau de la région, mais n'élimine pas un aléa local. Cette formation affleure sur les communes de Ferrières-sur-Sichon, La Guillermie, Lavoine, Arrones, La Chapelle, Saint Clément, Saint Laurent des Biefs et Châtel Montagne dans le département de l'Allier.

Les scores moyens les plus faibles sont à relier aux formations volcaniques basiques et aux formations sédimentaires mésozoïques du Sud du Bassin de Paris ou tertiaires de la Limagne.

Pour ces dernières, toutefois, il ne faut pas oublier que certains niveaux gréseux ont été prospectés pour l'uranium, ce qui se traduit par des scores moyens assez faibles qui peuvent être sous-estimés.

De même, les scores des formations sédimentaires quaternaires, essentiellement des alluvions, ne sont pas représentatifs car on ne dispose pas de mesures « uranium » dans ces formations et, de plus, leur variabilité de composition est importante dans l'espace. Ce sont donc des formations pour lesquelles il est difficile de fournir une signature moyenne. Il ne faut pas négliger le fait que ces formations mobilisent du matériel provenant en partie de l'érosion du socle et que, localement, des accumulations de minéraux lourds peuvent concentrer les minéraux uranifères.

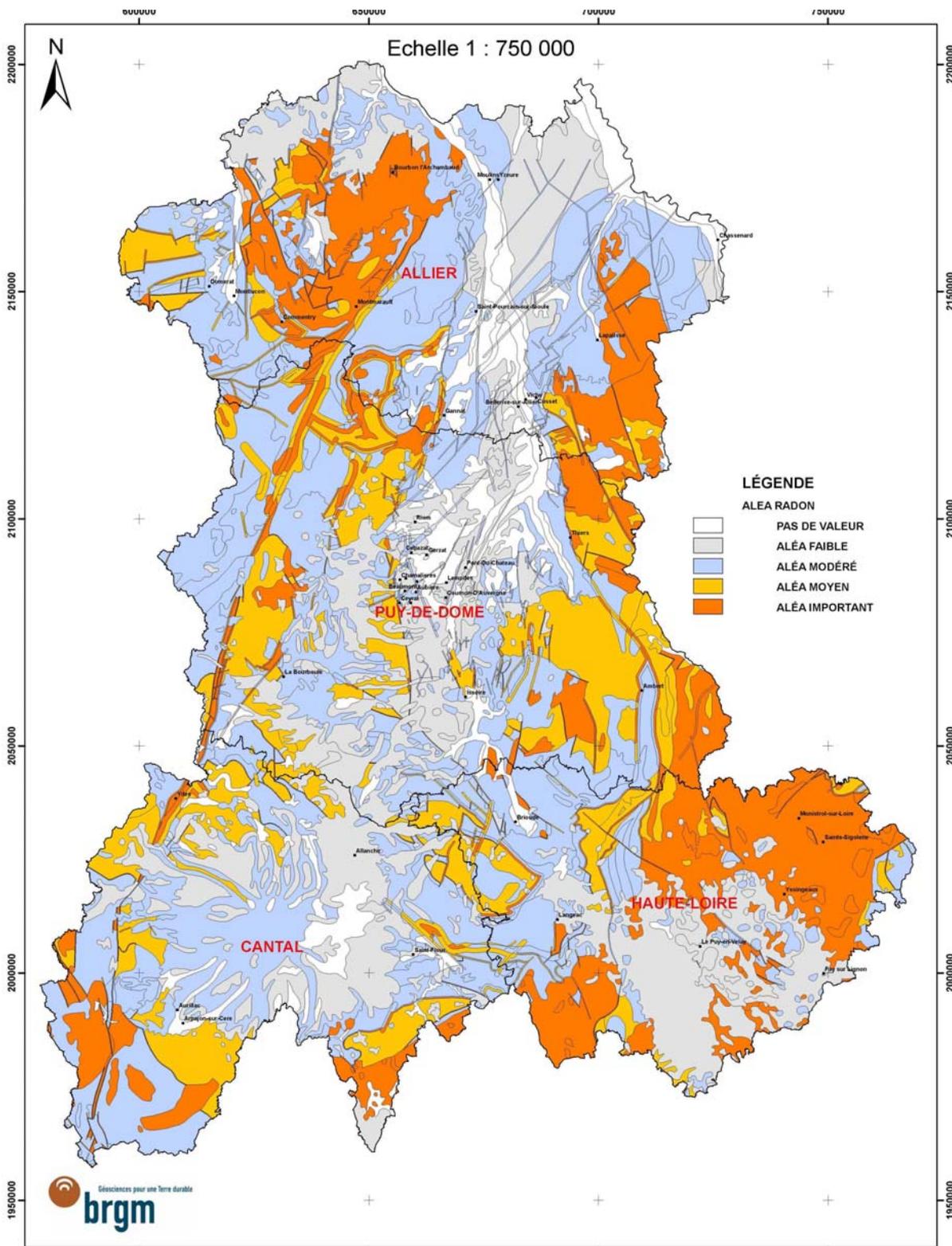


Illustration 17 - Aléa radon estimé à partir de l'ensemble des indications de potentiel uranifère : teneurs moyennes en uranium des formations géologiques, indices d'uranium, failles et permis d'exploration minière

Code	Lithologie	Score U moyen
19	leucogranites peralumineux	6.04
17	monzogranites, granodiorites	6.03
r	grès, conglomérats, schistes, charbons	6.02
h3	rhyodacites, tuffites acides, ignimbrites	5.35
18	monzogranites, granodiorites	5.04
h2	rhyodacites, tuffites acides, ignimbrites	4.13
16	granodiorites, tonalites, quartzdiorites	4.09
bk	paragneiss, leptynites, amphibolites	4.09
15	monzogranites, granodiorites	4.06
h1	rhyodacites, andésites, ignimbrites	3.09
14	tonalites, diorites, gabbros	3.09
ko	micaschistes, paragneiss plagioclasiques	3.09
bo	micaschistes, paragneiss	3.08
6	orthogneiss anatectiques	3.07
e2g	argiles, marnes, calcaires, sables	3.02
ub (f-p)	ultrabasites, péridotites, serpentinites	2.21
gla (f-p)	leptynites, amphibolites, éclogites	2.19
7	orthogneiss granitiques	2.05
e (m-t-p)	mugéarites, trachytes, phonolites	2.03
e2	argiles, cailloutis, conglomérats, grès, marnes	2.02
q2-3 (m-t-p)	trachytes, mugéarites, phonolites, pyroclastites	2.01
pq1 (m-t-p)	trachytes, mugéarites, phonolites, pyroclastites	2.01
gm (m-t-p)	mugéarites, trachytes, phonolites	2.00
e1	argiles, conglomérats, grès, limonites, marnes	2.00
g	sables, marnes, argiles, conglomérats	1.68
p	sables, cailloutis, argiles	1.60
e (b-h-t)	basanites, hawaïtes, téphrites	1.27
q2-3 (b-h-t)	basanites, hawaïtes, benmoréites, téphrites	1.06
t2-3	grès, marnes, dolomies, argiles	1.05
gm (b-h-t)	basanites, hawaïtes, téphrites	1.02
pq1 (b-h-t)	basanites, hawaïtes, benmoréites, téphrites	1.01
eg	argiles, conglomérats, grès, marnes	0.94
m	sables, marnes, argiles, conglomérats	0.59
pq1	argiles, cailloutis, sables	0.51
mp	sables, cailloutis, argiles	0.46
t	argiles, cailloutis, sables	0.14
q3	sables, argiles, graviers, galets	0.06
q2	argiles, cailloutis, blocs	0.05
d2	basaltes, spilites, dolérites	0.04
j1	calcaires, marnes, grès, argiles, dolomies	0.03
j2	calcaires, marnes	0.00

Illustration 18 - Score uranium moyen des formations géologiques

Qualification communale de l'aléa radon

A partir de ces résultats obtenus sur les formations géologiques, il est possible de calculer un score moyen par commune et donc de hiérarchiser un aléa moyen prenant en compte l'ensemble des scores des éléments géologiques affectant une commune.

Cela permet d'élaborer une carte de l'aléa facilement communicable au public (ill. 19) bien qu'elle doive être accompagnée d'un minimum de commentaires pour en préciser les limites et fournir les conduites à suivre.

Les 14 communes présentant des scores moyens supérieurs à 6 sont surtout situées à l'Est du département de l'Allier et au Sud-Ouest de la Haute-Loire. Les 76 communes qui ont un score moyen compris entre 5 et 6 sont concentrées dans la partie est et centre-ouest de l'Allier, la partie est des départements du Puy-de-Dôme et de la Haute-Loire, et quelques unes sont situées au Sud du Cantal (ill. 19).

Les scores moyens supérieurs à 4 caractérisent pratiquement l'ensemble des communes localisées en domaine de socle, dans les contextes du Sillon houiller ou des formations tertiaires à proximité des zones de socle (ill. 20).

Nom commune	Score U Moyen	Nom commune	Score U Moyen	Nom commune	Score U Moyen
43-VAZEILLES-PRES-SAUGUES	6.07	03-CHATEL-MONTAGNE	5.59	03-MOLLES	5.14
03-CHATELUS	6.04	43-SAUGUES	5.59	43-AUREC-SUR-LOIRE	5.13
03-ANDELAROCHE	6.03	15-OMPS	5.58	63-ARCONSAT	5.12
03-SAINT-PIERRE-LAVAL	6.01	03-SAINT-HILAIRE	5.56	63-VIVEROLS	5.12
03-SAINT-AUBIN-LE-MONIAL	6.00	03-BUXIERES-LES-MINES	5.56	43-SAINTE-SIGOLENE	5.11
03-LODDES	6.00	43-MONTFAUCON-EN-VELAY	5.56	03-MONTVICQ	5.10
03-ARFEUILLES	6.00	63-CHATELDON	5.51	63-EGLISOLLES	5.08
03-NIZEROLLES	6.00	63-SAINT-VICTOR-MONTVIANEIX	5.51	43-TIRANGES	5.08
43-CUBELLES	6.00	63-ECHANDELYS	5.48	43-LAPTE	5.06
43-GREZES	6.00	43-SAINT-PIERRE-DU-CHAMP	5.48	03-LOUROUX-BOURBONNAIS	5.05
43-ESPLANTAS	6.00	03-LA CHABANNE	5.45	03-SAINT-PRIEST-EN-MURAT	5.05
15-SAINT-JUST	6.00	63-PALLADUC	5.43	63-SAUVESSANGES	5.05
43-CHANAILEILLES	6.00	03-VERNEIX	5.40	03-COLOMBIER	5.04
15-DEUX-VERGES	6.00	63-CHAMPS	5.36	03-LA VOINE	5.03
		03-MEILLERS	5.35	43-SAINT-PAL-DE-CHALENCON	5.03
03-MONTCOMBROUX-LES-MINES	5.99	03-LA CHAPELLE	5.35	03-BEZENET	5.02
63-LACHAUX	5.93	43-SAINT-PREJET-D'ALLIER	5.34	43-MONISTROL-SUR-LOIRE	5.02
63-VOLLORE-MONTAGNE	5.89	43-SAINT-CHRISTOPHE-D'ALLIER	5.32	03-SAZERET	5.00
43-THORAS	5.87	43-SAINT-ROMAIN-LACHALM	5.29	63-FOURNOLS	5.00
03-BARRAIS-BUSSOLLES	5.86	63-BUXIERES-SOUS-MONTAIGUT	5.28	63-LA CHAULME	5.00
15-LABESSERETTE	5.86	43-CHENEREILLES	5.28	43-PONT-SALOMON	5.00
03-BOURBON-L'ARCHAMBAULT	5.81	63-MONTAIGUT	5.26	43-VALPRIVAS	5.00
03-AUTRY-ISSARDS	5.79	43-MALVALETTE	5.26	43-LA CHAPELLE-D'AUREC	5.00
03-LE MAYET-DE-MONTAGNE	5.78	43-BAS-EN-BASSET	5.22	43-SAINT-VICTOR-MALESCOURS	5.00
03-BERT	5.76	43-SOLIGNAC-SOUS-ROCHE	5.22	43-LA SEAUVE-SUR-SEMENE	5.00
63-AIX-LA-FAYETTE	5.75	43-DUNIERES	5.21	43-SAINT-PAL-DE-MONS	5.00
15-ANTERRIEUX	5.69	15-LADINHAC	5.21	43-LES VILLETES	5.00
03-GIPCY	5.66	63-SAINTE-CATHERINE	5.17	43-RAUCOULES	5.00
63-CHABRELOCHE	5.63	43-BOISSET	5.15	15-LA SEGALASSIERE	5.00
63-CHABRELOCHE	5.63	03-MURAT	5.14	15-LE ROUGET	5.00
				15-CAYROLS	5.00

Illustration 19 - Liste des communes présentant un score uranium moyen supérieur à 5 (aléa radon important)

Nom commune	Score U Moyen	Nom commune	Score U Moyen	Nom commune	Score U Moyen
43-CRAPONNE-SUR-ARZON	4.98	43-JULLIANGES	4.63	63-CELLES-SUR-DUROLLE	4.34
43-SAINT-DIDIER-EN-VELAY	4.98	03-LOUROUX-DE-BEAUNE	4.62	03-CHATILLON	4.33
63-SAINT-AGOULIN	4.97	43-MONISTROL-D'ALLIER	4.61	03-MONTAIGUET-EN-FOREZ	4.33
43-SAINT-MAURICE-DE-LIGNON	4.97	15-GLENAT	4.61	15-ROUZIERS	4.33
03-VIEURE	4.95	03-GIVARLAIS	4.60	03-MAILLET	4.32
03-MONTMARSAULT	4.95	63-TEILHET	4.60	63-AYAT-SUR-SIOULE	4.32
43-TENCE	4.95	43-SAINT-JUST-MALMONT	4.59	63-SAINT-JEAN-SAINT-GERVAIS	4.32
63-SAINT-ELOY-LES-MINES	4.93	15-SAINT-JULIEN-DE-TOURSAC	4.59	63-GOUTTIERES	4.31
43-LA BESSEYRE-SAINT-MARY	4.93	43-RIOTORD	4.57	15-LACAPELLE-VIESCAMP	4.30
43-GRAZAC	4.91	03-CHANTELLE	4.56	15-SAINT-MAMET-LA-SALVETAT	4.30
63-PRONDINES	4.90	63-GRANDRIF	4.56	63-SAINT-JUST	4.29
63-SAINT-ROMAIN	4.90	43-ROCHE-EN-REGNIER	4.55	63-TORTEBESSE	4.28
43-BELLEVUE-LA-MONTAGNE	4.90	63-SAINTE-AGATHE	4.54	63-YOUX	4.27
03-DROITURIER	4.89	03-YGRANDE	4.53	15-ROUFFIAC	4.27
03-SAINT-PRIEST-D'ANDELOT	4.88	03-HYDS	4.53	63-SAINT-GAL-SUR-SIOULE	4.26
43-SAINT-FERREOL-D'AUROURE	4.88	03-LE BREUIL	4.53	63-CHAMBON-SUR-DOLORE	4.23
63-VALZ-SOUS-CHATEAUNEUF	4.86	43-BEAUNE-SUR-ARZON	4.53	63-CHAMPAGNAT-LE-JEUNE	4.21
63-SAINT-GERMAIN-L'HERM	4.84	03-NOYANT-D'ALLIER	4.51	43-SAINT-JEAN-D'AUBRIGOUX	4.20
15-SAINT-REMY-DE-CHAUDS-AIGUES	4.84	63-LAPEYROUSE	4.51	15-PARLAN	4.19
63-SAINT-ELOY-LA-GLACIERE	4.83	03-DOYET	4.50	03-CHAVENON	4.18
43-SAINT-GEORGES-LAGRICOL	4.83	03-DENEUILLE-LES-MINES	4.49	63-GELLES	4.18
43-SAINT-JEURES	4.82	03-MALICORNE	4.49	15-SAINT-ANTOINE	4.18
63-SAINT-CLEMENT-DE-VALORGUE	4.81	15-YDES	4.49	15-VITRAC	4.17
15-ROUMEGOUX	4.81	03-BEAUNE-D'ALLIER	4.48	15-CHAUDS-AIGUES	4.16
03-CHAPPES	4.80	15-CROS-DE-MONTVERT	4.48	15-LAROQUEBROU	4.15
03-SORBIER	4.79	03-SAINT-CLEMENT	4.47	63-JOSERAND	4.14
63-POUZOL	4.79	43-BEAUX	4.47	43-PRADES	4.14
63-PESLIERES	4.79	43-MONTREGARD	4.47	15-MARCOLES	4.14
43-GOUDET	4.79	15-MONTVERT	4.47	03-LE MONTET	4.13
15-SENEZERGUES	4.79	43-SAINT-JULIEN-D'ANCE	4.46	03-NERIS-LES-BAINS	4.13
43-CHOMELIX	4.76	63-SAINT-REMY-DE-BLOT	4.45	03-COMMENTRY	4.13
03-LE VILHAIN	4.75	63-LA RENAUDIE	4.45	63-PONTAUMUR	4.13
63-SAINT-REMY-SUR-DUROLLE	4.74	63-BAFFIE	4.45	15-JUNHAC	4.11
03-ROCLES	4.73	43-LAFARRE	4.45	03-ARRONNES	4.10
63-SERVANT	4.71	15-BOISSET	4.45	03-MAZERIER	4.09
43-VOREY	4.71	03-SAINT-NICOLAS-DES-BIEFS	4.44	63-SAINT-BONNET-LE-CHASTEL	4.09
63-SAINT-HILAIRE-LA-CROIX	4.70	43-FELINES	4.44	15-BASSIGNAC	4.08
15-SAINT-MARC	4.69	63-SAINT-BONNET-LE-BOURG	4.43	03-AGONGES	4.07
03-SAINT-MENOUX	4.68	63-SAINT-PARDOUX	4.42	03-SAINT-BONNET-DE-FOUR	4.07

63-SAINT-ANTHEME	4.67	03-DEUX-CHAISES	4.41	63-SAINT-MARTIN-DES-OLMES	4.07
63-MEDEYROLLES	4.67	03-SAINT-SORNIN	4.40	15-LAPEYRUGUE	4.06
15-PERS	4.67	43-LE CHAMBON-SUR-LIGNON	4.39	63-VISCOMTAT	4.05
15-LEUCAMP	4.67	43-CHARRAIX	4.39	03-SAINT-PALAIS	4.04
15-LA TRINITAT	4.67	03-BIZENEUILLE	4.37	63-CHATEAU-SUR-CHER	4.04
63-SAILLANT	4.66	63-LISSEUIL	4.37	63-LA CHAPELLE-SUR-USSON	4.04
15-JABRUN	4.66	15-MAURINES	4.36	03-MESPLES	4.02
03-LAPRUGNE	4.64	43-SAINT-VICTOR-SUR-ARLANC	4.35	63-SAINT-AMANT-ROCHE-SAVINE	4.01
15-MADIC	4.64	03-ECHASSIERES	4.34	15-SIRAN	4.01

Illustration 20 - Liste des communes présentant un score uranium moyen entre 4 et 4.99 (aléa radon important)

Les coupures choisies sont les suivantes (ill. 21) :

- Score moyen entre 0 et 2 : aléa faible ;
- Score moyen entre 2 et 4 : aléa moyen ;
- Score moyen supérieur à 4 : aléa important.

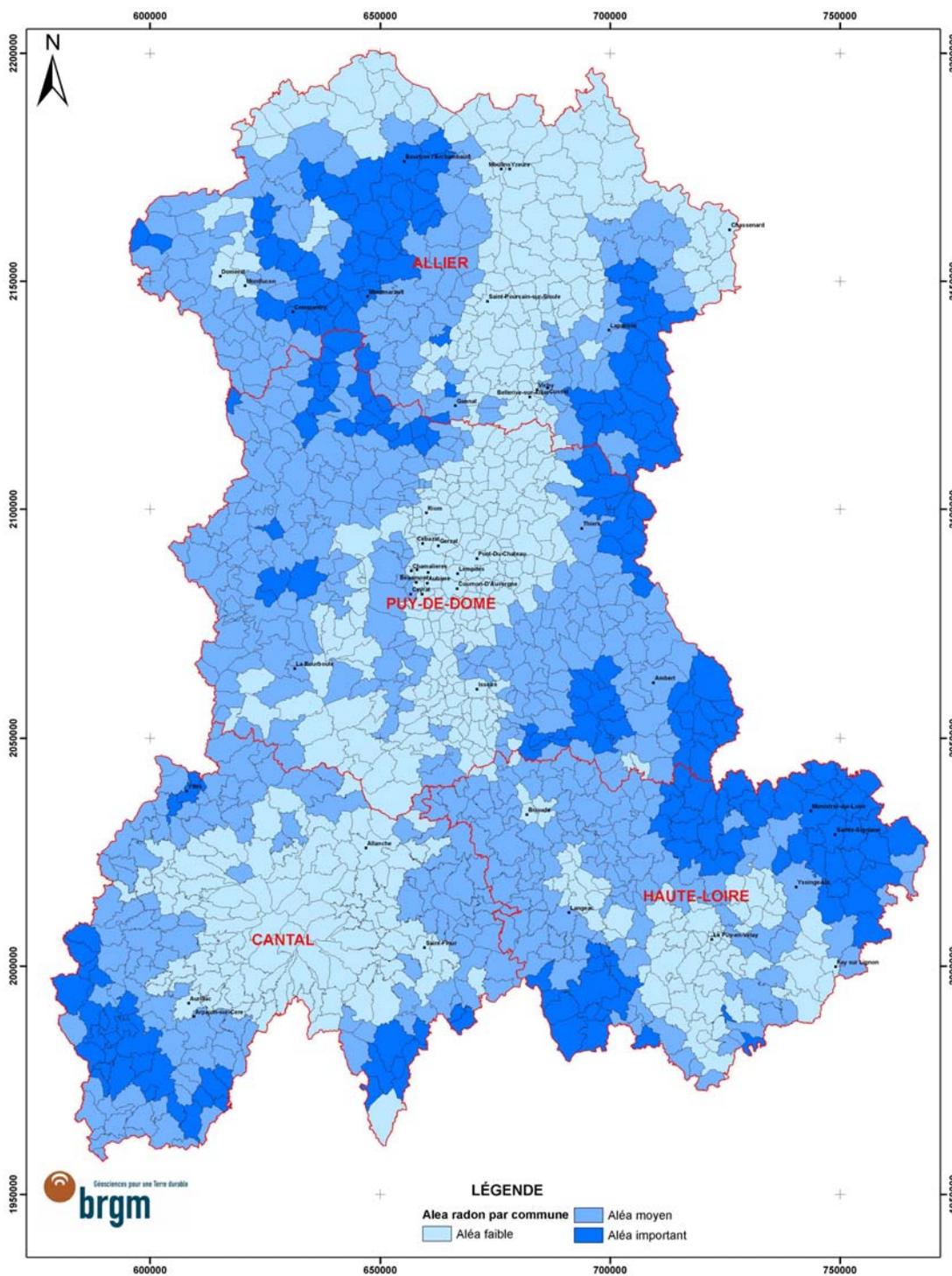


Illustration 21 - Hiérarchisation des communes en fonction de l'aléa géologique radon

6. DONNEES COMPLEMENTAIRES

6.1. SOURCES THERMALES

L'eau est un très bon vecteur du radon qui s'y dissout en traversant les roches puis dégaze à la source. Les émissions de radon seront donc plus importantes à proximité d'une source.

De plus, les sources thermales correspondent à des eaux qui ont circulé à grande profondeur et/ou sur une grande distance, et qui ont pu drainer des formations riches en uranium, et donc en radon. C'est pour cette raison qu'elles peuvent constituer un paramètre qui va augmenter localement l'aléa radon.

De plus, l'exploitation thermique de ces sources en fait des secteurs sensibles nécessitant une bonne caractérisation.

Pour illustrer l'aléa radon associé à ces sources thermales, on a choisi de leur associer un buffer de 1000 m (illustration 22).

Ces sources se trouvent sur les communes de Abrest, Bellerive-sur-Allier, Bourbon l'Archambault, Cusset, Hauterive, Mariol, Nérès-les-Bains, Saint Yorre et Vichy pour le département de l'Allier, et sur les communes de Chamalières, Châteauneuf-les-Bains, Chatelguyon, La Bourboule, Le Mont-Dore, Saint Nectaire, Saint Priest Bramfant et Saint Sylvestre Pragoulin pour le département du Puy-de-Dôme.

6.2. RAYONNEMENT ALPHA ET BETA DES POINTS DES RESEAUX D'AEP

La DRASS Auvergne nous a communiqué un fichier contenant des mesures de rayonnement alpha et bêta effectuées au niveau de certains points des réseaux d'AEP (alimentation en eau potable).

Certains points des réseaux d'AEP ont des coordonnées précises. Les autres ont été affectés des coordonnées du centroïde des communes sur lesquelles ils se trouvent.

L'absence de caractérisation du rayonnement et le caractère dispersé des mesures ne permettent pas d'exploiter plus avant ces résultats.

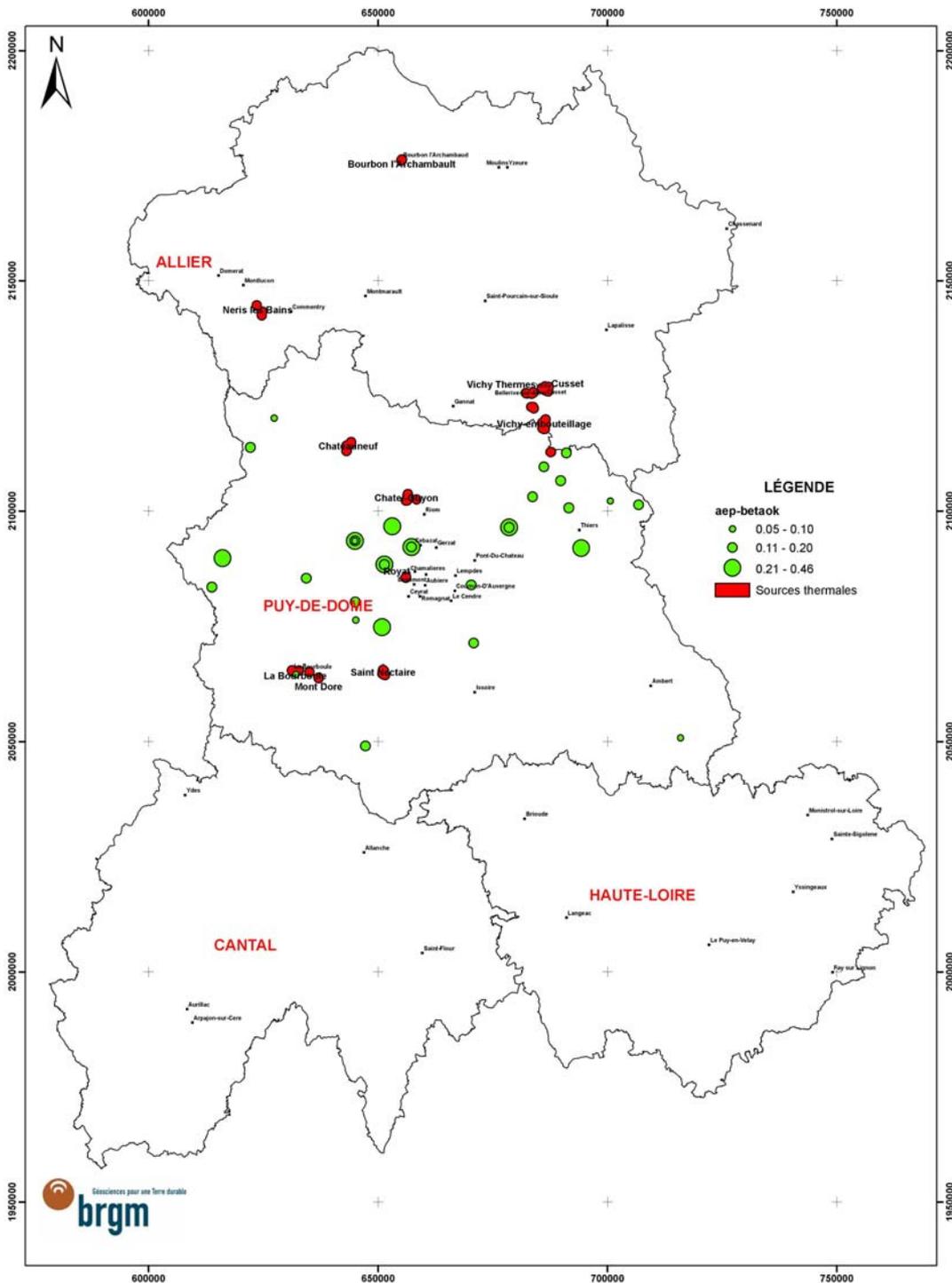


Illustration 22 - Report des sources thermales et des mesures de rayonnement bêta des points des réseaux d'AEP

6.3. MESURES D'EXPOSITION AU RADON DANS LES BATIMENTS

Les mesures d'exposition radon faites dans les bâtiments intègrent à la fois l'aléa géologique, les paramètres spécifiques à la construction, et les modalités d'utilisation des locaux.

On observe, pour une même commune, une forte dispersion des valeurs mesurées (fort écart-type, cf. ill. 3). Il n'est donc pas évident de pouvoir directement affecter ces valeurs à une formation géologique.

La démarche que nous avons choisie consiste à interpoler sur une grille les valeurs moyennes d'exposition mesurées par commune, de façon à obtenir une image continue de ces teneurs et de lisser les fortes valeurs "accidentelles" (ill. 23 a). Ensuite, nous avons utilisé cette grille pour calculer la valeur moyenne de la teneur en radon pour chaque formation géologique (ill. 23 b).

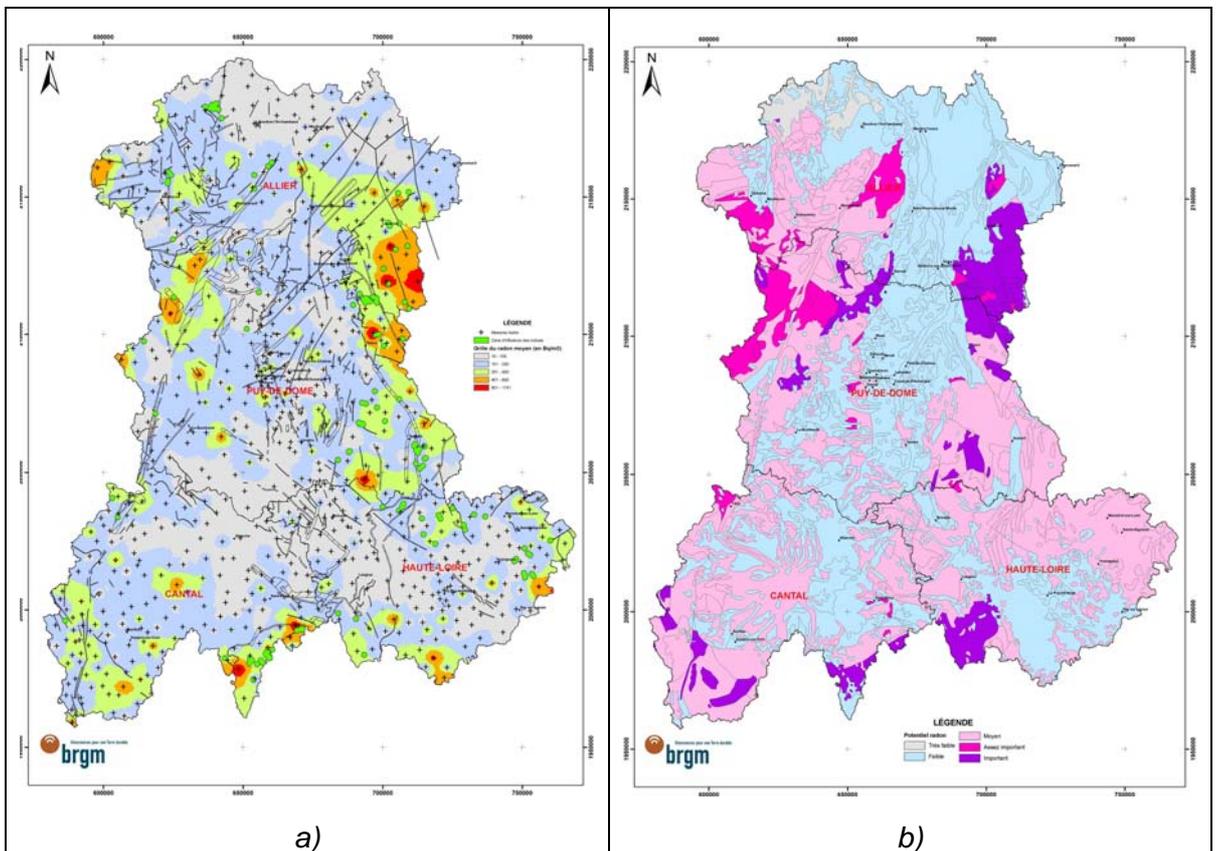


Illustration 23 - Grille estimée à partir de la mesure moyenne de l'exposition au radon par commune (a) et valeur moyenne en radon des formations géologiques calculée à partir de la grille précédente (b)

7. Discussion

Les résultats obtenus par ce calcul à partir de l'exposition radon moyenne mesurée dans les bâtiments sont cohérents avec ceux obtenus avec la démarche uranium, et confirment la pertinence globale de l'approche. Le tableau de l'illustration 24 fait la synthèse de l'ensemble des paramètres calculés pour estimer l'aléa radon des formations géologiques de la région Auvergne.

Ainsi, les roches présentant les plus fortes valeurs moyennes issues des mesures radon correspondent bien aux roches acides volcaniques (cas des formations du Houiller notées h2 et h3) ou granitiques (granitoïdes notés 15, 16, 17, 18 et 19) du socle, ou à certains niveaux détritiques gréseux de la couverture sédimentaire.

Les formations uranifères du Permien ressortent avec une valeur de radon moyen de 136, qui n'est peut être pas représentative de cette formation riche en indices d'uranium et activement prospectée.

En deuxième position, on trouve les formations métamorphiques du socle notées bk, bo et ko avec des valeurs moyennes d'exposition radon supérieures à 150, confirmées par des teneurs non négligeables en uranium. On peut y rattacher les formations orthogneissiques notées 6 et 7 qui présentent un aléa du même niveau avec quelques fortes teneurs. Le cas de la formation d2 est difficile à interpréter car nous n'avons aucune mesure uranium sur cette formation qui est de plus hétérogène en composition. Comme la surface couverte par cette formation est réduite, on ne peut pas exclure un artefact lié à l'interpolation des fortes valeurs d'exposition radon mesurées à proximité.

Ensuite, on retrouve l'ensemble des formations détritiques tertiaires (notées g, e2, e2g, p, e1) dont on a pu voir que le potentiel uranifère pouvait être important à proximité du contact avec le socle, dans des zones où elles ont été activement prospectées. Comme pour la formation d2, les sables mio-pliocènes notés "mp", qui couvrent une petite surface à proximité de Saint-Flour, montrent une forte valeur d'exposition radon (201) probablement liée aux formations de socle encaissantes.

Les formations volcaniques tertiaires montrent un aléa plus important pour les roches intermédiaires et différenciées (trachytes, mugéarites, phonolites) que pour les roches basiques (basaltes, basanites, hawaïtes, ...).

Pour les plus basses valeurs, on confirme l'aléa faible associé aux formations calcaires, marneuses ou argileuses mésozoïques ou tertiaires et aux roches volcaniques basiques tertiaires.

Les alluvions notés q2 et q3 montrent une valeur moyenne d'exposition supérieure à 130 mais l'importante hétérogénéité de composition et spatiale de ces formations ne permet pas de leur attribuer un aléa fiable. On ne peut toutefois pas exclure la présence de concentrations locales de minéraux lourds arrachés du socle par érosion, qui peuvent produire localement un aléa plus important.

Code	Lithologie	U moyen (cf. ill. 8)	U maximum (cf. ill. 8)	Radon moyen (issu de la grille, cf. ill. 23)	Score U moyen (cf. ill. 18)
d2	basaltes, spilites, dolérites			378	0.04
17	monzogranites, granodiorites	12.29	74.50	342	6.03
h2	rhyodacites, tuffites acides, ignimbrites	7.99	20.00	282	4.13
h1	rhyodacites, andésites, ignimbrites	5.30	12.60	237	3.09
14	tonalites, diorites, gabbros	3.78	12.30	201	3.09
mp	sables, cailloutis, argiles			201	0.46
15	monzogranites, granodiorites	7.32	36.69	198	4.06
16	granodiorites, tonalites, quartzdiorites	4.28	8.80	195	4.09
bo	micaschistes, paragneiss	3.49	8.80	182	3.08
19	leucogranites peralumineux	11.65	52.40	174	6.04
q2-3 (m-t-p)	trachytes, mugéarites, phonolites, pyroclastites	5.00	5.00	170	2.01
18	monzogranites, granodiorites	12.24	95.00	160	5.04
bk	paragneiss, leptynites, amphibolites	5.63	27.50	160	4.09
gm (m-t-p)	mugéarites, trachytes, phonolites	5.00	5.00	159	2.00
h3	rhyodacites, tuffites acides, ignimbrites	7.90	8.70	158	5.35
6	orthoigneiss anatectiques	6.52	27.20	152	3.07
ko	micaschistes, paragneiss plagioclasiques	3.69	17.90	152	3.09
g	sables, marnes, argiles, conglomérats			142	1.68
pq1 (m-t-p)	trachytes, mugéarites, phonolites, pyroclastites	5.00	5.00	142	2.01
gla (f-p)	leptynites, amphibolites, élogites	2.53	5.30	140	2.19
7	orthoigneiss granitiques	4.10	17.70	139	2.05
e2	argiles, cailloutis, conglomérats, grès, marnes			138	2.02
q3	sables, argiles, graviers, galets			138	0.06
p	sables, cailloutis, argiles			137	1.60
e2g	argiles, marnes, calcaires, sables			136	3.02
r	grès, conglomérats, schistes, charbons	9.28	13.60	136	6.02
q2	argiles, cailloutis, blocs			135	0.05
q2-3 (b-h-t)	basanites, hawaïtes, benmoréites, téphrites	2.00	2.00	133	1.06
ub (f-p)	ultrabasites, péridotites, serpentinites	3.61	8.90	132	2.21
t	argiles, cailloutis, sables			128	0.14
gm (b-h-t)	basanites, hawaïtes, téphrites	2.00	2.00	124	1.02
pq1	argiles, cailloutis, sables			123	0.51
m	sables, marnes, argiles, conglomérats			119	0.59
pq1 (b-h-t)	basanites, hawaïtes, benmoréites, téphrites	2.00	2.00	118	1.01
eg	argiles, conglomérats, grès, marnes			108	0.94
t2-3	grès, marnes, dolomies, argiles			95	1.05
e (b-h-t)	basanites, hawaïtes, téphrites	2.00	2.00	92	1.27
j2	calcaires, marnes			84	0.00
e (m-t-p)	mugéarites, trachytes, phonolites	5.00	5.00	83	2.03
e1	argiles, conglomérats, grès, limonites, marnes			83	2.00
j1	calcaires, marnes, grès, argiles, dolomies	0.00	0.00	62	0.03

Illustration 24 - Comparaison entre les teneurs moyennes et maximales en uranium et les valeurs moyennes de l'exposition radon estimée à partir de la grille et du score uranium moyen des formations géologiques

8. Conclusion

Cette étude sur la cartographie du potentiel d'émanation du radon en région Auvergne a été réalisée par le BRGM à la demande de services de l'Etat afin d'améliorer la connaissance locale de cette problématique.

La démarche à caractère probabiliste repose sur les principes suivants :

1. Le potentiel d'émission du radon à la surface du sol augmente avec la concentration moyenne en uranium des terrains sous jacents ;
2. Certaines informations telles la présence de failles ouvertes, la densité d'indices miniers ou l'existence de concessions pour l'exploitation du minerai caractérisent des sites où le risque de détection de fortes concentrations en radon est accentué.

Le cumul de ces critères détermine un score assimilable à un niveau de probabilité d'émission tellurique, depuis l'aléa faible (rares exhalaisons intenses) jusqu'à l'aléa important (fréquentes exhalaisons intenses).

Concrètement, le risque qu'une construction soit implantée sur un terrain d'où émane un flux de radon élevé, c'est-à-dire apte à générer des expositions $> 400 \text{ Bq/m}^3$ à l'intérieur de locaux mal isolés et peu aérés, est significativement plus fort dans les secteurs relevant de la dernière catégorie que dans les secteurs relevant de la première.

Le rapprochement avec les données d'exposition disponibles dans la région conforte globalement le bien fondé de cette approche.

L'aléa le plus fort se trouve à l'aplomb des formations granitiques ou volcaniques acides du Carbonifère, surtout quand elles sont affectées par d'importantes fractures comme le Sillon houiller. Il faut aussi y ajouter les formations détritiques permienues du Nord-Ouest de l'Allier. On trouve ensuite un aléa moyen associé aux formations métamorphiques du socle.

Un aléa peu important est lié aux volcanites intermédiaires et différenciées (trachytes, phonolites, ...) tertiaires et aux formations détritiques tertiaires situées près du contact avec le socle.

Les autres formations présentent un aléa faible.

Le manque d'information disponible et l'hétérogénéité des formations alluvionnaires récentes ne permettent pas de leur attribuer un niveau d'aléa.

Les résultats de l'analyse sont synthétisés sur l'illustration 25 qui superpose l'aléa calculé (cf. ill. 17) avec les principales singularités locales ayant participé à sa construction (failles, indices miniers, concessions minières), en ajoutant pour la circonstance les ressources en eaux minérales, non prises en compte dans le calcul mais néanmoins intéressantes au regard de la problématique.

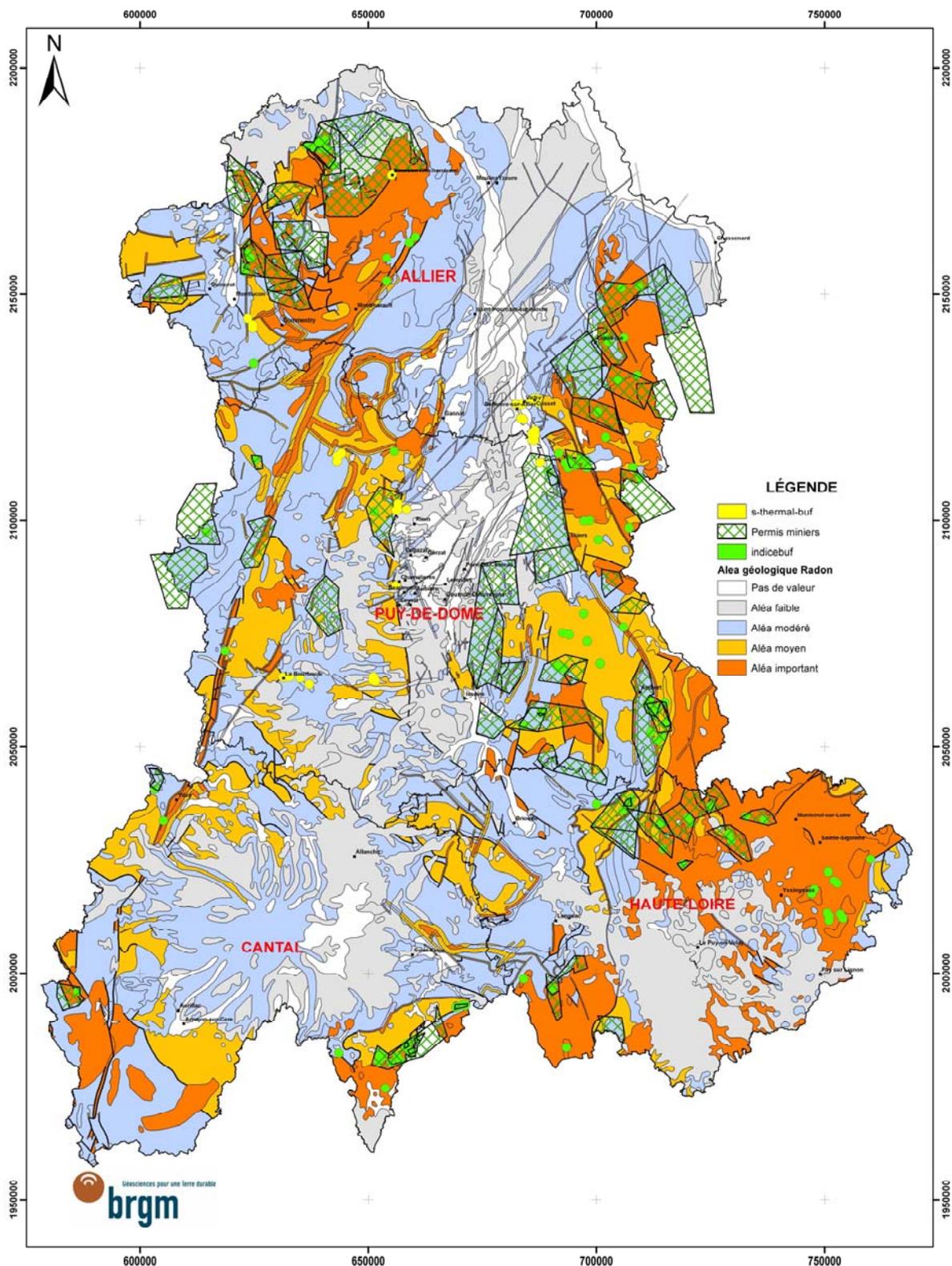


Illustration 25 - Alea radon estimé à partir de l'ensemble des indications de potentiel uranifère : formations géologiques (teneurs moyennes en uranium), failles, indices d'uranium, permis miniers et sources thermales

Localement, la présence d'une fracture peut induire un aléa plus important, même dans une formation peu uranifère.

La présence des sources thermo-minérales reportées sur la carte peut aussi induire localement un aléa radon plus important.

Dans une région où le risque d'exposition au radon dans les espaces clos est omniprésent et ne peut en tout cas jamais être totalement écarté, la présente étude permet de mettre en évidence des zones d'occurrence assez nettement contrastées selon les territoires, en lien avec la géologie locale. Cette connaissance doit permettre de mieux cibler territorialement l'information axée sur les mesures élémentaires de prévention et de protection dans les habitations, et de l'adapter au contexte local.

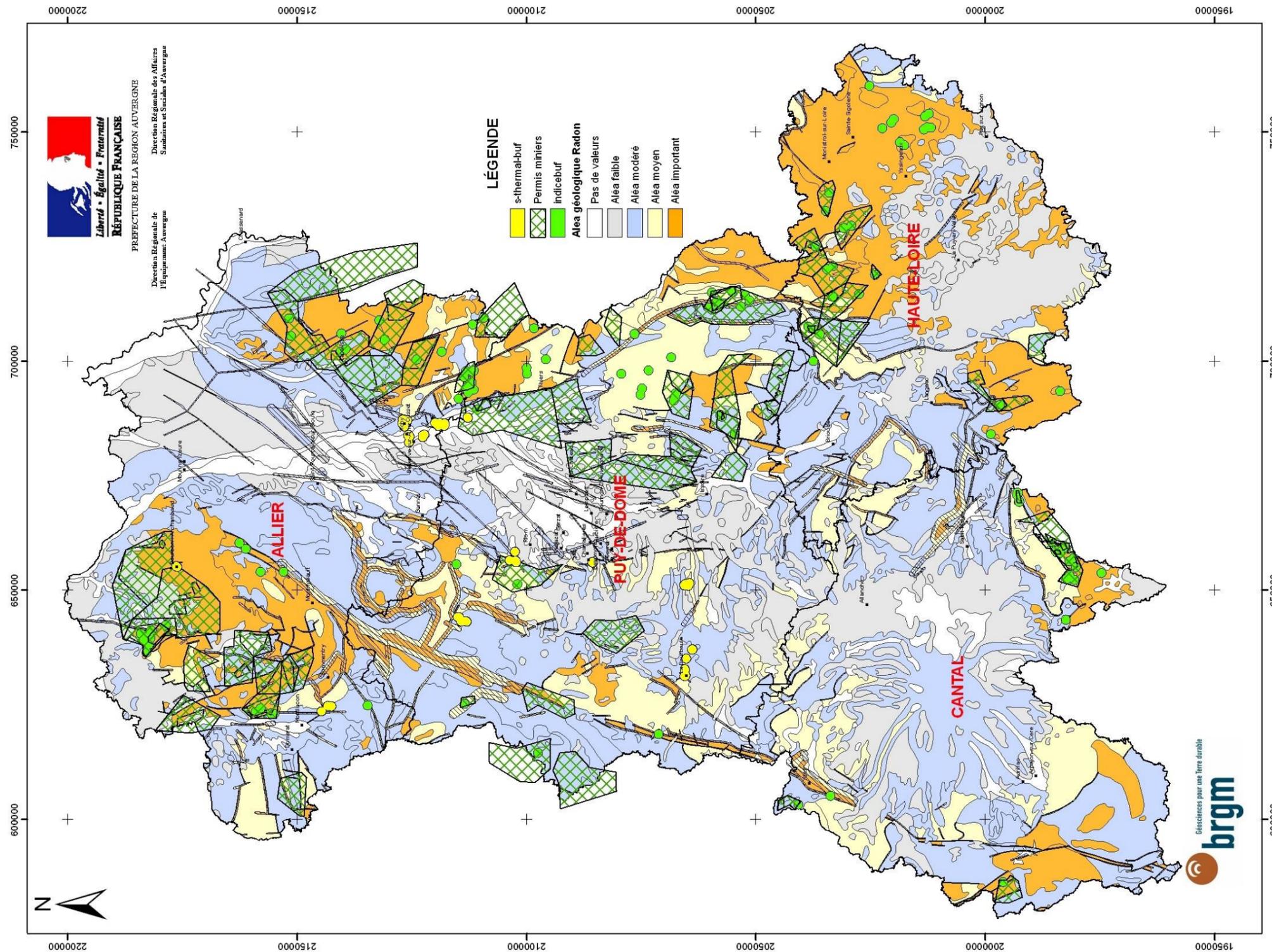
Annexes

Carte n° 1 - Aléa radon calculé en prenant en compte les formations géologiques (teneurs moyennes en uranium), les indices d'uranium et les failles (format A3)

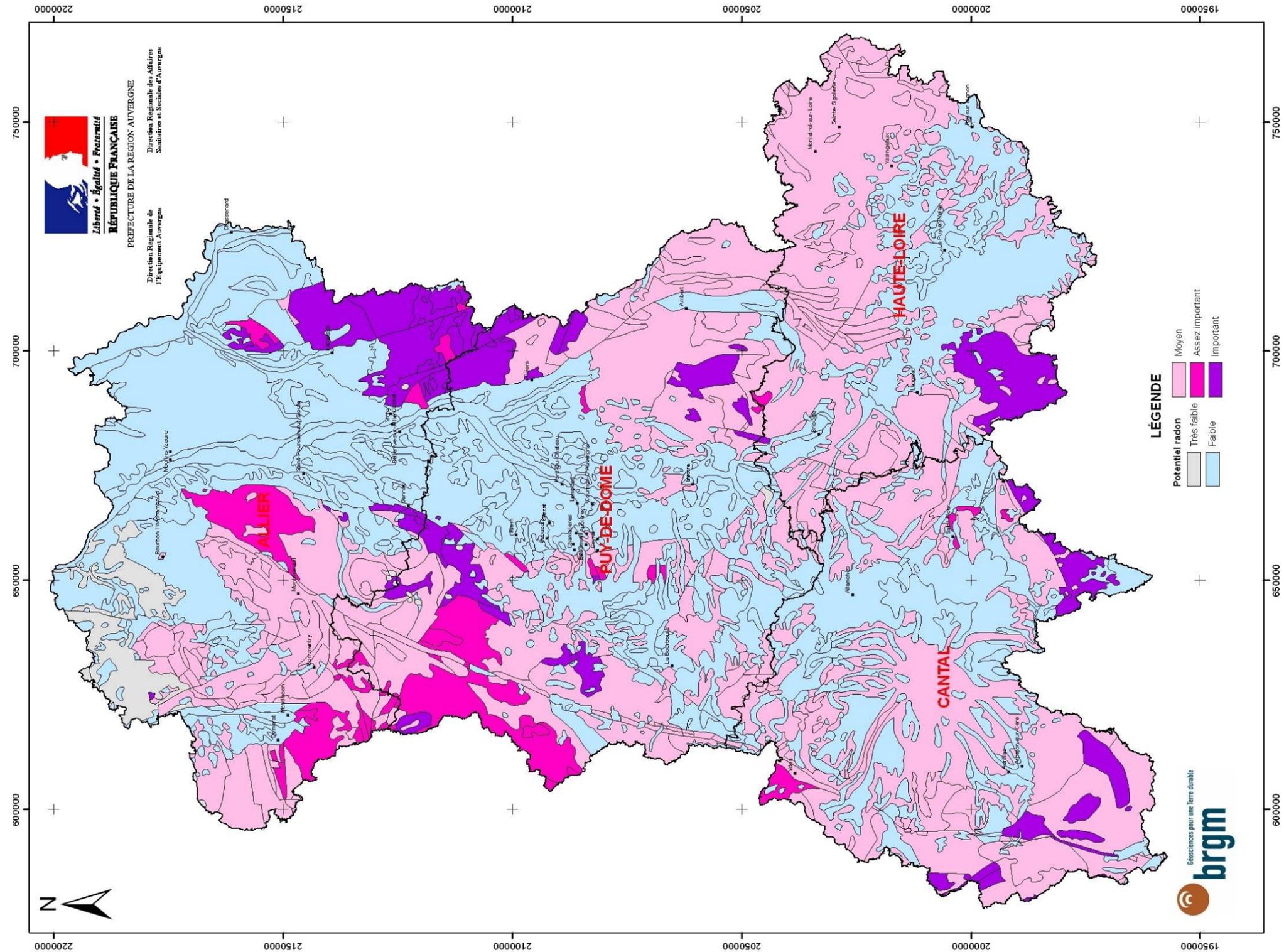
Carte n° 2 - Valeur moyenne en radon des formations géologiques calculée à partir de la mesure moyenne de l'exposition par commune (format A3)

Carte n° 3 - Hiérarchisation des communes en fonction de l'aléa géologique radon (format A3)

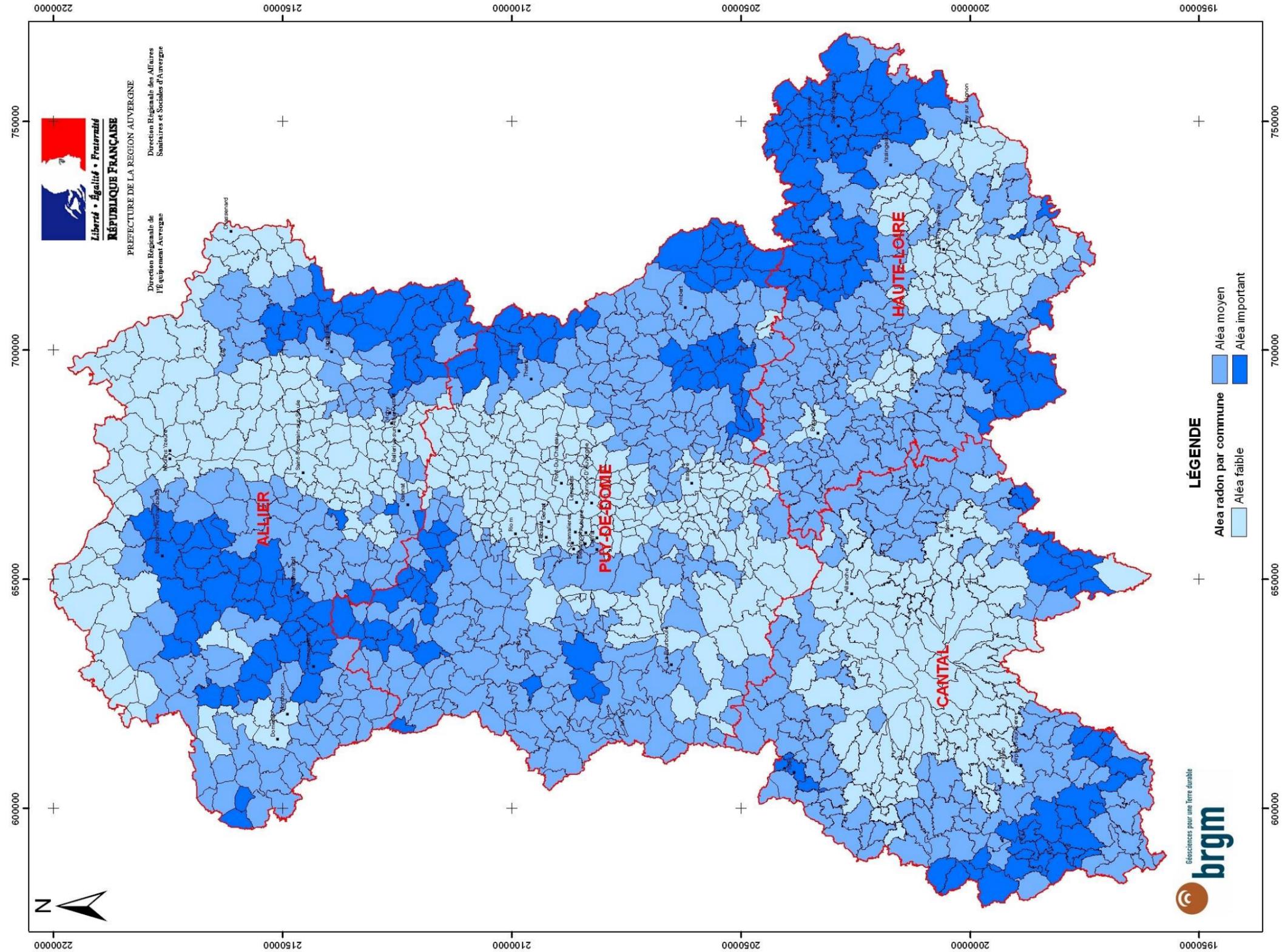
Carte n° 1 – Aléa radon calculé en prenant en compte les formations géologiques (teneurs moyennes en uranium),
les indices d'uranium et les failles



Carte n° 2 - Valeur moyenne en radon des formations géologiques calculée à partir de la mesure moyenne de l'exposition par commune



Carte n° 3 - Hiérarchisation des communes en fonction de l'aléa géologique radon





Centre scientifique et technique
3, avenue Claude Guillemin
BP 36009
45060 Orléans cedex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service Géologique Régional Auvergne
Campus des Cézeaux
12, avenue des Landais
63170 Aubière - France
Tél. : 04 73 15 23 00



PREFECTURE DE LA REGION AUVERGNE

Direction Regionale de l'Équipement Auvergne

Direction Regionale des Affaires Sanitaires et Sociales d'Auvergne



BRGM/RP-55940-FR



Rapport BRGM/RP-55940-FR Aléa Radon en région Auvergne

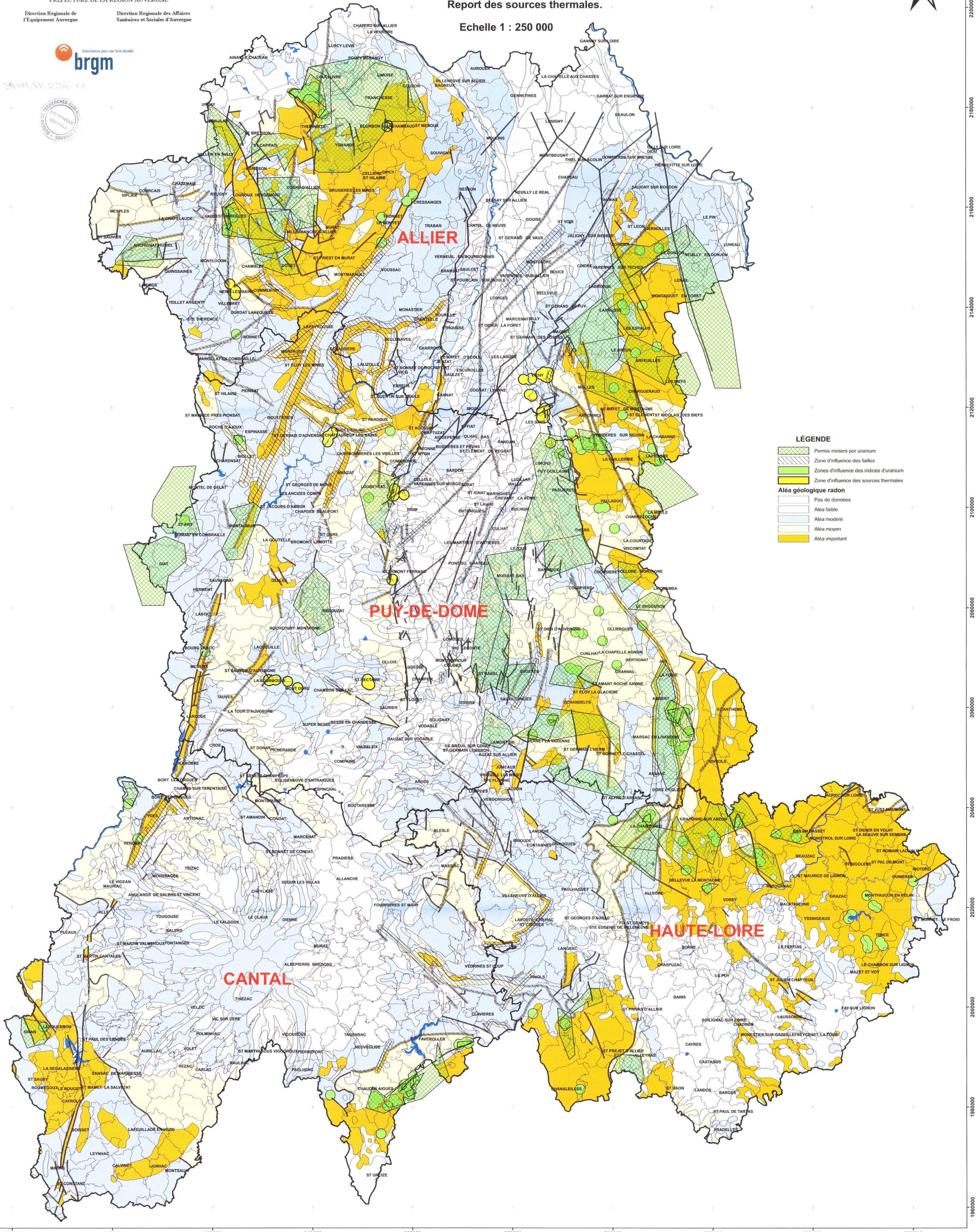
Aléa radon des formations géologiques calculé à partir des teneurs en U des formations, des indices d'uranium, des permis miniers pour uranium et des failles.
Report des sources thermales.

Echelle 1 : 250 000



2200000
2160000
2120000
2080000
2040000
2000000
1960000

2200000
2160000
2120000
2080000
2040000
2000000
1960000



LÉGENDE

- Permis miniers pour uranium
- Zone d'influence des failles
- Zones d'influence des indices d'uranium
- Zone d'influence des sources thermales

Aléa géologique radon

- Pas de données
- Aléa faible
- Aléa moyen
- Aléa important

Rapport BRGM/RP-55940-FR

Alea Radon en région Auvergne

Aléa radon des formations géologiques calculé à partir des mesures radon dans les bâtiments
Report des sources thermales

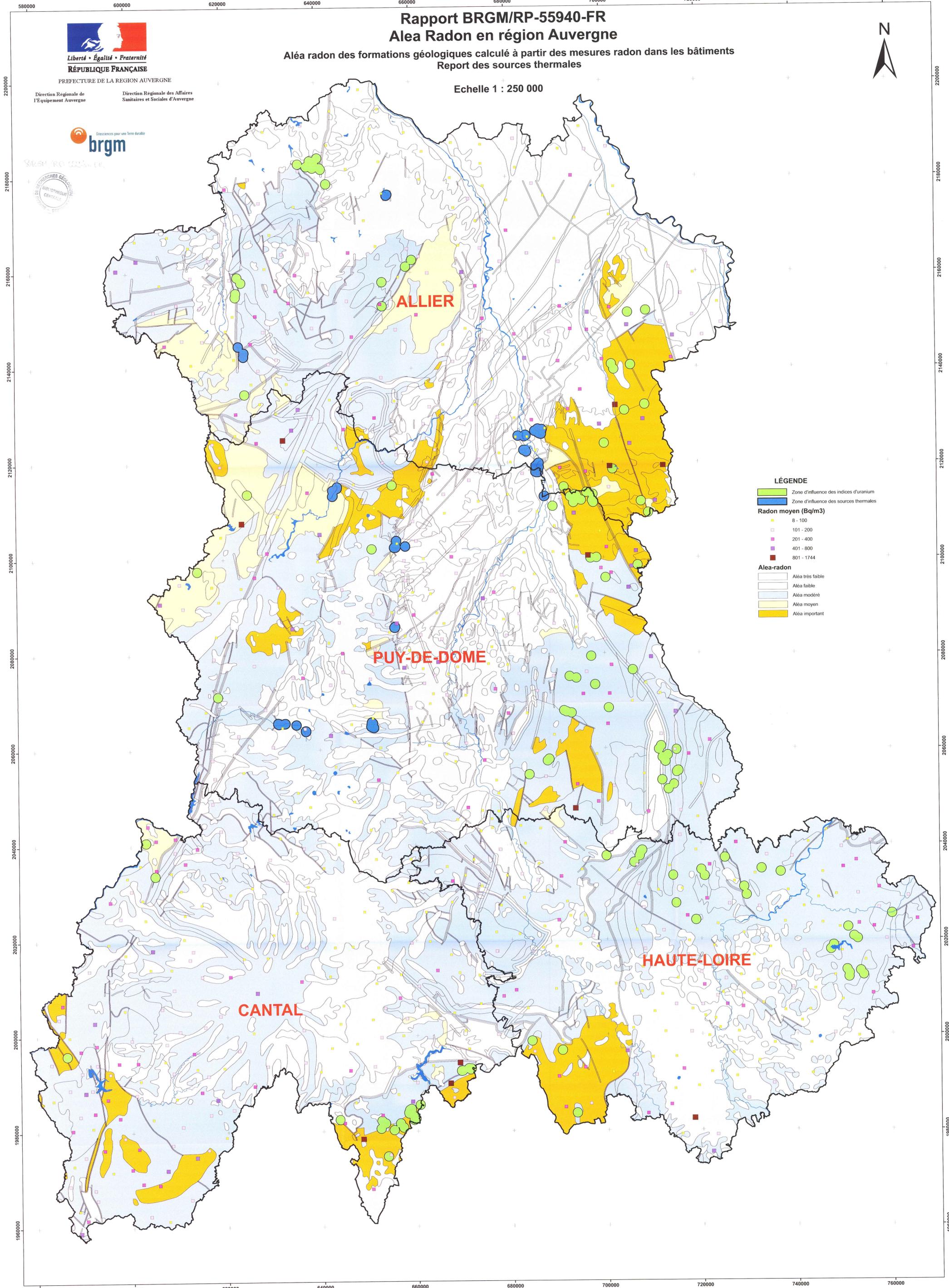


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PREFECTURE DE LA REGION AUVERGNE

Direction Regionale de l'Équipement Auvergne
Direction Regionale des Affaires Sanitaires et Sociales d'Auvergne



Echelle 1 : 250 000



LÉGENDE

- Zone d'influence des indices d'uranium (light green)
- Zone d'influence des sources thermales (blue)

Radon moyen (Bq/m³)

- 8 - 100 (yellow square)
- 101 - 200 (light blue square)
- 201 - 400 (medium blue square)
- 401 - 800 (dark blue square)
- 801 - 1744 (red square)

Aléa-radon

- Aléa très faible (white)
- Aléa faible (light blue)
- Aléa modéré (medium blue)
- Aléa moyen (yellow)
- Aléa important (orange)

580000 600000 620000 640000 660000 680000 700000 720000 740000 760000



Rapport BRGM/RP-55940-FR

Alea Radon en région Auvergne

Hierarchisation des communes en fonction de l'alea géologique radon



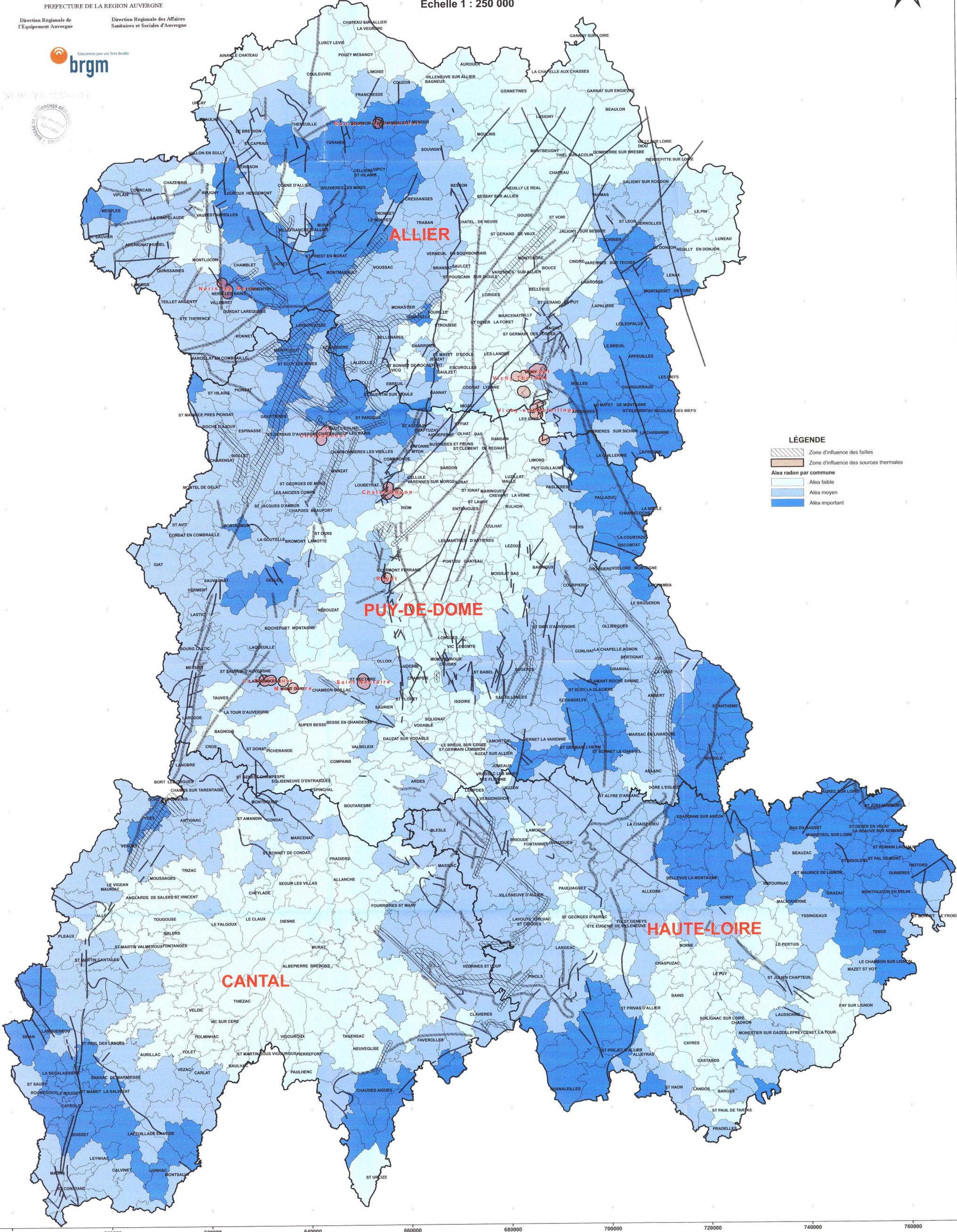
Echelle 1 : 250 000

PREFECTURE DE LA REGION AUVERGNE
Direction Regionale de l'Équipement Auvergne
Direction Regionale des Affaires Sanitaires et Sociales d'Auvergne



2200000
2180000
2160000
2140000
2120000
2100000
2080000
2060000
2040000
2020000
2000000
1980000
1960000

2200000
2180000
2160000
2140000
2120000
2100000
2080000
2060000
2040000
2020000
2000000
1980000
1960000



LÉGENDE

- Zone d'influence des failles
- Zone d'influence des sources thermales
- Aléa radon par commune
 - Aléa faible
 - Aléa moyen
 - Aléa important