



EHESP

**Mastère spécialisé Ingénierie et
Management des Risques en Santé
Environnement et Travail**

Promotion : **2014 - 2015**

Date du Jury : **Novembre 2015**

**Comment la problématique du radon
est-elle prise en compte par les
acteurs de la construction en
Bretagne ?**

Antonin Potelon

Remerciements

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements à mon référent professionnel, Monsieur Rémi Boscher, pour m'avoir accordé sa confiance en me permettant de rejoindre l'équipe du Réseau Breton Bâtiment Durable.

J'aimerais aussi remercier Monsieur Olivier Blanchard, mon référent pédagogique de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, pour son suivi méthodologique et pour sa contribution au présent rapport.

Je tiens également à remercier Monsieur Martin Guer, chef de projet du dispositif REX Bâtiments Performants de l'Agence Qualité Construction, pour sa disponibilité et ses conseils avisés.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur Samuel Daucé, du Réseau Breton Bâtiment Durable, pour avoir su répondre à mes interrogations tout au long de ma mission.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur Patrick Debaize de l'association Consommation Logement Cadre de Vie, et Madame Claudine Noyon de la délégation territoriale du Finistère de l'Agence Régionale de Santé, pour l'intérêt qu'ils ont porté au projet et la mise à disposition de leur expérience.

Je remercie également Monsieur Philippe Cardon, de la Fédération Régionale du Bâtiment, pour la mise à disposition de ses connaissances.

Je remercie également tous les acteurs sollicités au cours de cette mission pour leur participation à ce travail et le temps qu'ils m'ont accordé.

Enfin, j'aimerais remercier l'ensemble de l'équipe de la Cellule Economique de Bretagne pour la chaleur de leur accueil.

Sommaire

Introduction	1
1 Description de la mission, des objectifs et de la méthodologie	3
1.1 Réseau Breton Bâtiment Durable	3
1.2 Agence Qualité Construction	4
1.3 Description de la mission	6
2 Déroulement de la mission professionnelle	7
2.1 Méthodologie.....	7
2.2 Difficultés rencontrés.....	9
3 Le radon.....	11
3.1 Origine	11
3.2 Propagation.....	11
3.3 Voies d'entrée dans les bâtiments.....	12
3.4 Concentrations de radon dans les bâtiments.....	13
3.5 Radon et santé publique	14
3.6 Cartographie du potentiel radon en France et en Bretagne	15
3.7 Le cadre réglementaire en France.....	17
4 Prévention et remédiation du risque radon	19
4.1 Distinction neuf/existant	19
4.2 Situation initiale	19
4.3 Conception du bâtiment	21
4.4 Etanchéité	21
4.5 Ventilation	23
4.6 Mises en œuvre des systèmes de protection contre le radon	27
4.7 Efficacité des mesures de protection contre le radon	31
4.8 Antagonismes et synergies	31
5 Etat des lieux de la gestion du radon.....	33
5.1 Contexte.....	33
5.2 Recommandations	38
5.3 Réglementation	41
Conclusion	45
Bibliographie	47
Liste des annexes	I

Liste des sigles utilisés

ADEME : agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ALQA : association Lorraine pour la qualité de l'air
ANaH : agence nationale de l'habitat
AQC : agence qualité construction
ARMEC : association rennaise pour la maîtrise de l'énergie dans les copropriétés
ARS : agence régionale de santé
ASN : autorité de sûreté nucléaire
BBC : bâtiment basse consommation
BEEP : bâtiment environnement espace pro
BIM : building information modeling
CAPEB : confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment
CCA : Concarneau Cornouaille agglomération
CCNSE : centre de collaboration nationale en santé environnement
CEREMA : centre d'étude et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CIRC : centre international de recherche sur le cancer
CLCV : consommation logement cadre de vie
FEE Bat : formation aux économies d'énergie dans le bâtiment
FRB : fédération régionale du bâtiment
DDASS : direction départementale des affaires sanitaires et sociales
DGS : direction générale de la santé
DREAL : direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DTU : document technique unifié
IFC : industry foundation classes
INCa : institut national du cancer
InVS : institut de veille sanitaire
IRSN : institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
NRPA : Norwegian radiation protection authority
OMS : organisation mondiale de la santé
OPAH : organisation programmée d'amélioration de l'habitat
PNSE : plan national santé environnement
PRSE : plan régional santé environnement
REX : retour d'expérience
RT2012 : réglementation thermique 2012

SCHS : service communal d'hygiène et santé

VMC : ventilation mécanique contrôlée

Introduction

Les problématiques de qualité de l'air intérieur, dont les enjeux sanitaires ne sont plus à démontrer, se situent à la frontière des domaines de la santé et de l'environnement. Le bâtiment est en effet l'environnement le plus immédiat de l'homme, et il influence de manière durable la santé de ses occupants. Parmi les problématiques de qualité de l'air intérieur, la question du radon est intimement liée aux performances du bâtiment puisque les conditions de température, de pression et de ventilation n'influencent pas uniquement son évacuation, mais aussi (et surtout) son introduction dans l'enceinte du bâtiment. Cette notion de construction performante s'est longtemps résumée à la recherche de performance énergétique, qui a conduit à l'étanchéification massive des enveloppes favorisant l'accumulation de radon dans l'air intérieur. Depuis une dizaine d'années émerge une nouvelle approche, plus globale, de la performance environnementale du bâtiment. Celle-ci introduit le concept de durabilité en se basant, entre autre, sur la notion d'énergie grise, et a été généralisée par la loi Grenelle II portant engagement national pour l'environnement. Cette vision systémique du bâtiment est particulièrement adaptée à l'étude du radon, car la moindre modification du bâti peut perturber l'équilibre du système et influencer grandement les concentrations en radon dans l'air intérieur.

Dans ce contexte, le Réseau Breton Bâtiment Durable est une structure d'accueil privilégiée pour étudier le radon. Fervent défenseur de cette approche globale de la performance environnementale, il s'intéresse de surcroît aux modes constructifs voués à se généraliser avec l'augmentation des préoccupations environnementales et l'apparition de nouvelles réglementations thermiques.

Basée sur une enquête de terrain, cette mission professionnelle vise dans un premier temps à dresser un état des lieux de la situation en Bretagne, qui alimentera ensuite une réflexion sur les méthodes de gestion du radon et sur la sensibilisation des acteurs bretons. Enfin, nous identifierons des leviers d'actions pour une meilleure gestion de cette problématique située au carrefour entre défi technique et problème de société.

1 Description de la mission, des objectifs et de la méthodologie

1.1 Réseau Breton Bâtiment Durable

1.1.1 Présentation

Le Réseau Breton Bâtiment Durable est un centre de ressources techniques financé par l'Etat, le Conseil Régional de Bretagne et l'ADEME Bretagne (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), et confié à la Cellule Economique de Bretagne depuis novembre 2012.



La Cellule Economique de Bretagne, une association loi de 1901, est l'observatoire régional de la filière construction. Elle assure des missions d'information, d'analyse et de prévision concernant l'activité des entreprises, la relation emploi-formation, la problématique du développement durable et la gestion et le recyclage des matériaux de construction.

L'activité du Réseau Breton Bâtiment Durable se décline en trois axes : l'information, l'animation et la production de ressources techniques.

La mission d'information est principalement assurée par le site Internet du Réseau (www.reseau-breton-batiment-durable.fr). Outre la présentation de l'activité du centre de ressource, le site dispose notamment d'une rubrique *agenda* qui permet de donner de la visibilité aux initiatives des acteurs bretons, et d'un annuaire qui recense les savoir-faire régionaux.

D'autre part, le Réseau Breton Bâtiment Durable anime des rencontres mensuelles autour de thématiques techniques (domotique, qualité de l'air intérieur, habitat partagé, etc.). Ces événements d'une demi-journée sont ouverts à tous et comprennent une visite de bâtiment, des interventions de professionnels et d'experts et des temps de discussion. Le Réseau contribue aussi au partage de connaissances en participant à des projets portés par des acteurs régionaux. Afin d'assurer une cohérence entre les missions portées localement et à l'échelon national, le Réseau Breton Bâtiment Durable est membre du réseau BEEP (Bâtiment Environnement Espace Pro) animé par l'ADEME. Il a vocation à capitaliser les expériences et favoriser les échanges entre régions.

Enfin, le Réseau Breton Bâtiment Durable produit et diffuse des ressources techniques, sous forme de fiches « retours d'expériences » (voir partie 1.1.2), de dossiers thématiques et d'une veille technologique et réglementaire.

La gouvernance du Réseau Breton Bâtiment Durable est assurée par :

- un comité de pilotage constitué de la DREAL, de la Région Bretagne, de l'ADEME Bretagne et des représentants de 18 structures régionales. Son rôle est de donner les grandes orientations, de fixer les priorités et de valider l'action menée. Il se réunit deux à trois fois par an ;
- un comité technique constitué de la DREAL, de la Région Bretagne et de l'ADEME. Il se réunit mensuellement pour suivre la mise en œuvre des projets et valider les choix opérationnels.

1.1.2 Fiches « retours d'expériences »

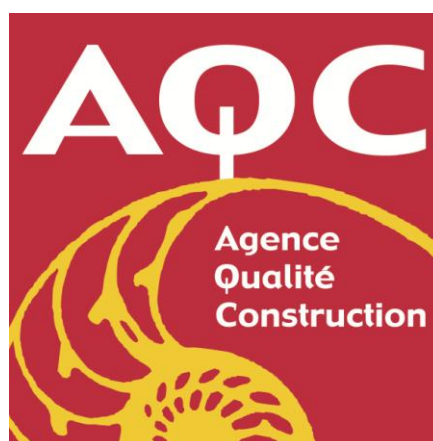
Les fiches « retours d'expériences », précédemment mentionnées, sont l'une des principales ressources produites par le Réseau Breton Bâtiment Durable. Il s'agit de descriptions détaillées de construction ou de rénovation de bâtiments durables, qui sont en libre accès sur le site internet du Réseau. Ces bâtiments sont sélectionnés sur la base de critères géographiques et de performance environnementale : nature, caractéristiques thermiques, choix des matériaux, énergie grise du chantier... Les fiches « retours d'expériences » ne traitent que de bâtiments livrés et en cours d'exploitation pour avoir un retour sur l'usage et la performance réelle. En plus des caractéristiques techniques des bâtiments étudiés, elles s'intéressent à des aspects plus qualitatifs comme le contexte dans lequel a émergé le projet, l'intégration du bâtiment dans son environnement ou le ressenti de ses utilisateurs.

Ces fiches suivent toutes le même format, décrit dans la « grille d'analyse de réalisations » fournie en annexe 1. Elle est le résultat de la collaboration de nombreux acteurs bretons dont l'ARMEC (association rennaise pour la maîtrise de l'énergie dans les copropriétés), la FRB (fédération régionale du bâtiment), la CAPEB Bretagne (confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment) et le conseil régional de Bretagne. Un exemple de fiche « retour d'expérience » est joint en annexe 2.

1.2 Agence Qualité Construction

1.2.1 Présentation

L'AQC (Agence qualité construction) est une association loi 1901 mise en place par la loi Spinetta du 4 janvier 1978 relative à la responsabilité et à l'assurance dans le domaine de la construction. Son but est de promouvoir les actions de prévention des malfaçons, afin de réduire le nombre et la gravité des désordres. L'AQC est créée et financée par l'Etat en 1982, mais depuis 2005, elle est financée par les professions dans le cadre d'une



convention quinquennale entre tous les acteurs qui s'engagent à une contribution volontaire collectée par les assureurs.

Comme le Réseau Breton Bâtiment Durable, l'AQC regroupe tous les professionnels concernés par l'acte de construire : maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, bureaux d'études, artisans, assureurs, etc.

Les actions entreprises par l'AQC s'organisent autour de trois activités : l'observation, la prévention et la communication. Des dispositifs de veille permettent de prévenir les désordres sériels causés par la mise en œuvre de produits industriels ou par la défaillance de certaines règles de l'art. L'AQC conduit aussi des études de sinistralité qui approfondissent la connaissance de pathologies précises. Enfin, les résultats de ces études sont diffusés sous diverses formes : revues, articles, ouvrages, communiqués de presse...

1.2.2 Dispositif REX Bâtiments performants

L'amélioration de la performance énergétique et de la qualité environnementale des bâtiments est à l'origine d'une nouvelle génération de constructions très élaborées, mais dont le fonctionnement et l'équilibre sont plus sensibles que par le passé. Dans ce contexte de transition, le recours à des produits et procédés nouveaux se généralise. Les exigences se renforcent et les acteurs de la construction sont confrontés à des obligations de résultats. Ceci implique une montée en compétence, qui se fait par l'expérimentation, étape naturellement génératrice d'erreurs et de désordres.

C'est pourquoi l'AQC décide, en 2010, de lancer une étude spécifiquement dédiée aux bâtiments performants : le dispositif REX (retour d'expérience) bâtiments performants. Ces bâtiments doivent au moins présenter un niveau de performance basse consommation. Ceci comprend les projets BBC (bâtiment basse consommation) - labellisés ou non, ainsi que toutes les opérations conformes à la RT2012 (réglementation thermique 2012). Les opérations bénéficiant du statut de « bâtiment à haute qualité environnementale » sont sélectionnées en priorité, ainsi que ceux qui font appel à des produits ou procédés innovants ou peu employés.

Basée sur une enquête de terrain, cette étude a pour objet d'identifier les non qualités qui ont un impact sur la qualité environnementale, la performance énergétique, la qualité d'usage, le confort, la mise en œuvre ou le coût des bâtiments. Ces désordres peuvent apparaître n'importe quand entre la conception et l'utilisation des bâtiments. Le dispositif vise aussi à capitaliser les bonnes pratiques qui assurent la prévention de ces désordres. A ce jour, la base de données du dispositif REX, qui n'est pas disponible au grand public, compte plus d'un millier de projets. Un exemple de fiche REX est fourni en annexe 3.

1.3 Description de la mission

Financée par l'ADEME, la mission professionnelle est réalisée au sein du Réseau Breton Bâtiment Durable, et en partenariat avec l'AQC. Elle dure 6 mois, du 10 juin 2015 au 9 décembre 2015. Ses objectifs sont multiples :

- Contribuer à la rédaction d'un dossier thématique sur le radon, ses méthodes de prévention et d'atténuation, et sa prise en compte dans le domaine de la construction en Bretagne ;
- alimenter la base de données du dispositif REX bâtiments performants de l'AQC ;
- enrichir les ressources mises à disposition par le Réseau Breton Bâtiment Durable.

En plus du présent rapport, les livrables attendus sont :

- 10 fiches « retours d'expériences » pour le Réseau Breton Bâtiment Durable ;
- 20 fiches REX pour l'AQC ;
- un rapport thématique sur le radon. D'une vingtaine de pages, sa forme est imposée par l'ADEME. Il sera diffusé par l'ADEME aux acteurs de la construction ;
- une réflexion sur la forme et le fond d'un rapport thématique sur le radon pour le compte du Réseau Breton Bâtiment Durable, ainsi qu'une contribution à sa rédaction ;
- une restitution orale des résultats, au cours d'une rencontre sur la thématique élargie de la qualité de l'air intérieur, qui se tiendra à l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique le 9 Décembre 2015. Cette journée ouverte à tous permettra notamment de valoriser le travail effectué auprès des acteurs rencontrés lors de la mission.

2 Déroutement de la mission professionnelle

2.1 Méthodologie

2.1.1 Sélection d'opérations

A partir des bases de données de l'AQC, du Réseau Breton Bâtiment Durable et de la Cellule Economique de Bretagne, de la presse spécialisée et des professionnels membres du Réseau Breton Bâtiment Durable, dix projets de construction ou de rénovation de bâtiments sont sélectionnés sur différents critères : démarche environnementale remarquable, prise en compte du radon affichée, situation géographique, variété des typologies (logements individuels ou collectifs, bâtiments non résidentiels). Ces dix projets donnent lieu à la rédaction de fiches « retours d'expériences » du réseau breton bâtiment durable et de REX pour l'AQC.

Dix autres projets sont sélectionnés principalement sur des critères de performance énergétique (prioritairement des bâtiments passifs ou à énergie positive, labellisés ou non). Ceux-ci font l'objet de REX pour l'AQC mais pas de fiches du Réseau Breton Bâtiment Durable, qui demandent un travail plus conséquent.

Les bâtiments sélectionnés sont répertoriés dans un fichier tableur « suivi des opérations », présenté dans l'annexe 4. Cet outil est essentiel pour l'organisation du travail car il mesure l'avancement de chacun des projets qui sont étudiés en parallèle. Le recours à un document cartographique permet d'évaluer la répartition spatiale des opérations sélectionnées. C'est aussi un bon moyen de communication ultérieure des résultats. Ce document est joint en annexe 5 du présent rapport.

2.1.2 Prise de contact et conduite d'entretien

Pour chaque bâtiment, le premier contact est toujours pris avec la maîtrise d'ouvrage, puisque c'est elle qui a la vision la plus générale du projet, depuis la définition des besoins jusqu'au suivi de l'exploitation du bâtiment. Le maître d'œuvre sera ensuite sollicité pour éclaircir certains aspects techniques, et pour proposer une perspective différente sur le projet. Si possible, des entretiens seront aussi menés avec les occupants du bâtiment (maîtrise d'usage) pour mieux cerner leurs attentes et l'expérience qu'ils ont du bâtiment.

Les acteurs sont généralement contactés par appel téléphonique, couplé d'un courriel résumant la discussion et confirmant la prise de rendez-vous. Lorsque l'entretien a lieu longtemps après qu'il ait été convenu, le professionnel concerné est rappelé quelques jours avant l'entrevue.

L'outil « contacts », présenté dans l'annexe 6, est un répertoire des acteurs contactés qui sert aussi d'agenda pour relancer les professionnels en cas de non réponse.

Les entretiens avec la maîtrise d'ouvrage sont couplés d'une visite du bâtiment. Les entretiens collectifs, et en particulier lorsqu'ils comprennent maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre en même temps, sont à proscrire. En effet, des conflits d'intérêt peuvent contraindre leurs discours. De plus, il est plus aisé d'atténuer le caractère formel de la conversation lorsque celle-ci ne comprend que deux interlocuteurs. Les entretiens sont semi-directifs : la grille d'analyse du Réseau Breton Bâtiment Durable (voir annexe 1) sert de guide d'entretien, sans pour autant être suivie à la lettre. Avec l'accord des participants (mais personne n'a jusqu'alors refusé), les entretiens sont enregistrés. De cette manière, on peut s'affranchir de la prise de note afin de réagir plus facilement aux propos de l'interlocuteur. Cela permet aussi le maintien du contact visuel, essentiel à l'étape de mise en confiance de l'interlocuteur.

Dans la mesure du possible, les visites sont groupées pour optimiser les déplacements. Les professionnels sont parfois recontactés par courriel ou par téléphone en cas de donnée ou de document manquant.

2.1.3 Enquête sur la prise en compte du radon

En parallèle des fiches « retours d'expériences » et des fiches REX, les bâtiments ayant mis en œuvre un système de prévention ou de remédiation radon viennent alimenter un dossier concernant les solutions techniques de lutte contre le radon, et un état des lieux plus général sur la situation en Bretagne. La prise en compte du radon fait l'objet d'un guide d'entretien spécifique à chaque opération, mais cet aspect de l'entretien est généralement peu directif. Au-delà des caractéristiques techniques, l'investigation de la sensibilisation des acteurs (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, maîtrise d'usage) est délicate. Il faut en effet prendre garde à la formulation des questions pour que celle-ci n'influence pas les réponses.

Pour compléter ces enseignements, des entretiens sont menés avec des acteurs de la santé publique et des professionnels du radon (entreprises de protection contre le radon, chercheurs, diagnostiqueurs ou formateurs radon). Ils permettent, dans une certaine mesure, de compenser le manque de recul et la faible puissance statistique de l'échantillon de bâtiments visités.

Avec l'aide de deux contributeurs extérieurs, experts du domaine, et d'un membre de l'AQC spécialiste des questions de qualité de l'air intérieur, le rapport thématique de l'ADEME est rédigé à partir des connaissances acquises sur le terrain. Il s'agit d'un document concis, écrit dans un langage simple, et comprenant de nombreuses illustrations. Bien que ce rapport soit très technique, le qualitatif y est préféré au quantitatif.

L'expérience de la rédaction de ce premier rapport aide à cerner les besoins qui définissent la forme que doit prendre le deuxième rapport du Réseau Breton Bâtiment Durable.

2.2 Difficultés rencontrés

Le principal frein au bon déroulement de la mission a été la difficulté à trouver des opérations de prévention ou d'atténuation innovantes. La faible sensibilisation des professionnels du bâtiment et du grand public, qui en est une des causes principales, est décrite dans les parties 5.1.1 et 5.1.2. Cette difficulté est généralisée et rend impossible toute analyse statistique des méthodes de lutte contre le radon.

D'autre part, il s'est avéré que les bâtiments intéressants pour leur gestion du radon l'étaient rarement du point de vue de la performance environnementale. Environ trois mois après le début du stage, la difficulté à adopter une double approche développement durable/radon a contraint les objectifs quantitatifs de la mission à être revus à la baisse. Au lieu des dix fiches « retours d'expériences » initialement prévues, seulement six seront rédigées. L'objectif de 20 REX AQC est cependant maintenu.

Cette diminution du nombre de fiches « retours d'expériences » à rédiger permet, en parallèle, de visiter des bâtiments sélectionnés uniquement par leur prise en compte du radon, et qui ne donneront pas lieu à la production d'un document spécifique. Ceux-ci viendront néanmoins alimenter le dossier thématique sur le radon.

La dernière difficulté est liée à la période de l'année pendant laquelle s'est en partie déroulé le stage. En effet, la période des congés estivaux a considérablement freiné l'avancement des travaux, qui dépendent largement de la réactivité d'acteurs professionnels. La mission a particulièrement souffert de cette difficulté car cette période est arrivée en son début, dans une phase d'appropriation du sujet par la collecte d'informations.

De manière ponctuelle, certaines entreprises privées de traitement du radon ont été réticentes au partage de connaissance, et, dans un esprit de concurrence, n'ont pas souhaité divulguer leurs méthodes.

3 Le radon

3.1 Origine

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle. Son isotope le plus stable est le radon-222, dont la demie-vie est de 3,8 jours (Audi et al., 2003). Il est issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre. Il provient des sous-sols granitiques et volcaniques, ainsi que de certains matériaux de construction. La concentration de radon équivaut à l'activité volumique du milieu étudié, et est exprimée en Bq/m³. Une concentration de 1 Bq/m³ représente une désintégration par seconde par mètre cube.

3.2 Propagation

Le radon émane des roches sous-terraines et s'accumule dans l'air présent dans le sol. Les émissions de radon sont déterminées par la composition des sols (leur teneur en uranium et en radium), mais aussi par la taille des grains de roches qui définissent la surface de contact entre le sol et l'air qu'il contient. Le radon peut ensuite se déplacer de deux manières : par convection le long des fissures et des failles du socle rocheux, ou par diffusion à travers les terrains poreux. La propagation du radon dans le sol est similaire à celle de l'air : il traversera plus facilement un terrain perméable qu'un sol argileux. La vitesse de déplacement du radon dépend donc de la porosité du milieu. Ces vitesses sont faibles, généralement de l'ordre de 2 à 3 mètres par jour. C'est justement quand le temps de parcours est long que l'air du sol s'enrichit le plus en radon. Le potentiel radon d'une zone est donc fonction des émissions de radium des roches et de la perméabilité du sol. Parfois, une faible concentration de radon dans un sol très perméable peut entraîner une concentration plus élevée dans les bâtiments qu'une forte concentration de radon dans un sol peu perméable. Des paramètres météorologiques, tels que la pression et la température, peuvent aussi provoquer des variations saisonnières et journalières des concentrations de radon dans l'air du sol (Chéné et al., 1989).

Les couches superficielles du sol étant généralement moins perméables que les couches inférieures, il y a peu d'échanges entre l'air du sol et l'air extérieur. De plus, le radon est fortement dilué par l'air extérieur lorsqu'il sort de terre. C'est pourquoi les concentrations mesurées en plein air dépassent rarement 15 Bq/m³ (INERIS, 2008).

Les couches superficielles du sol, dont la faible perméabilité empêche le radon de s'échapper, sont percées par les fondations des bâtiments. Ainsi, si la pression intérieure est inférieure à celle du sous-sol, les bâtiments peuvent aspirer l'air du sol et le radon qu'il contient dans des rayons de plusieurs dizaines de mètres (Zeltner, 2000).

3.3 Voies d'entrée dans les bâtiments

Le radon retrouvé dans l'air intérieur des bâtiments peut :

- provenir du sol
- être émis par des matériaux de construction
- être amené par l'air extérieur
- être contenu dans l'eau puis vaporisé (CRIIRAD, 2014)

Dans l'air intérieur des bâtiments, l'excès de radon causé par les matériaux de construction est estimé entre 10 et 20 Bq/m³, et les apports du radon contenu dans l'eau vaporisée sont négligeables. Comme mentionné précédemment, les concentrations de radon sont faibles dans l'air extérieur, car il est rapidement dilué dans d'importants volumes d'air. Il est admis que le radon provenant du sol est la source la plus contributive aux concentrations mesurées dans l'air intérieur des bâtiments (CSTB ; ARS, 2012). Bien que les contributions de ces différentes sources soient très variables, nous nous concentrerons sur le radon provenant du sol.

Tout comme la propagation du radon dans le sol, son entrée dans les bâtiments peut s'effectuer de deux manières.

Premièrement, il peut se diffuser à travers le plancher bas du bâtiment. Sa diffusion est similaire à celle de la vapeur d'eau, bien connue dans le domaine de la construction. La diffusion d'un gaz à travers un solide dépend de la structure du solide et de certaines propriétés du gaz. Le coefficient d'étanchéité au radon des matériaux de construction sera donc différent de leur coefficient d'étanchéité à l'eau, même si ce dernier donne une indication sur le comportement des matériaux vis-à-vis du radon. Par ailleurs, lorsque la durée de diffusion moyenne du radon à travers un élément de construction excède quelques jours, la désintégration radioactive a essentiellement lieu à l'intérieur du solide. Les produits de désintégration du radon n'étant pas gazeux, ils restent piégés dans la paroi et ne sont plus dangereux pour la santé. Un matériau est considéré étanche au radon si son épaisseur est au moins trois fois plus grande que sa longueur de diffusion R , calculée comme suit :

$R = \sqrt{D/\lambda}$ avec D la constante de diffusion du radon (m²/s), et λ la constante de désintégration (s⁻¹) (Keller et Hoffmann, 2000).

Deuxièmement, le radon peut être transporté par l'air et s'infiltrer à travers les défauts d'étanchéité de l'enveloppe en contact avec le sol. Ces points de passages peuvent être des fissures du plancher bas ou des murs enterrés, des parties de constructions perméables (poutres, pierres etc.), des passages de réseaux (conduites d'eau, câbles électriques etc.).

La contribution de la diffusion du radon à travers les matériaux de construction est considérée négligeable devant celle de l'infiltration par des points de passage de l'air dans l'enveloppe du bâtiment (DREAL Limousin, 2012 ; Zeltner, 2000).

3.4 Concentrations de radon dans les bâtiments

La concentration de radon mesurée dans l'air intérieur d'un bâtiment varie en fonction de nombreux paramètres.

Elle dépend d'abord du potentiel radon de la zone géologique sur laquelle le bâtiment est implanté. Ce potentiel d'émission radioactive peut fortement varier dans l'espace. Un bâtiment construit sur une faille, par exemple, présentera une concentration de radon beaucoup plus importante qu'un bâtiment voisin similaire mais construit à l'écart de la faille. Le potentiel radon d'un lieu peut être estimé en mesurant la radioactivité d'un échantillon de sol.

La concentration de radon dans l'air intérieur dépend aussi des caractéristiques du bâtiment : son mode constructif, les matériaux utilisés, son étanchéité à l'air et sa ventilation. Par exemple, les bâtiments anciens ayant fait l'objet de rénovations énergétiques comprenant une étanchéification de l'enveloppe (avec notamment le remplacement des menuiseries extérieures), mais pas d'installation ou de remplacement du système de ventilation, présentent souvent des concentrations de radon très élevées. En effet, l'étanchéité à l'air de la dalle ou des soubassements n'est généralement pas améliorée car l'intervention est beaucoup moins aisée et, étant au contact du sol, les pertes de chaleur occasionnées par ces éléments sont faibles devant celles du reste de l'enveloppe. La pénétration du radon à l'intérieur du bâti n'est donc pas modifiée. Le renouvellement de l'air intérieur est par contre limité par l'imperméabilisation des parois et l'absence ou l'insuffisance de ventilation mécanique. Ne pouvant pas s'évacuer, le radon s'accumule dans l'air intérieur, et sa concentration peut atteindre 15 000 Bq/m³ dans certains cas. Une étude suisse réalisée sur 160 habitations ayant subi une rénovation énergétique révèle une croissance moyenne des concentrations en radon de 25%. Cette augmentation atteint même 35% lorsque les fenêtres ont été remplacées (Batiactu, 2015). Le comportement des occupants ou gestionnaires des bâtiments peut aussi influencer les teneurs en radon de l'air intérieur. Une mauvaise gestion de la ventilation, mécanique avec la VMC (ventilation mécanique contrôlée) ou naturelle en n'aérant pas suffisamment, contribue largement à l'augmentation des concentrations de radon.

Enfin, on constate de grandes variations journalières et saisonnières du taux de radon à l'intérieur des bâtiments. Les variations journalières dépendent principalement des activités humaines, avec des ouvertures de portes et fenêtres en journée, et une ventilation mécanique parfois réduite ou arrêtée la nuit (CEREMA, 2013). Les variations saisonnières sont en partie dues à la diminution de la ventilation naturelle en hiver, et au

chauffage de l'air intérieur qui forme une colonne d'air chaud ascendante créant une dépression dans la partie inférieure du bâtiment (effet cheminée). A l'inverse, du fait de leur déshydratation, les sols émettent plus pendant l'été.

Bien que non exhaustifs, ces paramètres nous montrent qu'il est impossible d'estimer quantitativement la concentration intérieure de radon d'un bâtiment en considérant uniquement le mode constructif et la localisation géographique.

Il est donc nécessaire de mesurer ces concentrations pour évaluer l'exposition des occupants au radon. Il existe des instruments de mesure, appelés dosimètres. Le plus simple d'entre eux a la forme d'un cylindre en plastique d'environ 3 cm de diamètre. Il est bon marché (voire distribué gratuitement lors de certaines campagnes de mesure), facile d'utilisation, et mesure la concentration moyenne en radon dans un bâtiment. Il est recommandé de le placer dans une pièce de vie du niveau le plus bas, et de l'y laisser au moins deux mois pendant la période de chauffe. Des dosimètres actifs, plus onéreux mais plus précis, permettent de mesurer l'activité volumique en temps réel.



Exemple de dosimètre passif ©CLCV

3.5 Radon et santé publique

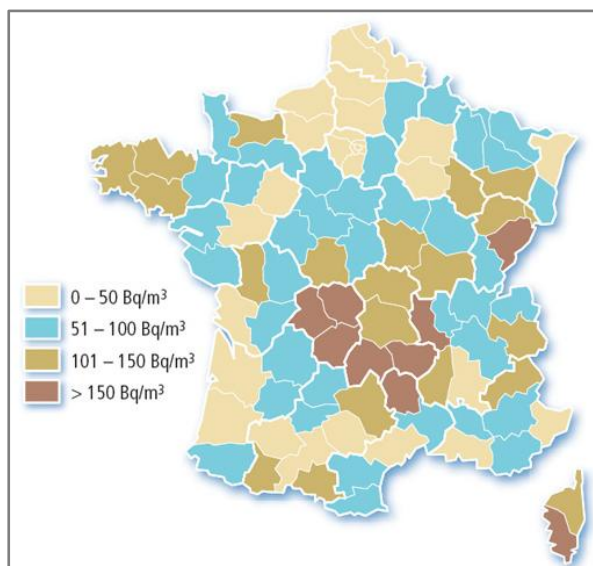
La plus grande part du radon absorbée à l'inspiration est rejetée à l'expiration. C'est la dégradation du radon et surtout de ses descendants radioactifs (notamment le polonium-218) qui émet des particules radioactives capables d'irradier les tissus des bronches ou des poumons (Institut National du Cancer, 2001) lorsqu'elles sont inhalées. Depuis 1987, le radon est reconnu cancérigène certain (groupe 1) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour le cancer du poumon (CIRC, 1988). Cette classification a été effectuée sur la double base d'études expérimentales animales et d'études épidémiologiques chez les mineurs d'uranium. De nombreuses études épidémiologiques ont depuis confirmé la contribution du radon, même à faible dose, dans la survenue de cancer du poumon (InVS, 2007 ; Turner, 2011 ; Zhang, 2012). En France, le radon est la deuxième cause de cancer du

poumon, toutefois bien derrière le tabac (InVS, 2007). L'InVS estime le nombre annuel de décès par cancer du poumon imputable à l'exposition domestique au radon entre 1 200 et 1 900, soit entre 5% et 12% des décès par cancer du poumon observés (InVS, 2013). En Bretagne le radon est responsable de 20% des cas de cancer du poumon (PRSE2 Bretagne).

La contribution du radon est suspectée dans la survenue d'autres pathologies que les cancers broncho-pulmonaires. Plusieurs études menées sur des cohortes de mineurs ont révélé des excès de mortalité par myélomes multiples, cancers du pancréas, du cerveau et de l'estomac, mais aucune association positive avec une exposition cumulée au radon n'a pour l'instant été mise en évidence. Une corrélation statistique entre l'activité volumique du logement et l'occurrence de leucémie a aussi été observée dans plusieurs études réalisées en population générale. Cette relation n'a cependant pas été confirmée par les études cas-témoins, dont la puissance statistique est généralement meilleure. Contrairement au cancer du poumon, l'association entre exposition au radon et excès de risque de ces pathologies est à ce jour suspectée mais pas encore confirmée (InVS, 2013).

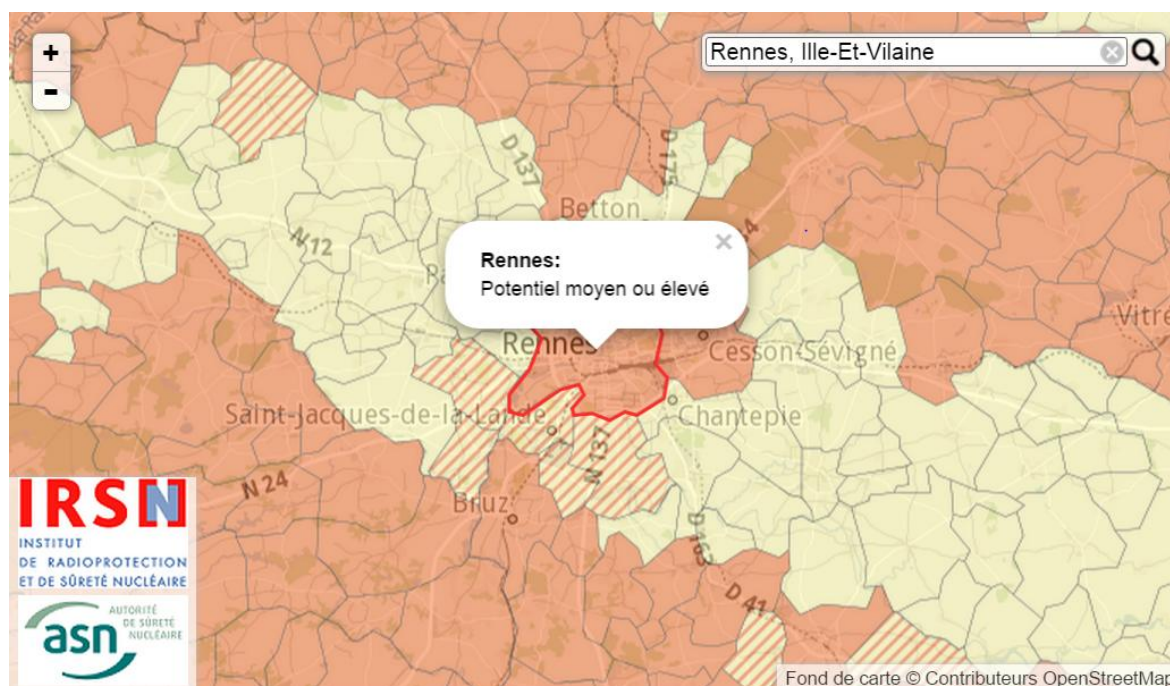
3.6 Cartographie du potentiel radon en France et en Bretagne

L'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) réalise depuis plusieurs années des campagnes de mesure du radon, et publie des cartes de concentration en radon dans l'air des habitations. La première carte résulte d'une campagne de mesure menée en 1997 à l'échelle départementale. Le territoire français avait alors été maillé en carrés de 7 km de côtés. Dans chacun de ces carrés, un bâtiment (généralement un établissement public) avait donné lieu à une mesure de la radioactivité naturelle. Toutes les mesures ont été réalisées en suivant le même protocole. La moyenne arithmétique des mesures a été retenue pour chaque département. La carte a été publiée en 2000 dans l'« Atlas 2000 », un document électronique résumant les résultats de la campagne de mesure disponible sur le site Internet de l'IRSN (IRSN, 2000). Trois départements bretons (les Côtes d'Armor, le Finistère et le Morbihan) sont parmi les départements français les plus exposés au risque radon (IRSN, 2002). L'IRSN définit les 31 départements dont la concentration moyenne de radon est supérieure à 100 Bq/m³ comme prioritaires.



Carte de l'activité volumique intérieure moyenne par département publiée dans l'Atlas 2000 (IRSN, 2000)

Depuis, d'autres campagnes de mesures ont permis de produire une carte du potentiel radon (« potentiel moyen ou élevé », « potentiel faible » ou « potentiel faible mais présence de facteurs géologiques particuliers pouvant faciliter le transfert du radon vers le bâtiment ») à l'échelle communale. Cette carte est consultable sur le site web de l'IRSN (IRSN, 2013).



Interface de la carte communal du potentiel radon des formations géologiques (www.irsn.fr, 2013)

3.7 Le cadre réglementaire en France

3.7.1 Etablissements recevant du public : arrêté du 22 Juillet 2004

Cet arrêté n'est applicable que dans les 31 départements qui ont été jugés prioritaires par l'IRSN. Il ne concerne que certains établissements recevant du public : les établissements d'enseignement (y compris les bâtiments d'internat), les établissements sanitaires et sociaux disposant d'une capacité d'hébergement, les établissements thermaux ainsi que les établissements pénitentiaires.

Les propriétaires des établissements concernés sont tenus de mettre en œuvre des mesures de l'activité volumique du radon. Ces mesures doivent être répétées tous les dix ans. Elles peuvent être réalisées par l'IRSN ou par des organismes agréés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN). Elles doivent être effectuées selon les normes Afnor définies par l'ASN en 2009 (ASN 2009-DC-135 du 7 Avril 2009).

- Si les mesures sont inférieures à 400 Bq/m³ : la réglementation n'impose aucune contrainte ;
- Si les mesures sont comprises entre 400 et 1 000 Bq/m³ : la réglementation impose de mettre en place des actions simples pour diminuer l'exposition et de réaliser une mesure de contrôle. Si le résultat de cette seconde mesure reste supérieur à 400 Bq/m³, l'établissement est tenu de réaliser un diagnostic complet du bâti afin d'identifier les voies d'entrée du radon. Depuis le 1er février 2011, ce diagnostic technique est décrit par la norme Afnor NF X 46-040. Des travaux adaptés doivent ensuite être mis en œuvre pour diminuer l'exposition, et une mesure de contrôle doit être réalisée pour s'assurer de leur efficacité ;
- Si les mesures sont supérieures à 1 000 Bq/m³ : la réglementation impose de mettre en place des actions simples, d'identifier les voies d'entrée, puis de réaliser des travaux et enfin de contrôler leur efficacité par une nouvelle mesure.

3.7.2 Lieux de travail : article R. 4451-136 du code du travail

Seuls sont concernés les 31 départements définis comme prioritaires par l'IRSN. La loi ne s'applique qu'aux lieux de travail souterrains où est exercée une activité définie par l'arrêté du 7 Août 2008.

L'employeur doit procéder à des mesures de l'activité volumique du radon, en sollicitant l'expertise d'un organisme agréé par l'ASN et mentionné à l'article R. 1333-15 du code de la santé publique ou par l'IRSN.

3.7.3 Habitations : directive Euratom 2013/59 du 5 Janvier 2013

La directive Euratom 2013/59 demande aux Etats membres de fixer des niveaux nationaux de référence à l'intérieur des logements. Ces niveaux ne doivent pas excéder 300 Bq/m³. A compter du 17 Janvier 2014, la France dispose d'un délai de 4 ans pour

transposer cette nouvelle directive en droit national, et en conséquence pour ajuster la réglementation nationale inscrite dans les codes de la santé, du travail et de l'environnement avec les normes internationales et européennes. A ce jour, cela n'a pas encore été effectué.

Par ailleurs, l'OMS a défini un seuil de référence de 100 Bq/m³ qu'il est recommandé de ne pas dépasser dans l'habitat. Dans le cas où des conditions régionales spécifiques ne permettraient pas de mettre en application un tel niveau, l'OMS préconise de choisir un autre niveau de référence, mais qui ne devrait pas excéder 300 Bq/m³.

3.7.4 Plans nationaux santé environnement

Déjà mentionnée dans les deux premiers Plans Nationaux Santé Environnement (PNSE), la gestion du risque radon est une priorité du PNSE 3 (2015-2019) et est déclinée en 4 actions (actions 4 à 7). L'action 4 assure la « mise en œuvre et la poursuite du plan national d'action pour la gestion du risque lié au radon ». La « promotion et l'accompagnement des actions territoriales de gestion intégrée du risque lié au radon dans l'habitat » est assurée par l'action 5. L'action n°6 propose quant à elle de « promouvoir et accompagner des actions préventives sur le risque radon en synergie avec des actions sur la qualité de l'air intérieur ou sur l'efficacité énergétique ». Enfin, l'action 7 concerne « l'actualisation de l'étude d'impact sanitaire du radon en tenant compte des dernières mesures et connaissances disponibles afin d'évaluer l'efficacité des politiques publiques sur la gestion du risque radon et de contribuer à les améliorer ».

Le PRSE 3 Bretagne, actuellement en cours de rédaction, retranscrira ces actions à l'échelle régionale.

4 Prévention et remédiation du risque radon

Plutôt que de dresser une liste exhaustive des systèmes de lutte contre le radon, cette partie vise à présenter les méthodes les plus fréquemment rencontrées sur le terrain, ainsi que les principales difficultés rencontrées et les aspects de la mise en œuvre auxquels il faut porter attention. Ces enseignements proviennent des observations faites lors des visites, des rencontres avec les maîtres d'ouvrage et d'œuvre, et des entretiens avec des professionnels de la santé ou du bâtiment spécialisés dans la protection contre le radon. Le faible nombre de bâtiment visités, et dont sont issus les résultats présentés ci-après, interroge la généralisation des résultats et leur applicabilité au-delà des frontières bretonnes.

4.1 Distinction neuf/existant

En ce qui concerne la protection des bâtiments contre le radon, il est primordial de distinguer le neuf de l'existant. L'approche est radicalement différente dans ces deux cas de figure. Pour les constructions neuves, il s'agit d'intégrer la problématique du radon le plus en amont possible dans le projet. Les acteurs concernés sont d'abord les architectes et bureaux d'études. L'approche est systématique, les coûts réduits, et les résultats quasiment garantis. Dans le cas de rénovation ou de remédiation radon, ce sont plutôt les entreprises et artisans qui sont concernés. La difficulté réside alors dans la définition de l'existant et des travaux à effectuer. Les méthodes d'atténuation sont choisies au cas par cas, elles peuvent être onéreuses et il arrive que les résultats escomptés ne soient pas atteints si une particularité du terrain ou du bâtiment a été omise. C'est pourquoi la distinction entre prévention et remédiation sera faite dans la plupart des solutions présentées ci-après.

4.2 Situation initiale

4.2.1 Neuf

Pour déterminer quel type de système de prévention mettre en œuvre dans un bâtiment neuf, il faut au préalable se renseigner sur :

- le potentiel radon de la zone sur laquelle le bâtiment sera construit. Des cartes sont disponibles en accès libre sur le site web de l'IRSN. Toutefois, la précision de ces données peut fortement varier dans l'espace ;
- les concentrations de radon qui ont éventuellement été mesurées dans les bâtiments environnants. Ces données sont néanmoins à considérer avec réserves. La mesure de faibles activités volumiques n'exclut en aucun cas la présence de radon dans les sous-sols ;

- le type de sol dans lequel se trouveront les fondations du bâtiment. Les terrains très perméables, tels que le gravier ou le sable sont propices à l'entrée de radon dans le bâtiment. De même, si des travaux de terrassements ont été réalisés à l'explosif, ils peuvent avoir fissuré le socle rocheux, ce qui favorise la circulation du radon vers le bâtiment. A l'inverse, en l'absence de faille, les terrains peu perméables, comme les argiles, réduisent le risque d'entrée du radon ;
- les exigences réglementaires auxquelles peut être soumis le bâtiment. Le cadre législatif français est rappelé dans la partie 2.7.

4.2.2 Existant

J'ai constaté que la description de la situation initiale était souvent omise par les maîtres d'ouvrage pressés de mettre en place des systèmes de remédiation. Pourtant, cette étape est beaucoup plus difficile et déterminante dans le cas de bâtiments existants dans lesquels de fortes concentrations de radon auraient été mises en évidence. Les principaux points à étudier sont :

- Le potentiel radon de la zone sur laquelle le bâtiment est implanté ;
- Le type de sol sur lequel se trouve le bâtiment ;
- La fiabilité des mesures. Sont-elles plausibles par rapport aux deux points précédemment évoqués ? Sont-elles significatives ? Des erreurs de manipulation peuvent parfois fausser les résultats. En cas de doute, il peut être judicieux de procéder à une contre-mesure avant d'entreprendre de lourds travaux d'atténuation ;
- La représentativité de la mesure en termes d'exposition au radon. Les concentrations peuvent fortement différer d'une pièce à une autre. Les concentrations de radon sont généralement plus importantes au sous-sol qu'au rez-de-chaussée, et il est très rare de trouver des concentrations accrues à l'étage. Le temps passé dans chacune des pièces peut aussi être très variable. Il est recommandé de procéder à plusieurs mesures couvrant les pièces les plus utilisées, et sur plusieurs niveaux, afin que l'exposition des usagers puisse être décrite avec précision ;
- Le type de matériaux, de procédé de construction, les rénovations passées etc. Il est nécessaire de rassembler toutes les informations disponibles sur les caractéristiques techniques du bâtiment pour que le diagnostic puisse être le plus précis possible ;
- Les futures rénovations dont le bâtiment pourrait faire l'objet. Des travaux d'atténuation peuvent être l'occasion de remédier à d'autres pathologies que pourrait présenter le bâtiment. D'une manière générale, il faut toujours intégrer les

autres problématiques du bâtiment à la remédiation radon. Réciproquement, le radon devrait toujours être intégré aux projets de rénovation ou de réhabilitation ;

- Le cadre réglementaire : y-a-t-il obligation de remédier au radon, et si oui, quelle est la valeur limite à atteindre ? Quels sont les délais pour intervenir ?

4.3 Conception du bâtiment

4.3.1 Neuf

En construction neuve, la séparation entre la cage d'escalier principale et l'escalier menant à la cave permet de limiter la diffusion de l'air chargé en radon provenant du sous-sol. Les passages de réseaux (plomberie, gaines électriques, conduites de gaz, chauffage, eau) à travers l'enveloppe du bâtiment sont des points d'entrée privilégiés pour le radon. Même lorsque les conduites sont coulées dans du béton ou étanchées par un mastic élastomère, elles représentent un risque car les matériaux peuvent se dégrader ou se fissurer avec le temps. Dans la mesure du possible, les passages de ces conduites à travers l'enveloppe devraient être réalisés au niveau des murs, et non du radier. Ainsi, il est possible de les ventiler depuis la surface, en les enfouissant dans du gravier, par exemple. Ceci ne dispense pas d'étanchéifier ces traversées.

Les échangeurs géothermiques air/sol (puits canadiens) doivent aussi être réalisés avec des matériaux étanches à l'air.

4.3.2 Existant

Contrairement à la prévention en construction neuve, où de faibles teneurs en radon peuvent être atteintes partout dans le bâtiment, l'agencement des locaux (lorsqu'il est modifiable) constitue un levier efficace de réduction de l'exposition au radon dans les bâtiments existants. L'idée générale est d'affecter les pièces les plus contaminées à des utilisations impliquant une faible présence humaine. Il peut s'agir d'inverser une chambre à coucher avec une chambre d'ami, où de convertir un bureau en débarras.

4.4 Etanchéité

Comme expliqué dans la partie 2.3, le radon s'infiltré presque exclusivement en étant transporté par l'air. L'étanchéité au radon rejoint donc la préoccupation de l'étanchéité à l'air, qui est une problématique bien connue des acteurs de la construction.

4.4.1 Neuf

Dans les bâtiments à construire, les systèmes de prévention incluent généralement la pose d'une membrane d'étanchéité sous la dalle, qui est une solution efficace contre les infiltrations de radon, mais aussi contre les désordres liés à l'humidité puisqu'étant étanche à l'eau liquide et à l'air, elle agit comme un freine-vapeur.

4.4.2 Existant

Dans les bâtiments existants, une des premières étapes suivant les mesures consiste à localiser les entrées de radon. Celles-ci sont décrites dans la partie 3.3. Le traitement de ces défauts d'étanchéité peut être réalisé de différentes manières, qui peuvent être combinées pour obtenir un meilleur résultat.

Il est possible de poser une membrane d'étanchéité, mais cette solution est beaucoup plus compliquée à mettre en œuvre que dans une construction neuve. Dans le cas d'une remédiation, elle doit en effet être posée par l'intérieur, ce qui implique un nombre nettement plus élevé de raccordements : passages de gaines, cloisons, escaliers etc. Ces raccords doivent être réalisés avec une grande précaution. On constate trop souvent l'utilisation d'adhésifs inadaptés à l'étanchéité à l'air, une attention particulière doit donc être portée au choix de l'adhésif. On veillera à ce que les bandes élastiques de raccordement ne soient en aucun cas soumises à des efforts de traction. Enfin, la pose d'une fine couche d'isolant sur la membrane évite que celle-ci soit percée par des éléments de fixation (clous, punaises). Les trous, fissures et passages de gaines peuvent être obstrués par un mastic adhésif, y compris lorsque ces éléments sont soumis à de légères déformations thermiques.

S'il est impossible de réduire suffisamment les concentrations de radon dans la cave, il faut étanchéfier son interface avec le reste du bâtiment, qui est généralement matérialisée par une porte. L'isolation phonique d'une porte dépend principalement de l'isolation des espaces entre la porte et son cadre, c'est un relativement bon indicateur de son étanchéité à l'air. Les portes phoniques sont donc des solutions efficaces. En revanche, les portes coupe-feu ne sont pas particulièrement étanches car les joints d'étanchéité sont peu résistants à la chaleur, et l'étanchéité à l'air n'est pas un critère déterminant pour la lutte contre l'incendie. Il est recommandé d'ajouter un ferme-porte car cette solution n'est efficace que lorsque la porte est fermée. Toutes les ouvertures vers le sol (trappes, couvercles...) doivent aussi être étanchéifiées à l'aide de joints élastiques. A noter que les caractéristiques de ceux-ci se détériorent avec le temps, il faut donc les vérifier et si besoin les remplacer régulièrement.

Il est très rare que l'étanchéification des infiltrations de radon suffise à pallier des concentrations accrues, mais elle reste cependant une étape indispensable car elle améliore l'efficacité des autres mesures. Le succès d'un projet de remédiation est déterminé par l'identification de toutes les voies d'infiltrations du radon. L'inefficacité de certains travaux, parfois longs et onéreux, s'explique souvent par l'oubli d'un défaut d'étanchéité majeur.

4.5 Ventilation

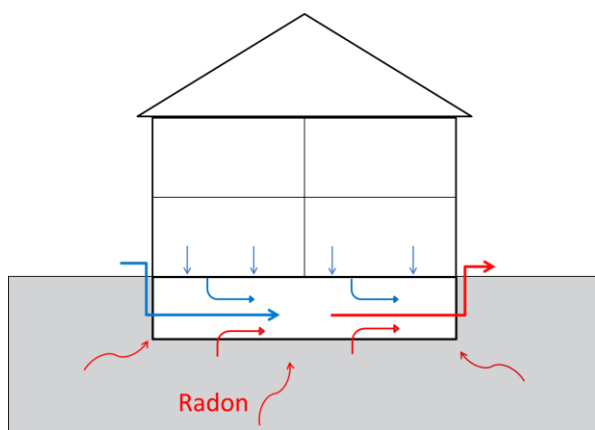
Comme détaillé dans la partie 2.4, l'entrée de radon dans les bâtiments résulte d'une différence de pression entre le sol et le bâtiment. Il y a différentes méthodes pour réduire, voire inverser ce gradient de pression :

- Mise en dépression de l'interface entre le sol et le bâtiment ;
- Mise en dépression du sol par rapport au bâtiment ;
- Mise en surpression du bâtiment par rapport au sol ;
- Suppression des causes de dépression du bâtiment.

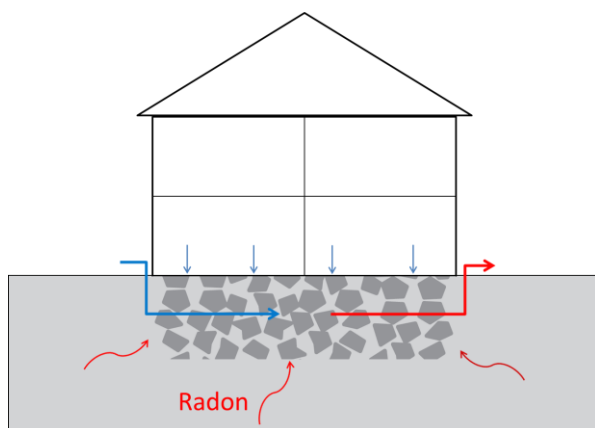
Pour compléter ces mesures, il faut limiter l'accumulation du radon qui parviendrait quand même à s'infiltrer en ventilant et aérant le bâtiment.

4.5.1 Mise en dépression de l'interface entre le sol et le bâtiment

Cette méthode repose sur deux modes de fonctionnement distincts. Premièrement, la dépression créée aspire et extrait l'air du sol chargé en radon et celui du bâtiment. Deuxièmement, l'aération de l'interface sol/bâti réduit la concentration en radon de l'air par dilution. Dans de nombreux bâtiments neufs, la mise en dépression de l'interface entre le sol et le bâtiment est une bonne pratique mise en œuvre pour éviter les problèmes d'humidité, et dans le cas de vide sanitaire de termites et de déplacements de terrain.



1. Vide sanitaire ventilé ©RBBB



2. Réseau de drain sous dalle ©RBBB

La construction de bâtiments neufs sur vide sanitaire ventilé est une méthode fréquente et très efficace de protection contre le radon. L'air chargé de radon du vide sanitaire est constamment remplacé par de l'air neuf de manière à ce que son activité volumique reste faible. En rénovation, on pourra augmenter la taille des ouvertures du vide sanitaire, ou le ventiler mécaniquement.

Une autre méthode simple et peu onéreuse consiste à installer sous la dalle un réseau de drains (tubes de plastique perforés) contenant une ouverture vers l'extérieur de part et d'autre du bâtiment. Contrairement à la ventilation du vide sanitaire, l'air évacué est remplacé par de l'air provenant du sol, également chargé en radon. Il est donc

nécessaire que le réseau de drain couvre toute la surface du bâtiment, de manière à ce que toute l'interface sol/bâti soit mise en dépression. Cette solution ne fonctionne que si le terrain est relativement perméable. Plus le terrain est compact, plus les mailles du réseau doivent être fines, ou plus la puissance d'extraction doit être élevée si le système est mécanisé. En général, un hérisson (lit de gravier) est posé sous la dalle. En plus d'être très perméable, ce matériau ne colmatera pas les ouvertures des drains. Bien que plus compliquée, la mise en œuvre de cette solution sur des murs enterrés est aussi possible. Cette solution est aussi applicable en rénovation. Pour éviter d'avoir à démonter la dalle et les cloisons, des tranchées peuvent être creusées dans le plancher bas en suivant le tracé du réseau de drain. Cette méthode simplifie les travaux, mais requiert une grande perméabilité du sol pour être efficace, car elle rend impossible la pose de gravier sous toute la surface du bâtiment.

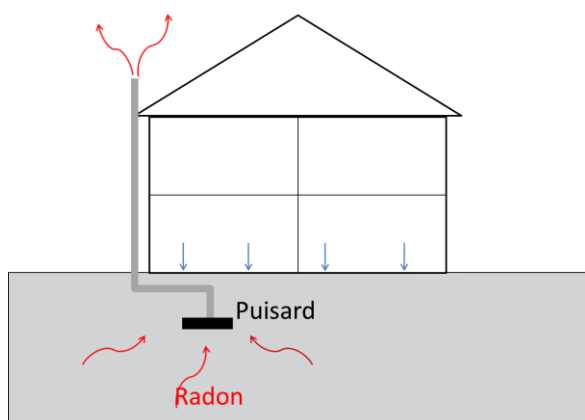


Installation d'un hérisson ventilé en rénovation ©Brélivet

Ces deux systèmes de mise en dépression de l'interface sol/bâti peuvent être passifs (ventilation naturelle) ou actifs (ventilation mécanisée). Il est conseillé de privilégier la ventilation naturelle dans un premier temps, et d'avoir recours à un système actif si l'efficacité est insuffisante. Au-delà de l'impact environnemental d'un ventilateur qui fonctionne en continu, ce type d'équipement requiert une vérification, un entretien et un remplacement régulier. J'ai constaté que les occupants s'apercevaient souvent de l'arrêt du système de ventilation avec beaucoup de retard. L'installation d'un voyant lumineux témoignant le bon fonctionnement de l'extracteur d'air pourrait permettre de réduire ce délai. Dans certains cas, le ventilateur peut aussi occasionner une nuisance sonore pour les utilisateurs.

La conception d'un système passif doit tenir compte des vents dominants pour le positionnement des entrées et sorties d'air. Il doit aussi être adapté à l'éventuelle pose d'un ventilateur.

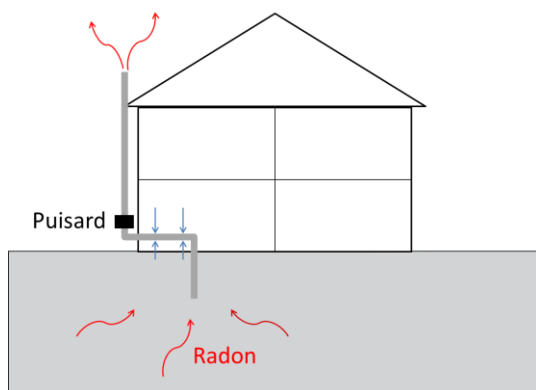
4.5.2 Mise en dépression du sol sous le bâtiment



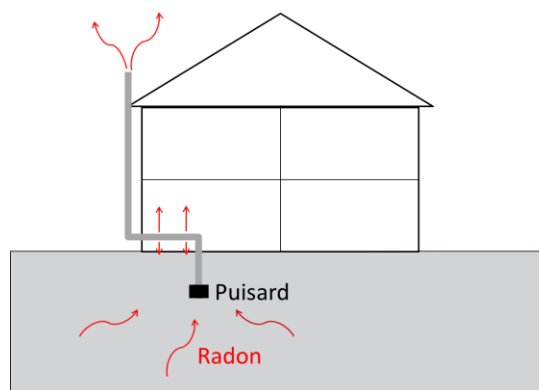
3. Bonne pratique ©RBBD

Le sol peut aussi être mis en dépression grâce à un puisard. Il s'agit d'un puits équipé d'un drain et d'un extracteur qui aspire l'air du sol. Pour les grands bâtiments, plusieurs puits sont parfois nécessaires. Plus le terrain est compact, plus les puits doivent être nombreux et rapprochés, et plus la puissance d'extraction doit être grande.

Bien que constaté dans la majeure partie des cas, le passage du tuyau d'extraction à l'intérieur du bâti est à éviter, de manière à empêcher la réintroduction d'air chargé en radon (schéma 3. ci-dessus). Cependant, s'il est nécessaire qu'au moins une partie de la conduite passe à l'intérieur de l'enveloppe, il faut s'assurer que la conduite soit parfaitement étanche à l'air. Le puisard doit aussi être situé en aval du tronçon passant à l'intérieur du bâti (schéma 4. ci-dessous), afin que cette partie de tuyau soit en dépression. Ainsi, l'extracteur aura tendance à aspirer l'air de la maison par les défauts d'étanchéité de la conduite, plutôt que d'y souffler de l'air pollué en créant une surpression (schéma 5. ci-dessous).



4. Bonne pratique ©RBBD



5. Mauvaise pratique ©RBBD

Contrairement aux solutions de mise en dépression de l'interface sol/bâti, l'air extrait par le puisard provient uniquement du sol et son activité volumique peut être très élevée. Pour l'empêcher d'être directement respiré ou réintroduit dans le bâtiment, il doit être évacué à plus de trois mètres de hauteur. On veillera aussi à éloigner l'évacuation de cet air des entrées d'air du système de ventilation du bâtiment.



Mauvaise pratique : l'extracteur aurait dû être placé à l'extérieur de la maison
©RBBD



Bonne pratique : cheminée d'évacuation correctement installée
©RBBD

Dans le cas de sols très perméables, un puisard peut mettre le sous-sol d'un bâtiment en dépression même s'il est situé à l'extérieur de ce bâtiment. Cette solution est alors très avantageuse puisqu'elle ne nécessite pas d'intervention directement sur le bâtiment.

4.5.3 Mise en surpression du bâtiment par rapport au sol

Lorsque le bâtiment dispose d'une VMC double-flux (conduites d'insufflation et d'extraction séparées), celle-ci peut être réglée pour que le débit de pulsion soit légèrement supérieur au débit d'extraction. Une surpression est ainsi créée dans le bâtiment par rapport au sol, ce qui empêche les infiltrations de radon. Cette méthode n'est efficace que si l'enveloppe est étanche à l'air.

4.5.4 Suppression des causes de dépression du bâtiment

Dans les bâtiments existants, il arrive que la VMC simple flux (seule l'extraction est mécanisée) ne soit pas couplée d'arrivées d'air, créant une dépression de plusieurs dizaines de pascals à l'intérieur du bâtiment. L'installation d'entrées d'air est alors une des premières mesures à prendre quand d'importantes concentrations de radon sont détectées, et dans tous les cas pour assurer un renouvellement d'air hygiénique.

Pour réduire la dépression créée par les flux ascendants des gaines techniques, conduits de cheminée et cages d'escalier et d'ascenseur partant du sous-sol et s'étendant sur plusieurs étage, ces éléments peuvent être étanchéifiés. Il est aussi possible de créer des ouvertures au niveau de la cave pour y réguler la pression.

Les poêles, cheminées ou autres appareils de combustion doivent disposer d'un apport direct d'air frais pour les empêcher de pomper l'air intérieur du bâtiment.

4.5.5 Ventilation et aération des locaux

Dans les bâtiments existants, lorsque l'infiltration de radon ne peut pas être complètement éliminée, il est nécessaire de diluer le radon en augmentant le renouvellement de l'air intérieur. L'ouverture des fenêtres est efficace, mais que sur une durée limitée. On considère que la concentration de radon est revenue à son état initial environ une heure après la fermeture des fenêtres. Cette solution est recommandée comme mesure d'urgence, mais reste provisoire. Dans certains cas très spécifiques, un courant d'air traversant à l'étage peut même créer une légère dépression qui annule les bienfaits du renouvellement d'air.

L'installation d'un système de ventilation efficace est quant à elle une solution durable qui atténuera la concentration de radon, ainsi que des autres polluants de l'air intérieur.



Les habitudes d'aération des particuliers changent radicalement lorsque de fortes concentrations de radon sont détectées. ©RBBD

4.6 Mises en œuvre des systèmes de protection contre le radon

A partir de l'observation de la mise en œuvre des méthodes précédemment décrites, de leur coût et de leur efficacité ; j'ai établi une classification des systèmes de protection, couplé d'un diagramme d'aide à la décision qui décrit la succession d'étapes à suivre pour choisir la combinaison de systèmes de lutte contre le radon adaptée. Ces préconisations ne sont pas à appliquer à la lettre, puisqu'elles découlent d'un faible échantillon d'opérations dont la représentabilité est discutable, mais elles fournissent néanmoins des éléments de comparaison et de priorisation des méthodes de protection contre le radon.

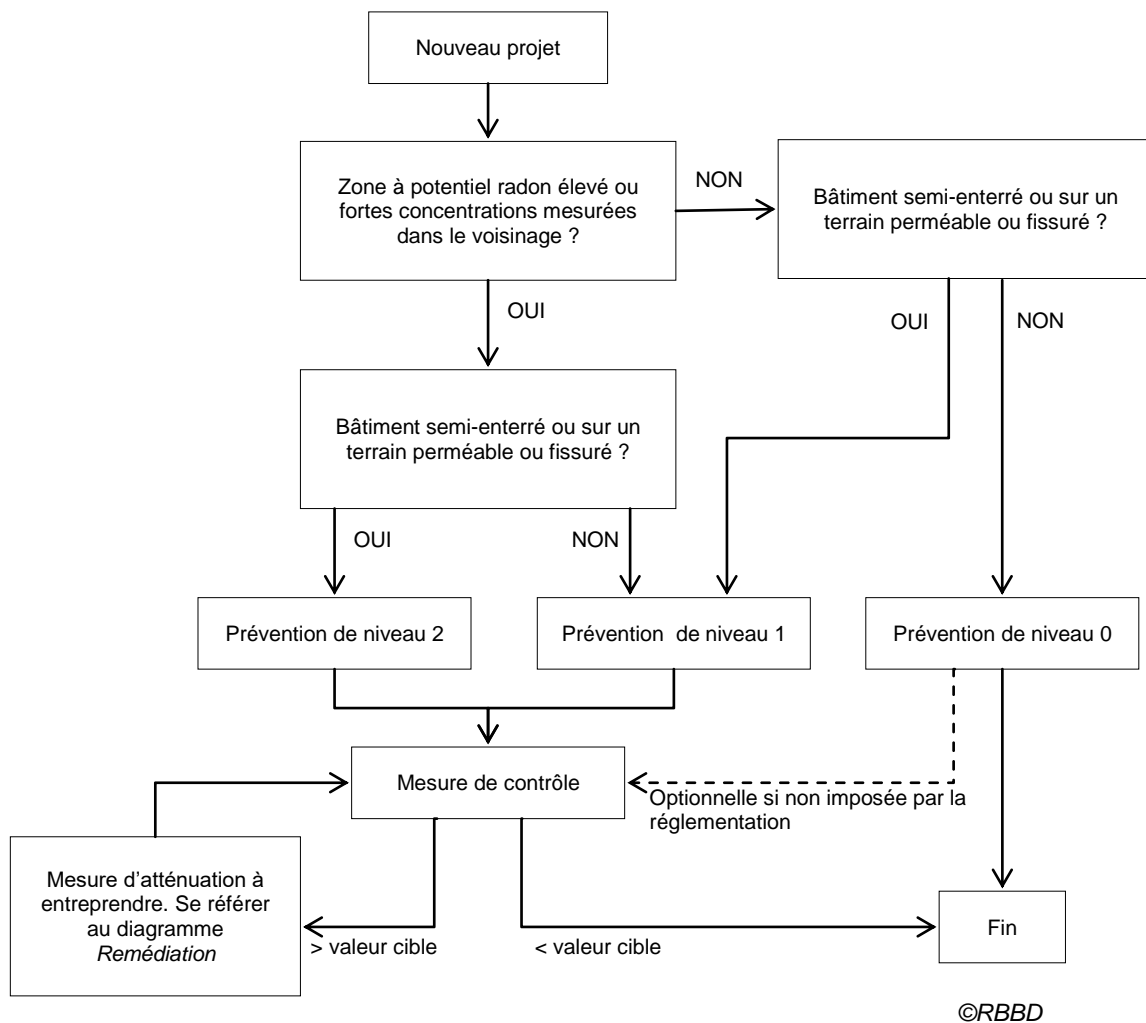
4.6.1 Neuf

En construction neuve, il faut proposer différentes mesures aux maîtres d'ouvrage pour qu'ils puissent choisir la ou les solutions à adopter en fonction des objectifs visés et des moyens qu'ils souhaitent allouer à la lutte contre le radon.

Le tableau suivant propose une classification des méthodes de prévention du risque radon. Le niveau 0 correspond aux bonnes pratiques qui devraient être mises en œuvre dans toutes les constructions neuves, qu'il y ait ou non présence de radon. Les niveaux 1 et 2 représentent respectivement les mesures de prévention simples et avancées.

	Conception	Etanchéité	Ventilation
Niveau 0		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Etanchéité à l'air du bâtiment, y compris des parties enterrées ➤ Etanchéité à l'air des échangeurs géothermiques ➤ Etanchéité à l'air des passages de réseaux 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Système de VMC efficace
Niveau 1	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conception des cheminées, gaines techniques, cages d'ascenseur et d'escalier de manière à ce qu'ils ne créent pas de dépression ➤ Proscription des passages ouverts entre le sous-sol et le RDC, et entre le sous-sol et la cage d'escalier 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pose d'une membrane d'étanchéité à l'air sous le radier 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ventilation de l'interface sol/bâti, avec possibilité de mécaniser l'aspiration si besoin
Niveau 2	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agencement des pièces favorisant les chambres à coucher à l'étage ➤ Accès au sous-sol par l'extérieur uniquement 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mise en dépression du sol à l'aide d'un puisard

Le diagramme ci-après est un outil d'aide à la décision qui permet de sélectionner des mesures de prévention adaptées à chaque nouveau projet.



4.6.2 Existant

La remédiation radon est préconisée lorsque des mesures ont mis en évidence de fortes concentrations de radon, ou en l'absence de mesure si des travaux de rénovations sont prévus et que le bâtiment semble vulnérable au risque radon. Quand les concentrations sont très élevées, la temporalité de l'atténuation est importante car il est contraignant d'évacuer un établissement recevant du public, et pour les bâtiments dont l'évacuation est impossible, les utilisateurs restent exposés au radon jusqu'à ce que des travaux soient réalisés. De plus, compte-tenu du coût et de la complexité de la mise en œuvre de certaines méthodes d'assainissement, il est judicieux d'adopter des mesures d'assainissement progressives, de complexité, coût et efficacité croissants. La mesure de l'activité volumique entre chaque série de travaux permet de quantifier leur effet et de décider s'il y a lieu d'entreprendre une nouvelle série de travaux.

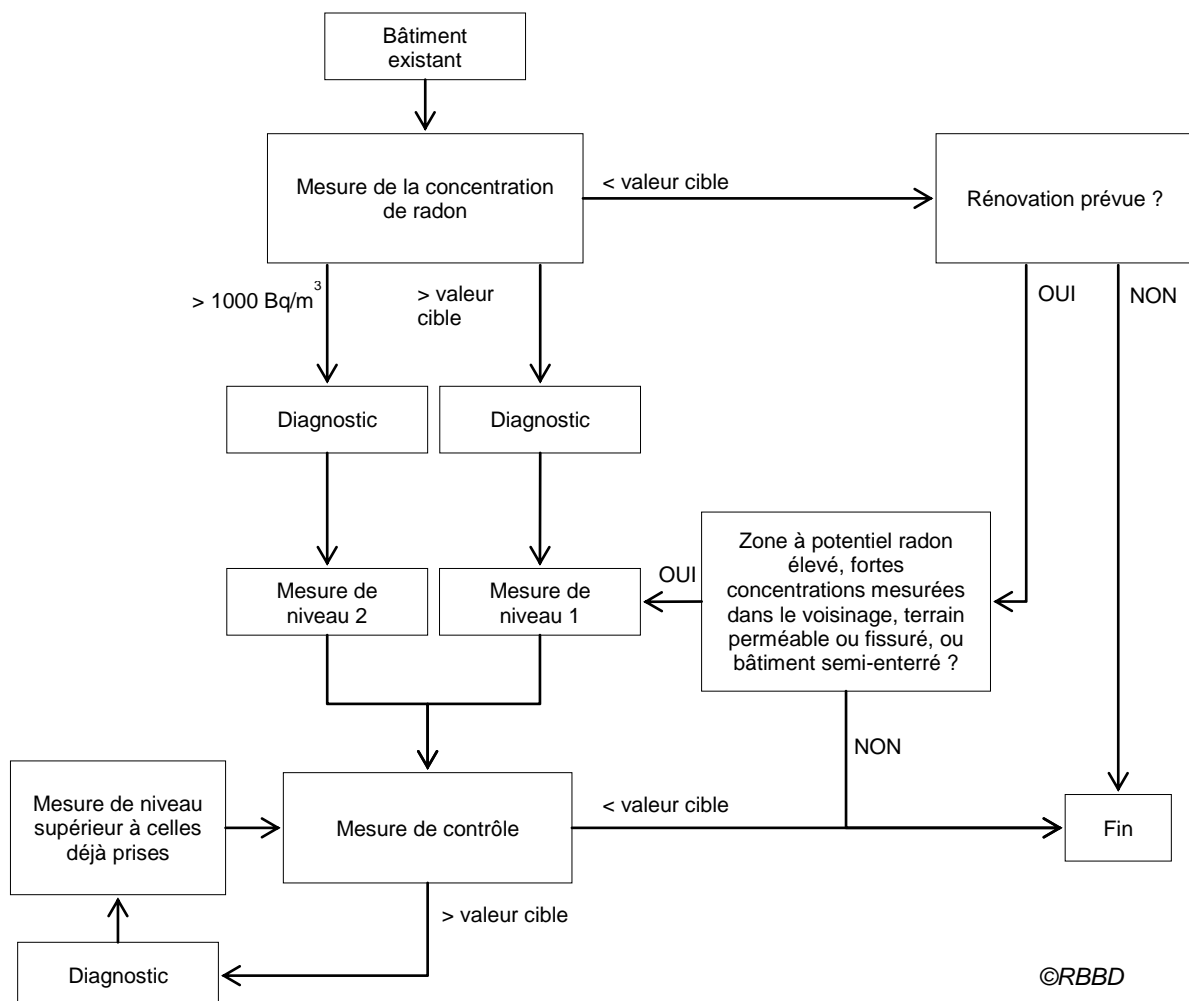
Le tableau ci-dessous présente une classification des solutions de remédiation. Le niveau 1 correspond aux méthodes simples, rapides et peu coûteuses ; elles peuvent être des mesures provisoires d'urgence destinées à abaisser les concentrations en attendant la mise en place de solutions plus complexes. Les niveaux 1 et 2 correspondent respectivement à des mesures d'atténuation simples et avancées.

	Conception	Etanchéité	Ventilation
Niveau 1	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Réaffectation des locaux : déplacement des chambres à coucher à l'étage 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Traitement des défauts d'étanchéité les plus simples (trous, fissures, passages de réseaux, trappes etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aération naturelle fréquente* ➤ Création ou agrandissement des entrées d'air** ➤ Ventilation naturelle de la cave ➤ Si besoin, installation d'apports d'air frais pour les appareils à combustions (poêle, cuisinière, cheminée etc.)
Niveau 2	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Séparation du sous-sol et du RDC, et du sous-sol et de la cage d'escalier 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pose d'une membrane d'étanchéité sur toutes les parties enterrées 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Installation d'un système de VMC efficace**
Niveau 3	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Accès à la cave par l'extérieur uniquement 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pose d'une membrane d'étanchéité sous la dalle 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mise en dépression du sol ➤ Mise en dépression de l'interface sol/bâti

* mesure provisoire

** uniquement dans le cas d'un système de ventilation inexistant ou inadapté

Le diagramme ci-dessous est un outil d'aide à la décision qui permet de choisir les mesures d'atténuation à adopter en fonction de la situation. Rappelons tout de même que l'étape de diagnostic, explicitée sur le schéma, est primordiale dans le choix de la méthode de remédiation, et déterminante pour son efficacité.



4.7 Efficacité des mesures de protection contre le radon

Comme expliqué dans la partie 3, la concentration de radon de l'air intérieur d'un bâtiment dépend de beaucoup de paramètres, et il est impossible de l'estimer *a priori*. En remédiation, j'ai visité des bâtiments où mise en place de solutions contre le radon n'a pas eu d'influence sur les concentrations mesurées, ou a même aggravé la situation. Seules les mesures de concentration effectuées à la fin des travaux permettent d'évaluer l'efficacité des mesures de protection contre le radon. Il est préférable d'attendre l'emménagement des usagers pour effectuer les mesures en situation d'occupation normale, pendant la période de chauffe. Ces mesures décrivent l'efficacité d'une combinaison de solutions plutôt que d'une solution unique.

Le faible nombre de bâtiments ayant fait l'objet d'assainissement, et la singularité de chacun de ces cas rendent difficile l'analyse statistique de l'efficacité. Cependant, le CCNSE (Centre de Collaboration National en Santé Environnementale – Canada) a rassemblé les cas d'atténuation disponibles dans la littérature, et a comparé leur efficacité relative (en pourcentage de réduction des concentrations de radon). Cette étude bibliographique conclut que les stratégies les plus efficaces sont celles qui consistent à ventiler ou dépressuriser le sol ou l'interface sol/bâti. L'efficacité de l'amélioration des systèmes de ventilation de l'air intérieur (mécanique ou naturelle) est plus modérée, et le simple colmatage des points d'entrée du radon est la méthode la moins efficace (CCNSE, 2008). Même si ces résultats doivent être interprétés avec des réserves, notamment car la diminution relative de concentration en radon d'une même mesure sera plus importante lorsque l'activité volumique initiale est élevée (les premiers becquerels par mètres cube sont plus simples à éliminer que les derniers) ; cette étude confirme l'insuffisance de la seule étanchéification des voies d'entrée du radon.

En construction neuve, l'absence de mesure de référence rend impossible l'évaluation quantitative de l'efficacité des méthodes de lutte contre le radon.

4.8 Antagonismes et synergies

Les effets de la lutte contre le radon sur les autres aspects du bâtiment sont généralement positifs.

Le renouvellement de l'air intérieur empêche l'accumulation de radon, mais aussi des autres polluants de l'air intérieur : composés organiques volatils, particules fines, biocontaminants, etc. Le principe d'étanchéité à l'air de l'enveloppe concorde avec les objectifs de performances thermiques, mais est aussi favorable au confort de l'utilisateur par l'absence de courants d'air, et à la prévention des désordres liés à l'humidité.

Les défauts de mise en œuvre des méthodes de lutte contre le radon impliquant des extracteurs d'air mécanisés peuvent être à l'origine de déperditions thermiques ou de légères nuisances sonores. Mais ces systèmes ont un effet globalement positif lorsqu'ils

sont correctement installés. En plus de prévenir les infiltrations de radon, ils peuvent prévenir les dégâts liés aux remontées capillaires.

Les vides sanitaires empêchent aussi les invasions de termites et réduisent la vulnérabilité du bâtiment aux mouvements de terrain.

Les joints d'étanchéité élastiques sont très inflammables, mais les quantités sont trop réduites pour qu'ils constituent un réel danger.

En période hivernale, l'aération intensive comme solution de remédiation d'urgence conduit à un grand inconfort thermique et à d'importantes déperditions énergétiques.

5 Etat des lieux de la gestion du radon

De même que pour la description des méthodes de gestion du risque radon, les analyses et résultats ci-après sont issues d'un travail d'observation et de rencontre d'acteurs dont la représentativité, et la généralisation qui s'ensuit, pourraient être affinées.

5.1 Contexte

5.1.1 Sensibilisation du grand public

En abordant la question avec les acteurs du bâtiment, de la santé, et avec mon entourage, la négligence de la problématique du radon par le grand public s'impose rapidement comme une évidence. Plusieurs raisons sont à l'origine de ce désintérêt.

Tout d'abord, le risque sanitaire que représente le radon est méconnu des maîtres d'ouvrages et propriétaires de logements. Certaines actions locales, telle que la campagne de sensibilisation réalisée sur le territoire de la CCA (Concarneau Cornouaille Agglomération), permettent d'informer les particuliers sur le radon, son entrée dans les bâtiments et ses risques pour la santé. Cette opération, initiée en 2012 par la CLCV (consommation logement cadre de vie, une association de consommateurs et d'usagers) et cofinancée par l'INCa (institut national du cancer) et la DGS (direction générale de la santé du ministère de la santé), proposait la fourniture gratuite de dosimètres aux habitants de l'agglomération. Elle reposait sur une démarche volontaire, c'est-à-dire que les participants devaient se déplacer pour se procurer le kit de mesure. Ceci a permis d'augmenter le taux de renvoi des dosimètres après mesure. Au total, 4 488 appareils de mesure ont été distribués, et environ 80% d'entre eux ont été retournés pour analyse. Un questionnaire qualitatif de description des bâtiments était joint aux dosimètres. La moyenne des concentrations mesurées s'élève à 240 Bq/m³, ce qui est bien supérieur aux 144 Bq/m³ de moyenne mesurés pour le Finistère lors de l'élaboration de l'Atlas 2000 par l'IRSN (à noter que seulement 250 mesures avaient alors été faites sur tout le département). Des visites de terrain ont permis d'élaborer des « diagnostics » pour les habitations les plus contaminées, en décrivant les défauts d'étanchéité et de ventilation responsables de l'accumulation de radon à l'intérieur du bâti et les travaux à effectuer pour y remédier. Fort de la réussite de cette campagne, la délégation territoriale du Finistère de l'ARS (agence régionale de santé) a étendu l'opération à tout le département pendant l'hiver 2014/2015, et environ 2 000 nouveaux dosimètres ont été distribués. La grande majorité des participants à ces campagnes de mesures n'avait aucune connaissance préalable du risque radon. Ces opérations ont donc été l'occasion de sensibiliser le grand public à la problématique du radon dans les logements, mais elles

restent cependant des initiatives très locales qui doivent être étendues aux autres zones à risque.

En dehors des zones couvertes par ces campagnes, lorsque des particuliers déjà sensibilisés au radon mettent en place des mesures de gestion de ce risque dans leur logement, cela s'inscrit généralement dans une recherche plus globale de qualité de vie, d'habitat sain, mais aussi de performance thermique et environnementale. Les autres polluants de l'air intérieur y sont traités au même titre que le radon par un système de ventilation adapté et une rigueur dans l'étanchéité de l'enveloppe. La gestion du risque radon n'est souvent qu'une des raisons justifiant la mise en place d'un système de prévention efficace. La pose d'un système de ventilation du héraisson sous la dalle, par exemple, peut être principalement motivée par la prévention des remontées d'humidité, mais elle assure aussi une protection efficace contre les infiltrations de radon. De même, l'enveloppe est généralement très étanche car cela contribue à la performance énergétique du bâtiment. Même quand des systèmes sont installés exclusivement pour lutter contre le radon, ils sont rarement couplés de mesures de l'activité volumique de l'air intérieur. Ceci s'explique car la mise en place de ces systèmes est peu chère quand elle est intégrée en amont des projets, qu'il s'agisse de constructions neuves ou de rénovations énergétiques. Les propriétaires préfèrent installer un système de prévention dont ils n'auront peut-être pas besoin, plutôt que d'avoir recours à des solutions de remédiation par la suite, lesquelles sont beaucoup plus onéreuses. Les logements où maîtres d'ouvrage mettent en œuvre ces solutions ne sont donc pas particulièrement à risque : premièrement car le radon y est traité même si l'habitation ne se trouve pas dans une zone géologique à risque, et deuxièmement parce que ce type de bâtiment, conçu avec une approche globale, dispose de systèmes de ventilation et d'étanchéité qui fonctionnent déjà bien. Ces propriétaires, bien que sensibilisés au risque radon, font cependant part d'une grande difficulté à trouver des artisans locaux compétents en la matière, et des informations quant aux techniques de prévention et d'atténuation.

La deuxième cause de négligence du risque radon par le grand public est le désintéressement. Parmi les milliers de logements dont l'activité volumique de l'air intérieur a été mesurée lors de la campagne de mesure de la CLCV, une quinzaine seulement a entrepris des travaux. Un deuxième exemple de ce désintéressement m'a été confié par Mme Claudine NOYON, de la délégation territoriale du Finistère de l'ARS. En 2007, un journaliste du Télégramme a demandé à la DDASS (direction départementale des affaires sanitaires et sociales, devenue ARS depuis lors), les mesures réglementaires des établissements recevant du public du département. Ces données sont censées être publiques, elles lui ont donc été communiquées. Le journaliste a publié, en première page des éditions locales datées du 24 Octobre 2007, les mesures

de tous les établissements de la zone. Un petit paragraphe rappelait brièvement ce qu'était le radon, et quels en étaient les risques pour la santé. De nombreuses mesures dépassaient largement la limite réglementaire, mais personne n'a pourtant contacté l'ARS à ce propos.

Cette absence de réaction est souvent justifiée par un manque de connaissance du radon par le grand public : « *s'il y avait un risque, cela se saurait* ». Le manque d'information quant au risque radon est un cercle vicieux : « *si personne n'en parle, ça ne doit pas être très important* ». Même quand l'information sur le risque est communiquée, elle n'est pas systématiquement prise au sérieux.

D'autres réactions fréquentes concernent l'ancienneté de ce risque auquel on a toujours été confronté : « *Ce n'est pas grave, c'est de la radioactivité naturelle. Nos parents, grands-parents et arrière-grands-parents y étaient aussi exposés sans que cela ne pose de problème* ». Ce type d'affirmation est évidemment fausse à plusieurs égards. Tout d'abord, l'origine naturelle de la radioactivité ne la rend pas moins dangereuse. Deuxièmement, le risque est beaucoup plus important aujourd'hui qu'il ne l'était par le passé. Nous passons de plus en plus de temps à l'intérieur des bâtiments, ce qui augmente considérablement notre exposition au radon. De plus, tel que mentionné précédemment, la recherche de performance thermique conduit à l'étanchéification des enveloppes des bâtiments (avec notamment le remplacement des menuiseries extérieures) qui, si elle n'est pas couplée à l'installation d'un système de ventilation mécanique adapté, favorise l'accumulation du radon dans l'air intérieur.

En complément des raisons déjà évoquées, ce désintéressement est expliqué par la sous-estimation de la contribution du radon aux cas de cancer du poumon. Les effets du radon sont souvent négligés devant ceux du tabagisme, dénoncés dans des campagnes de prévention depuis plus d'un siècle (CNCT). Mais le grand public est aussi plus sensibilisé au tabagisme passif et aux problèmes de qualité de l'air extérieur (en particulier la pollution urbaine), dont les risques de cancer du poumon sont respectivement comparables (IPSN, 1998) et inférieurs (Batiactu, 2015) à celui du radon. Ces facteurs de risques sont plus médiatisés, mais aussi plus « *palpables* » : on peut voir et sentir la pollution urbaine ou la fumée de tabac, alors que le radon est incolore et inodore, et que la radioactivité reste quelque chose de flou pour une grande majorité, surtout quand elle est d'origine naturelle.

Le radon contribue au développement d'un cancer du poumon et peut en être la cause principale, mais il n'est en aucun cas le seul responsable. L'impact réel du radon sur la santé publique est donc difficile à percevoir pour le grand public, qui relie les cas de cancer du poumon de son entourage aux autres causes précédemment évoquées. Le radon auquel étaient exposés nos parents, grands-parents et arrière-grands-parents était

donc probablement responsable de cas de cancer, même si la relation n'était pas directement établie.

Enfin, la troisième cause de négligence du risque radon est la peur. Certaines personnes refusent de faire des mesures par peur du résultat : « *tant qu'il n'y a pas de mesure, il n'y a pas de problème* ». De plus, le logement relève de la sphère privée, et les habitants peuvent estimer que la venue d'un diagnostiqueur radon dans leur logement constitue une atteinte à leur intimité. Lorsque des mesures sont réalisées, les propriétaires concernés se posent beaucoup de questions quant à la légalité et la moralité de la revente d'un logement exposé au risque radon. D'autres sont préoccupés par la dépréciation de leur bien immobilier qui pourrait être occasionnée par la mesure de fortes concentrations de radon dans l'air intérieur. Il peut s'agir de communes qui souhaitent préserver l'attractivité de leur parc immobilier, ou de particuliers soucieux de revendre leur logement. C'est par exemple le cas du Mont Frugy. Cette colline emblématique qui domine la ville de Quimper abrite un quartier aisé, mais rendu particulièrement vulnérable au risque radon par sa localisation et l'ancienneté de ses bâtiments. Cette vulnérabilité a été confirmée par la mesure d'activités volumiques très élevées dans certains bâtiments.

5.1.2 Prise en compte de la problématique par les professionnels du bâtiment

Comme le grand public, les acteurs de la construction semblent peu sensibilisés au radon, aux risques qu'il représente et à leurs méthodes de gestion. De rares stages d'introduction aux techniques de prévention et d'atténuation sont dispensés par des organismes privés, mais la majorité des formations du bâtiment ne traitent pas du radon.

Il convient de rappeler que si les règles de l'art décrites dans les DTU (documents techniques unifiés, documents dont le non-respect peut entraîner l'exclusion des garanties d'assurance) sont parfaitement respectées, l'étanchéité à l'air et à l'eau doit être assurée et il ne devrait théoriquement pas y avoir de problème de radon. Mais comme bien d'autres aspects du bâtiment, la bonne mise en œuvre d'un système de prévention ou de remédiation du risque radon dépend de la coordination des acteurs. Une membrane d'étanchéité à l'air, par exemple, peut être correctement posée par le plaquiste avant d'être percée lors de l'installation des réseaux. De même, l'installation d'une VMC est recommandée pour lutter contre le radon, mais encore beaucoup d'habitations ne disposent pas d'entrées d'air dans les menuiseries. La ventilation met la maison en dépression, et aggrave donc l'infiltration de radon. Le résultat est inverse à l'objectif escompté, même si la VMC a été bien posée.

De nombreux corps de métier sont amenés à travailler sur le radon : maçons, bureaux d'études fluides, plombiers-chauffagistes, etc. C'est cette interdisciplinarité de la problématique qui la rend si difficile à traiter, car elle suscite peu d'intérêt chez les professionnels dont ce n'est pas le domaine premier. Comme il est très difficile de déterminer une cause unique expliquant de fortes concentrations en radon, on ne peut pas invoquer la responsabilité des artisans (ou de l'occupant en cas de mauvais entretien du matériel), qui se sentent donc peu concernés. A l'inverse, la transversalité de la problématique implique aussi l'impossibilité pour un artisan de garantir une concentration maximale de radon, puisque cela dépend largement du travail des autres intervenants du chantier et du comportement des futurs usagers. Seules quelques entreprises spécialisées dans la protection contre le radon font exception et garantissent le non-dépassement de valeurs guides (généralement 100 Bq/m³, comme recommandé par l'OMS). Pour pouvoir respecter cet engagement, ces entreprises doivent intervenir dès la conception du projet et imposer des contraintes aux autres acteurs du chantier. En plus de la pose de leur système de prévention ou de remédiation, elles suivent l'intégralité des travaux pour s'assurer de la bonne mise en œuvre des indications.

De telles entreprises sont cependant rares, car à ce jour il n'existe pas de réel marché économique de la gestion du radon. Ceci résulte du manque de réglementation concernant la livraison de bâtiments d'habitation, de la non-applicabilité des lois aux départements non prioritaires, et du manque de demande du grand public. Le cadre réglementaire n'impose pas de mesures de l'activité volumique des logements, lesquelles pourraient nécessiter un traitement spécifique du radon ; et les particuliers ne s'intéressent pas à la vulnérabilité de leur habitation lors des transactions immobilières. Les acteurs de la construction voient la gestion du radon comme la possibilité d'une contrainte supplémentaire, qui viendrait s'ajouter aux nombreuses normes et réglementations qui régissent déjà la filière. Ils se désintéressent du radon car c'est une problématique sanitaire qui ne génère ni inconfort, ni risque pour la durabilité de l'ouvrage. En plus de ne pas être explicitement demandée par la maîtrise d'ouvrage, les utilisateurs ne constateront pas la non-prise en compte du radon dans un bâtiment.

Pourtant, l'implication des professionnels du bâtiment est primordiale puisqu'elle permettrait de s'assurer que le radon soit pris en compte dès la construction (ou la rénovation thermique) plutôt que d'attendre que le problème se manifeste pour y remédier. Il est toujours plus facile et moins cher de mettre en place un système de protection dès la conception du bâtiment. En construction neuve, c'est indispensable car il est impossible d'estimer les concentrations de radon à l'avance. Cela évite de devoir intervenir par la suite en effectuant des travaux lourds, tel que la casse et le remplacement de la dalle. Même dans le cas de la rénovation d'un bâtiment dont les

mesures n'indiqueraient pas d'infiltration de radon, il peut être judicieux d'installer un système de prévention. En effet, sur le moyen à long terme il est possible (voire probable) que la dalle ou le socle rocheux se fissure, ou que d'autres rénovations viennent perturber l'équilibre du bâtiment. Dans une logique de durabilité, toute la vie du bâtiment doit être prise en compte lors de sa construction, puis à chacune des modifications qui lui sont apportées.

5.2 Recommandations

5.2.1 Sensibilisation du grand public

Pour qu'un message de sensibilisation et de prévention soit efficace, il est primordial d'éviter tout discours alarmiste qui susciterait la peur d'une dévaluation des biens fonciers et immobiliers. L'adoption de messages positifs permet de mettre en exergue une potentielle valorisation de ces bâtiments. Un système de protection efficace contre le radon (qui n'est pas forcément compliqué à mettre en place) ajoute en effet une plus-value au bien, et peut en faciliter la vente. Plus le potentiel radon de la zone est élevé, plus cette plus-value est importante relativement aux bâtiments environnants. Les autres avantages que présentent les systèmes de protection contre le radon (traitement des problèmes d'humidité et de qualité de l'air intérieur) peuvent renforcer les discours de promotion de ces solutions. Les messages de valorisation devront donc être préférés aux messages de stigmatisation et de dévaluation, comme l'article du Télégramme mentionné précédemment qui titrait « *Radon : les fumeurs en première ligne* ».

Lors de campagnes de dépistage, l'organisation de réunions publiques locales est un bon complément aux moyens de communication écrits. Elles permettent de mesurer les attentes de la population, de répondre à ses questions, mais aussi de cerner ses angoisses. L'annonce de ce type de campagne peut en effet être anxiogène : « *pourquoi ma commune/mon quartier a été choisi ? Y a-t-il un taux de cancer du poumon plus élevé qu'ailleurs ?* ». La peur que la municipalité cache ou néglige des risques est récurrente, et la réunion publique est un format adapté pour y faire face. Le partenariat avec des associations locales bien connues du grand public est aussi un bon moyen d'apaiser ces craintes.

La sensibilisation du grand public doit être faite en lien avec les acteurs de la santé. Pourtant, il semble que ces derniers ne soient pas tous sensibilisés à la problématique du radon. Ils ne sont donc pas toujours en mesure d'informer et de conseiller correctement leur patientèle. En 2010, l'ARS Auvergne a réalisé une étude sur la perception du risque radon par les médecins de la région. L'enquête a porté sur 184 professionnels. Parmi eux,

87% s'estiment mal informés sur le radon, et 41% n'avaient pas connaissance de l'existence de moyens de prévention. Seulement un tiers d'entre eux jugent le risque sanitaire lié au radon élevé. Cette faible participation des acteurs de la santé est principalement due à un manque d'information, puisque 9 médecins sur 10 sont prêts à donner des conseils de prévention sous réserve d'avoir reçu une information préalable (ARS Auvergne, 2010). Les médecins, pharmaciens et pneumologues peuvent servir de relais dans la distribution de documentations, voire de dosimètres. Ils permettraient ainsi d'atteindre un public plus large qui comprendrait les personnes les plus vulnérables aux maladies broncho-pulmonaires. La participation des professionnels de santé à la lutte contre le radon peut être formalisée dans des CLS (contrats locaux de santé), comme c'est le cas dans les Vosges-Saônoises.

Les plans de gestion du risque radon dans les logements doivent aussi être intégrés dans une approche globale d'amélioration de la qualité de vie. Les thématiques de qualité de l'air intérieur et de performance énergétique traite en effet du même sujet, et impliquent les mêmes acteurs. En mutualisant cette problématique avec les questions de qualité de l'air intérieur, d'humidité, d'isolation thermique et d'acoustique, il est possible de toucher un public qui aurait été sceptique par rapport à une action traitant du risque radon uniquement. C'est par exemple le cas des villes de Nantes et de Montbéliard, qui ont intégré leur campagne de dépistage à des OPAH (organisations programmées d'amélioration de l'habitat).

Il est important d'entreprendre des actions traitant de toute la chaîne sensibilisation-prévention-mesure-diagnostic-remédiation. Pour les propriétaires de logements où les mesures auraient révélé des concentrations de radon trop élevées, il est rassurant d'être accompagnés dans la démarche d'atténuation. A l'échelle locale, les supports techniques et financiers sont probablement les deux freins principaux à la protection des logements privés contre le radon. Lorsque des aides financières ne sont pas dispensées dans le cadre d'OPAH, les particuliers sont dirigés vers l'ANaH (agence nationale de l'habitat), dont la participation financière est régie par des conditions de ressources très strictes.

Malgré tout, le succès des campagnes de mesure de la CLCV et de l'ARS témoigne d'une évolution de la préoccupation du grand public, qui prend conscience du risque radon en même temps que les autres risques liés à la qualité de l'air intérieur. Même si peu de travaux sont entrepris, beaucoup de particuliers déclarent avoir modifié leurs habitudes d'aération suite à la campagne de dépistage.

5.2.2 Prise en compte de la problématique par les professionnels du bâtiment

Depuis une vingtaine d'années émergent de nouveaux outils de communication et de coordination des différents acteurs d'un même projet. Parmi eux, le BIM (building information modeling, maquette numérique du bâtiment) a pris une dimension internationale. Il s'agit d'un modèle unique du bâtiment, qui comprend un processus de gestion et de production des données de différents corps de métier. L'idée principale étant que chauffagistes, électriciens, plombiers, bureaux d'études, etc. travaillent tous sur le même bâtiment, et par conséquent devraient aussi travailler sur la même modélisation de ce bâtiment. Le format IFC (industry foundation classes) est utilisé par tous les acteurs du projet pour échanger des informations entre les logiciels. Ce système, qui a permis de prévenir de nombreux désordres liés à des défauts de coordination, est adapté à la mise en œuvre de système de prévention ou de remédiation du radon puisqu'il permet une approche globale de la problématique. Le BIM s'applique à tout le cycle de vie du bâtiment, on peut donc imaginer un système qui vérifierait la compatibilité d'un projet de rénovation avec l'existant du point de vue du radon. La problématique du radon serait ainsi prise en compte dans chaque projet, même si tous les intervenants n'y sont pas sensibilisés.

Plutôt que de se reposer sur la chaîne *sensibilisation du grand public* → *émergence d'une demande de professionnel compétents* → *émergence d'acteurs locaux qualifiés*, il est important de développer la formation des acteurs du bâtiment en même temps que la sensibilisation du grand public. Sans cet équilibre offre/demande dès le début du processus, la sensibilisation des particuliers est compromise et ils risquent de percevoir le risque radon comme un problème irrémédiable. Les campagnes de mesures seraient sources de peur et de frustration. Dans une optique d'intégration du radon dans une démarche de durabilité plus globale, il peut être mentionné dans les formations FEE Bat (formation à l'économie d'énergie dans le bâtiment), comme c'est le cas dans les Pays de la Loire. De plus, il est nécessaire de traiter cette problématique à un niveau local, en impliquant autant que possible les collectivités territoriales et les associations. Ainsi, les particuliers pourront être directement mis en relation avec les professionnels de leur région.

Pour pallier le manque de professionnels, il est possible de former des membres des SCHS (services communaux d'hygiène et santé) au diagnostic radon. De cette manière, ils pourraient inclure cette composante à leurs contrôles de salubrité des bâtiments d'habitation.

En avril 2013, la NRPA (autorité de radioprotection norvégienne) et l'IRSN ont organisé la conférence internationale « radon et société, de la connaissance à l'action », qui s'est tenue à Paris. Il en est ressorti que la sensibilisation, et notamment celle des professionnels du bâtiment, était le maillon faible de la gestion des risques sanitaires liés au radon. Mais au cours de cette conférence ont aussi été évoquées les réussites de certaines expériences mises en place localement, qui montrent que des solutions existent, et que l'intérêt des acteurs de la construction pour cette problématique est croissant.

5.3 Réglementation

5.3.1 Biais et limites de la réglementation existante

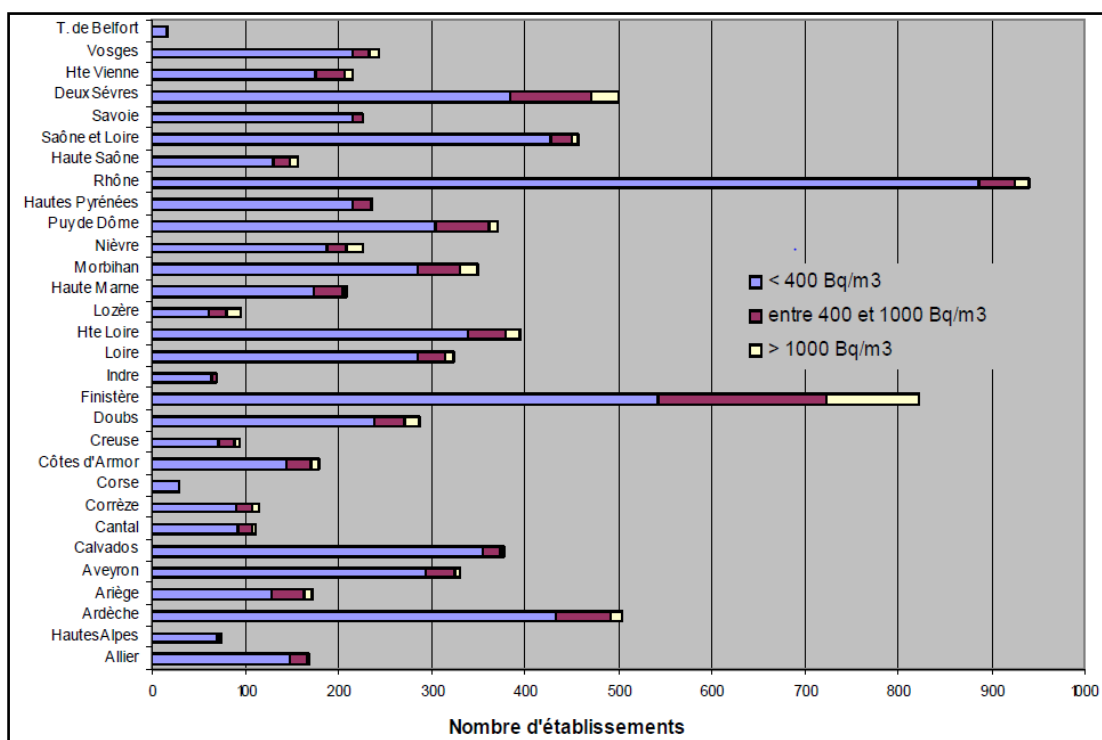
La réglementation française en matière de radon, qui est en vigueur depuis 2004, présente des biais et limites qui nuisent à son efficacité.

Premièrement, elle ne s'applique pas à l'habitat, alors que nous y passons plus de temps que dans n'importe quel autre bâtiment, et potentiellement pendant une plus longue période de notre vie. Pour les expositions chroniques, le risque sanitaire lié à la qualité de l'air intérieur est le plus important dans nos logements. Même dans le cas d'établissements recevant du public sensible, tels que les établissements scolaires, quelques années seulement sont passées dans les locaux, et la contribution de ces bâtiments au développement de pathologies reste inférieure à celle des logements.

Ensuite, la réglementation ne s'applique qu'aux 31 départements jugés prioritaires par l'IRSN. Or la carte départementale du risque radon sur laquelle se base la sélection des départements prioritaires est biaisée à plusieurs égards. Outre le faible nombre de mesures ayant servi à sa réalisation, et donc sa faible puissance statistique ; cette carte date de 2000 et repose sur des mesures de 1997. Comme expliqué dans la partie 3.4, les concentrations de radon dans l'air intérieur des bâtiments dépendent largement de la nature du bâtiment. Or une part non négligeable du parc immobilier français a été renouvelée ou modifiée au cours des 18 dernières années. De plus, les mesures ont été moyennées à l'échelle du département, ce qui n'est pas cohérent avec la variabilité spatiale de la nature des sous-sols. Le quadrillage géométrique à partir duquel ont été faites les mesures ne correspond pas non plus avec le risque sanitaire réel. Les mesures auraient dû être pondérées en fonction de la densité de population des mailles ; ou alors le nombre de mesures par maille aurait dû dépendre du nombre de ses habitants. Enfin, les bâtiments dans lesquels des mesures avaient été effectuées (en majorité des établissements publics) ne sont probablement pas représentatifs des bâtiments de la zone. C'est pour cette raison, par exemple, que la Loire Atlantique n'est pas comprise

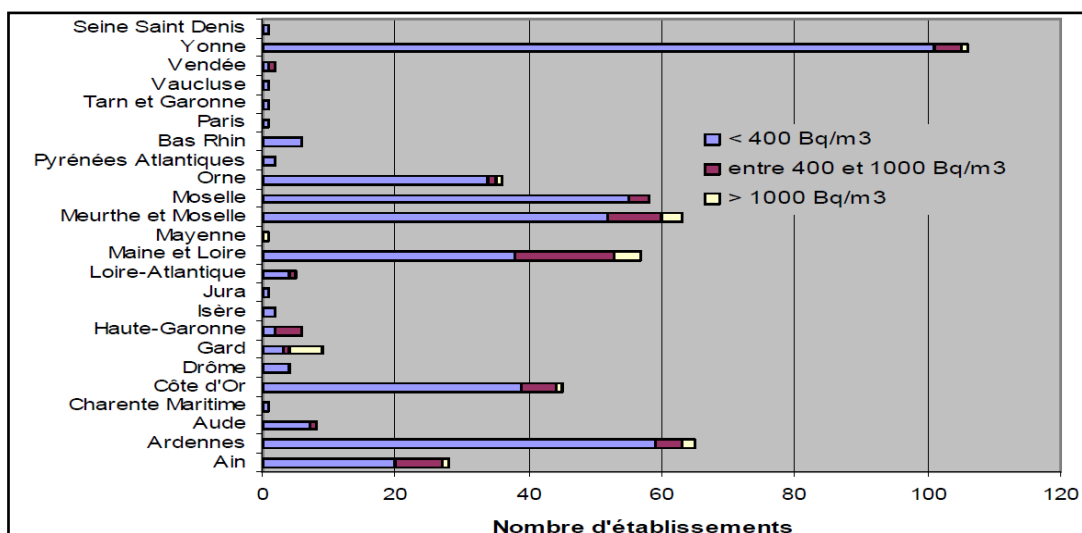
dans la liste des départements prioritaires, alors que la ville de Nantes est sujette à de très fortes concentrations intérieures de radon.

Une étude de l'ASN dresse le bilan de 5 ans de réglementation en se basant sur 8 811 mesures réalisées par des organismes agréés dans des établissements recevant du public. Cette étude révèle que certains départements prioritaires, tels que le Finistère, présentent des pourcentages d'établissements au-dessus des niveaux d'action largement supérieurs aux pourcentages nationaux ; mais aussi que dans d'autres départements prioritaires, comme le Rhône, la proportion d'établissements à risque est inférieure à la moyenne nationale (graphique 6 ci-dessous).



6. Bilan des mesures dans les départements prioritaires (source : ASN)

A l'inverse, le graphique 7 (page suivante) montre que dans certains départements non prioritaires, les mesures d'activité volumique sont parfois très élevées. A noter que sur les 9 mesures réalisées entre 2005 et 2010 dans le Gard, la limite de 400 Bq/m³ était dépassée pour 6 établissements, et 5 d'entre eux présentaient une concentration de plus de 1000 Bq/m³ (ASN, 2010).



7. Bilan des mesures dans les départements non prioritaires (source : ASN)

Dès 2010, la mise en évidence d'établissements présentant des activités volumiques supérieures à 400 Bq/m³ dans les départements non prioritaires conforte le besoin de mettre à jour les zones visées par la réglementation actuelle.

A l'inverse, il semblerait que dans certains départements non prioritaires, mais néanmoins sujets à de forts potentiels radon, l'absence d'exigence réglementaire soit compensée par l'émergence de dynamiques locales très fortes. C'est par exemple le cas des Pays de la Loire. Aucun département de cette région n'est classé comme prioritaire, mais chacun d'eux contient des zones à fort potentiel radon. Dans cette région, la préoccupation du risque radon est retranscrite dans le PRSE, et plus d'actions y sont entreprises qu'en Ile-et-Vilaine (seul département non prioritaire de Bretagne, mais cependant exposé au radon) ou dans certains départements prioritaires. Il est possible que certains départements soumis à une réglementation spécifique se limitent au bon respect des objectifs réglementaires.

5.3.2 Alternatives

En 2013, la conférence « radon et société, de la connaissance à l'action » a permis de dresser un état des lieux des politiques de lutte contre le radon dans chacun des pays participants. Face à un même problème, les approches peuvent en effet être très différentes.

En Finlande, une loi impose depuis 2004 la prise en compte du radon dans les logements neufs. Si l'activité volumique est supérieure à 200 Bq/m³, l'entreprise est tenue de corriger les défauts en améliorant l'étanchéité ou le système de ventilation (STUK, 2013). Ce type de réglementation, qui semble compléter la législation française existante, soulève tout de même quelques questions. La mesure de l'activité volumique pourra difficilement être

systématique pendant la construction, la livraison ou la vente d'un bâtiment parce qu'elle doit être réalisée pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois, en période de chauffe et pendant que le bâtiment est utilisé. Mais lorsque le logement est occupé, le comportement des usagers influence la concentration de radon, et il est difficile de déterminer un responsable en cas de dépassement de la valeur limite. Enfin, cela sous-entend que la gestion du risque radon, et donc la responsabilité des concentrations une fois le bâtiment livré, doivent être assumées par une seule entreprise ou un seul artisan. Or comme mentionné précédemment, la transversalité de la problématique requiert l'implication de plusieurs corps de métier.

En France, de nombreux citoyens et professionnels sont sceptiques à l'idée d'une législation supplémentaire qui s'ajouterait à la complexité du paysage réglementaire et normatif existant. La voie réglementaire prescriptive n'apparaît donc pas comme le levier d'action le plus adapté. L'expérience montre qu'il est compliqué d'imposer des mesures, que celles-ci ne sont pas toujours représentatives, et que même si elles l'étaient, elles ne garantiraient pas que des travaux de remédiation soient entrepris. En outre, elles nécessiteraient une intégration minutieuse dans le cadre réglementaire existant, en particulier avec les lois énergétiques et environnementales.

Des solutions alternatives à la législation sont possibles. Celles-ci rejoignent et complètent les recommandations déjà évoquées dans les parties 4.2.1 et 4.2.2. En Suisse, les bâtiments présentant une concentration inférieure à 100 Bq/m³ peuvent se voir décerner un label « radon » de l'écoconstruction (OFSP, 2013). Ce type de valorisation rend les particuliers plus attentifs à cette problématique, et encourage la formation des professionnels. En Allemagne, le ministère de l'environnement a ouvert une formation certifiante pour les professionnels du bâtiment et de l'immobilier (Ministère de l'environnement de Bavière, 2013).

La mise en place d'une politique cohérente de sensibilisation du grand public, de formation des acteurs et de valorisation des travaux de prévention ou d'atténuation, sans pour autant renforcer les exigences réglementaires, semble être la meilleure stratégie de lutte contre le radon à long terme. Cela devrait permettre, comme aux Etats-Unis, d'intégrer la mesure du radon à la routine des transactions immobilières sans pour autant la rendre obligatoire (IRSN, 2013).

Conclusion

Le travail effectué lors de cette mission constitue le socle scientifique et technique sur lequel se basera le Réseau Breton Bâtiment Durable. L'objectif principal de cette étape préliminaire est de cibler les enjeux liés au radon en Bretagne, de dresser un état des lieux de la situation sur la base de visites de terrain, et d'identifier les premières pistes d'évolution et leviers d'action pour une meilleure intégration de la problématique dans les projets de construction ou de rénovation.

Cette mission professionnelle clos ma formation de Mastère Spécialisé en Ingénierie et Management des Risques en Santé Environnement et Travail. Elle m'a permis d'appliquer les connaissances acquises au cours des 12 derniers mois dans un contexte professionnel. Ce stage a aussi été l'occasion de faire le lien entre la santé environnement et ma formation initiale d'ingénieur en Génie des Systèmes Urbains. J'ai particulièrement apprécié la multidisciplinarité de cette mission qui, en mêlant les domaines de la construction, de l'environnement et de la santé, a nécessité une prise de recul sur les problématiques étudiées.

D'un point de vue personnel, ce stage de fin d'étude fut une expérience enrichissante à plusieurs égards. Si l'autonomie et la responsabilité qui m'ont été accordées peuvent être déstabilisantes en premier lieu, elles s'avèrent grandement appréciables dès lors qu'on s'est familiarisé avec le domaine et les méthodes de travail. J'ai été stimulé par le fonctionnement de structures associatives animées par des convictions fortes, et par la rencontre d'acteurs professionnels passionnés et passionnants. Les entretiens conduits pendant cette mission m'ont fait découvrir un large panel de métiers qui m'ont conféré une meilleure vision du monde du travail. La rigueur scientifique, rédactionnelle et relationnelle requise par ce stage peut selon moi se révéler être un véritable atout pour une carrière d'ingénieur.

Bibliographie

- ALQA**, *Le radon dans l'air intérieur* (page web), www.alqa.org
- ARS Bretagne**, *Habitat sain et radon : comment agir au niveau local ?*, 2012
- ARS Auvergne**, *Résultats de l'enquête sur la perception du risque radon par les médecins libéraux d'Auvergne, novembre 2010*, 2010
- ASN**, C. Pineau, *Bilan des mesures de l'activité volumique du radon réalisées entre 2005 et 2010, dans les lieux ouverts au public*, 2010
- Audi et al.**, *The NUBASE evaluation of nuclear and decay properties*, Nuclear Physics A, vol. 729, 2003
- Batiactu**, C. Lauga, *La rénovation énergétique favorise l'exposition au radon* (page web), www.batiactu.com, 2015
- CCNSE**, *Mesures efficaces pour réduire le niveau de radon à l'intérieur*, 2008
- CEREMA**, *Comment agir pour améliorer la qualité de l'air intérieur* (support de présentation), 2013
- Chéné et al.**, *Prospection hydrogéologique des milieux fissurés par dosage du radon dans les gaz du sol*, 1989
- CIRC**, *Fibres minérales artificielles et Radon*, Monographie volume 43, 1988
- CNCT**, *Plus d'un siècle d'histoire, à l'avant-garde de la lutte contre le tabagisme* (page web), www.cnct.fr
- CRIIRAD**, *Radioactivité et radon, quelles expositions dans le bâtiment ?* (support de présentation), Syren, 2014
- CSTB**, *Le radon dans les matériaux de construction*
- DREAL Limousin**, *La radioactivité naturelle dans les bâtiments, « Vivre mieux dans un bâtiment avec un air de qualité »* Fiche n°2, 2012
- INERIS**, *Le radon, synthèse des connaissances et résultats des premières investigations en environnement minier*, 2008
- INCa**, *Fiche repère : Radon et cancer, Etat des connaissances en date du 10 Octobre 2011*, 2011
- InVS**, *Impact sanitaire du radon domestique : de la connaissance à l'action*, Bulletin épidémiologique hebdomadaire, numéro thématique, n°18-19, 2007
- InVS**, *Le radon – Note de position de l'Institut de veille sanitaire*, 2013
- IPSN**, M. Tirmarche, *Evaluation du risque de cancer lié à l'inhalation du radon*, Revue de l'ACOMEN, vol. 4, n°4, 1998

- IRSN**, *Connaître le potentiel radon de ma commune* (page web), www.irsn.fr, 2013
- IRSN**, *Débats, La prévention du risque radon, enjeu de santé, peut-elle être un marché pour le bâtiment ?*, Magazine Repères, n°18, 2013
- IRSN**, *Le radon dans les bâtiments* (brochure) 2002
- IRSN**, *Le risque radon dans les habitations en 10 questions* (page web), www.irsn.fr, 2000
- Keller et Hoffmann**, *The radon diffusion length as criterion for the radon tightness*, 2000
- Ministère de l'environnement de Bavière**, A. Kunte, *Etablissement d'un réseau radon et d'une formation radon pour les professionnels du bâtiment en Bavière, Allemagne* (communication lors de la conférence *Radon et société, de la connaissance à l'action* consultable sur www.irsn.fr), 2013
- Monédiaire**, *Radon et droit* (livre), Les cahier du Crideau, Presses Universitaires de Limoges et du Limousin, p. 14-16, 2001
- OFSP**, J. Goyette, *Formation et suivi des consultants en radon en Suisse* (communication lors de la conférence *Radon et société, de la connaissance à l'action* consultable sur www.irsn.fr), 2013
- OFSP**, *Radon, Méthodes d'assainissement pour les bâtiments existants*, 2012
- OFSP**, Zeltner, *Manuel suisse du radon*, 2000
- PNSE3**, 2015
- PRSE2 Bretagne**, 2011
- STUK**, O. Holmgren, *Prévention et remédiation, l'état de l'art* (communication lors de la conférence *Radon et société, de la connaissance à l'action* consultable sur www.irsn.fr), 2013
- Turner**, *Radon and lung cancer in the American Cancer Society Cohort*, 2011
- Zhang**, *Residential radon and lung cancer risk: an updated meta-data-analysis of case-control studies*, 2012

Liste des annexes

1. Grille d'analyse RBBD	II
2. Exemple fiche « retour d'expérience » RBBD	XV
3. Exemple REX AQC	XXIII
4. Suivi des opérations	XXXI
5. Carte des bâtiments visités	XXXII
6. Outil contacts	XXXIII

GRILLE D'ANALYSE DE REALISATIONS

GUIDE D'UTILISATION

Version 3 – novembre 2013

SOMMAIRE

Utilisation de la grille.....	p. IV
A- Synthèse.....	p. V
B- Description.....	p. VI
C- Territoire et site.....	p. VI
D- Energie et climat.....	p. VIII
E- Eau.....	p. IX
F- Déchets.....	p. X
G-Confort et santé.....	p. XI
H- Social et économie.....	p. XIII
I- Gouvernance.....	p. XIV

UTILISATION DE LA GRILLE

Cet outil a été conçu sous l'impulsion du Réseau Breton Bâtiment Durable avec les acteurs régionaux de la construction et de la rénovation durable. Le groupe de travail qui a été constitué en mars 2013 s'est fixé pour objectif de construire collectivement un outil d'analyse technique qui réponde à la diversité des attentes des participants pour permettre ensuite de l'appliquer à un panel diversifié de réalisations.

L'objectif est de pouvoir analyser des réalisations de différente nature : logements et bâtiments non résidentiels en construction neuve ou en réhabilitation. On recherchera, quand cela est possible, des opérations qui ont donné lieu à une instrumentation en phase exploitation sans que cet aspect soit exclusif. On s'attachera à traiter uniquement de bâtiments construits sur le territoire breton.

Le groupe de travail s'est réuni à trois reprises pour construire, tester puis ajuster la grille d'analyse. C'est un outil à caractère technique qui n'a pas vocation à être diffusé comme outil de communication. La grille doit servir à analyser et qualifier objectivement les différentes composantes du bâtiment qui contribuent à en faire un bâtiment durable.

Chacun est invité à s'en saisir pour analyser les bâtiments sur lesquels il a été impliqué ou pour lesquels il dispose de données, d'informations et de contacts suffisants. Une fois l'analyse effectuée, le fichier Excel sera transmis à l'adresse suivante :

contact@reseau-breton-batiment-durable.fr

Il ne sera probablement pas possible d'apporter une réponse à l'ensemble des rubriques de la grille, on insistera sur les points qui ont fait l'objet d'un traitement particulier et pour lesquels il semble important de partager une expérience, une démarche et les résultats obtenus.

Une étape de relecture permettra de valider le document sur la forme et le niveau de détail proposé. Nous rédigerons alors une fiche de présentation répondant à une mise en forme standardisée qui sera publiée sur le site internet www.reseau-breton-batiment-durable.fr.

La grille sera régulièrement mise à jour pour s'adapter aux évolutions réglementaires, techniques ou d'usage. La dernière version est disponible sur le site internet du Réseau Breton Bâtiment Durable.

Contact : Rémi Boscher / 02 99 30 65 54

A- SYNTHÈSE

A1 - Contexte et description du projet

Décrire l'opération avec, par exemple :

- la nature de l'opération (construction neuve ou réhabilitation) et le type de bâtiment,
- quelques éléments de présentation du maître d'ouvrage,
- les besoins auxquels doit répondre le bâtiment (nécessité d'augmenter la capacité d'accueil d'un équipement public, développement du parc locatif social, changement de situation familiale du maître d'ouvrage,...),
- les caractéristiques qui ont motivé le choix du site,
- les éventuels appels à projets dans lesquels s'inscrit l'opération (projet européen, Eco-Faur, Prebat,...) ou tout autre dispositif d'aide mobilisé.

A2 - Objectifs prioritaires

Préciser les principaux objectifs, qu'il s'agisse de niveaux de performance à atteindre, de procédés constructifs à valider, de méthodes de travail à expérimenter, de contraintes économiques à respecter,...

A3 - Démarches, labels et certifications

Citer les labels et certifications liés aux ouvrages obtenus en précisant éventuellement le niveau ou la catégorie (ex. : Habitat & Environnement Profil B, NF Environnement MI démarche HQE).

Si le projet s'est construit en s'appuyant sur une démarche ou cahier des charges spécifique sans pour autant poursuivre jusqu'au stade de la labélisation ou certification, présenter cette démarche : les cibles retenues, les résultats visés,...

A4 - Facteurs de réussite

Quels sont les facteurs qui ont permis d'atteindre ou d'approcher les objectifs prioritaires initiaux ? Cette vision peut être subjective et l'appréciation différente en fonction des personnes interrogées.

A5 - Difficultés rencontrées, solutions apportées et enseignements

Réaliser un focus sur un ou plusieurs aspects qui ont soulevé des difficultés en détaillant la manière de les surmonter et les éventuels impacts sur le projet (évolution de la performance, des coûts, de la dimension architecturale,...). Cette rubrique est particulièrement importante à renseigner car elle éclairera le lecteur sur des aspects très pratiques et souvent sous estimés voire méconnus au démarrage d'un projet.

A6 - Témoignage maître d'ouvrage et/ou occupants

Les témoignages peuvent être multiples et concerner la phase de conception, construction ou exploitation. Préciser systématiquement qui est le témoin (maître d'ouvrage, architecte, entreprise, usager,...). Dans le même esprit que pour la rubrique précédente, on pourra mettre en avant les aspects qui ont posé problème ou inversement, les éléments facilitateurs.

B - DESCRIPTION

B1 - Enveloppe

Détailler les différents matériaux constitutifs de l'enveloppe avec, quand les éléments sont connus, la conductivité thermique (λ , lambda) et la valeur U (coefficient de transmission thermique surfacique).

La valeur U d'un matériau se calcule de la manière suivante :

$U = 1/R$ avec $R = e/\lambda$, R est la résistance thermique et l'épaisseur du matériau exprimée en mètres.

B2 - Systèmes

Décrire les systèmes de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire (ECS) et de ventilation.

Exemples :

	Nature	Puissance
Chauffage	Pompe à chaleur air/eau alimentant un plancher chauffant	32 kW
ECS	Chauffe eau solaire avec capteurs à tube sous vide (21 m ²), implantation en toiture exposition sud/sud-ouest sans masque solaire Appoint par chaudière collective gaz	
Ventilation	Ventilation double flux avec échangeur à plaques (rendement théorique 92%)	570 W

C - TERRITOIRE ET SITE

C1 - Mobilité

La catégorie du territoire fait référence aux définitions suivantes :

Pôle Urbain : ensemble d'une ou plusieurs communes présentant une continuité du tissu bâti et comptant au moins 2 000 habitants où aucune habitation n'est séparée de la plus proche de plus de 200m.

Périurbain : communes d'une aire urbaine (à l'exception de son pôle) sous influence urbaine du fait des déplacements domicile-travail, les emplois restant largement concentrés dans les pôles urbains tandis que les lieux de résidence s'en éloignent.

Rural : communes (ou unités urbaines) n'appartenant pas à l'espace à dominante urbaine.

Quand ils existent, préciser la nature des réseaux de transport en commun situés à proximité et l'usage qui en est fait par les occupants du bâtiment.

Préciser si l'organisation du site incite à l'utilisation des transports doux (marche, vélo,...) et quels sont les éventuels freins à leur utilisation (temps de trajet, nombre et positionnement des stationnements,...),

C2 - Urbanisme

Faire le lien entre la construction et les règles d'urbanisme, décrire les conséquences des aspects réglementaires dans la conception du bâtiment et son intégration au site (contraintes et limitations sur certains aspects du projet, opportunités pour développer d'autres dimensions).

C3 - Paysage

Décrire l'approche retenue en termes d'intégration paysagère : cohérence avec la topographie du terrain, orientation qui tient compte des vents dominants...

Un traitement végétalisé des abords contribue-t-il à la préservation des éléments naturels ?

La revalorisation d'un espace délaissé a-t-il été une préoccupation (destruction d'un bâtiment abandonné, masquage d'un transformateur, élimination d'un dépôt de gravats,...) ?

C4 - Patrimoine

Présenter l'analyse réalisée sur les choix de volume du bâtiment et de traitement des façades pour assurer des liens visuels esthétiques ou fonctionnels avec des bâtiments existants (choix des couleurs, matériaux, orientation des faitages, droit au soleil,...), ...

Préciser si le projet a pris en compte des particularités culturelles et patrimoniales locales (patrimoine remarquable présent sur la commune et ayant marqué son histoire) ou s'il a contribué à faire vivre les savoir-faire locaux.

C5 - Foncier

La maîtrise de la consommation d'espace a-t-elle été une préoccupation forte ? Décrire l'approche retenue pour maîtriser l'espace disponible et optimiser la consommation de foncier (dimensionnement adapté aux besoins réels, gestion du stationnement).

Comment le projet a-t-il contribué au renouvellement urbain (comblement d'une « dent creuse », réhabilitation ou extension de l'existant) ?

Présenter la mixité des fonctions urbaines recherchée pour le projet et constatée à l'usage : proximité de commerces et de services (banque, garde d'enfant, poste, activités associatives culturelles et sportives), chevauchement des horaires d'activité et d'ouverture.

C6 - Biodiversité

Un traitement végétalisé de la parcelle permet-il de préserver ou de recréer des éléments naturels (haie bocagère, prairie naturelle, fossé, mare, arbre remarquable,...) ? Si le bâtiment est à l'origine d'un impact sur un élément du milieu naturel, décrire cet impact et les mesures mises en place pour y remédier (création d'un corridor écologique, reconstitution d'une zone de nidification, ...).

C7 - Bioclimatisme

Comment les apports solaires passifs ont-ils été optimisés en fonction des saisons (forme et orientation du bâtiment, ratios des surfaces de baies vitrées par orientation, nature des

vitrages, estimation par le calcul des apports solaires passifs,...) pour limiter les besoins de chauffage en hiver et les épisodes de surchauffe en été ?

Décrire les contraintes du site (dénivelé, masques solaires, exposition au bruit, exposition au vent, végétation environnante, humidité,...) et les choix opérés pour en limiter les effets.

Préciser les caractéristiques du site dont on a pu bénéficier ou qui ont été exploitées pour améliorer le confort des occupants du bâtiment (topographie, vue, desserte, végétation, ventilation, ambiance sonore...).

D - ENERGIE ET CLIMAT

D1 - Besoins énergétiques

Les éléments à saisir sont ceux issus de l'étude thermique réglementaire (RT 2012) si cette réglementation s'appliquait pour le projet, sinon on renseignera uniquement le coefficient Ubat défini par la RT 2005. Ces données seront complétées par des relevés de consommations réelles s'ils sont disponibles, en précisant la période de référence (ex : année 2012, moyenne annuelle calculée entre 2013 et 2015,...).

La RT 2012 fixe des objectifs en matière d'étanchéité à l'air pour les maisons individuelles, les logements collectifs et les bâtiments tertiaires. C'est le résultat de la dernière mesure du coefficient Q_4 exprimé en $m^3/h/m^2$ qui doit être renseigné ici. Les bâtiments tertiaires n'étant pas soumis à une obligation de mesure, la rubrique sera à renseigner uniquement si un test d'infiltrométrie a été réalisé.

Une autre norme (EN 13829) encadre également la mesure de l'étanchéité à l'air, ce n'est pas celle qui a été retenue dans la réglementation française mais elle est largement utilisée en Europe. Elle permet de calculer l'étanchéité sous un différentiel de pression de 50 Pa et s'exprime en vol/h, c'est le coefficient n50.

On renseignera indifféremment la valeur mesurée avec l'une ou l'autre des normes.

D2 - Energies renouvelables

Détailler les dispositifs de production d'énergies renouvelables mis en place ou exploités sur la parcelle. On précisera les technologies mises en oeuvre, les puissances installées, les rendements...

Pour chacun de ces dispositifs, donner les niveaux de production (kWh/an ou sur une période à préciser) et le pourcentage des consommations des usagers ainsi couvert.

Le temps de retour sur investissement est une donnée généralement estimée lors des études de dimensionnement, on précisera les hypothèses de production retenues pour chaque équipement lors du calcul.

D3 - Usagers

On décrit ici les démarches d'accompagnement des usagers mises en place aux différents stades de réalisation du bâtiment, de la programmation à l'exploitation (analyse

des besoins, visites de chantier, guides d'utilisation ou d'exploitation, suivi des consommations, évaluation du confort).

Préciser si les évolutions des usages et habitudes ont été envisagées lors des choix technologiques. Un questionnaire ou une enquête d'évaluation auprès des usagers ont-ils permis de mesurer leur degré d'appropriation des technologies mises en œuvre ?

D4 - Climat

Le Bilan Carbone fait référence à la méthode, initialement développée par l'ADEME, d'estimation des émissions de gaz à effet de serre d'un produit ou d'une activité. On précisera les hypothèses de calcul (prise en compte des matériaux de construction, des consommations d'énergie, des déplacements des usagers,...). Si le Bilan Carbone est exprimé en *tonne équivalent CO₂/an*, on précisera la durée de vie estimée du bâtiment. Si c'est une autre méthode de calcul qui a été utilisée, on précisera les principes et hypothèses de calcul de la même manière.

Les démarches de réduction des émissions de gaz à effet de serre s'entendent aussi bien lors du choix du site (limitation des transports), qu'en phase de conception (choix des matériaux, compacité, isolation,...) que lors de l'exploitation (économies d'énergie,...).

D5 - Mesure et évaluation

Décrire les principaux indicateurs retenus pour assurer le suivi des performances (ex : consommation d'énergie non renouvelable pour le chauffage et l'électricité, consommation d'eau chaude sanitaire, taux d'inconfort, gestion des déchets...)

Préciser les modes de collecte de l'information (automatisation par la GTB, analyse manuelle des factures, fournie par le prestataire,...) et sur quelle période, à quelle fréquence est-elle prévue. Comment et par qui ces données sont-elles ensuite exploitées ? Par quels moyens ces résultats sont-ils communiqués aux usagers ou gestionnaires notamment pour les ERP ?

E - EAU

E1 - Economie et réutilisation de l'eau

La consommation d'eau se calcule par personne et par an. Dans le cas d'un bâtiment non résidentiel, on estimera le nombre moyen de personnes présentes à temps plein par jour et on divisera la consommation annuelle d'eau par cette valeur.

Il peut s'agir de la consommation réelle ou estimée, idéalement des 2.

E2 - Gestion des eaux de pluie

L'implantation d'un bâtiment sur une parcelle non bâtie ou l'augmentation de l'emprise au sol d'un bâtiment va réduire la capacité d'absorption des eaux pluviales. Décrire les choix opérés pour limiter cette imperméabilisation (revêtements perméables, toiture végétalisée, mesures de compensation...).

La régulation des flux d'eau de pluie consiste à créer des zones tampons qui vont temporairement et/ou partiellement retenir un apport important d'eau de pluie pour éviter un engorgement des réseaux (bassin enterré, noue, fossé,...).

Décrire les dispositifs de récupération des eaux de pluie mis en œuvre (type et volume de stockage, mode d'interconnexion au réseau, comptage, entretien,...) et préciser les usages auxquels ils sont dédiés et les éventuelles précautions prises pour éviter les risques sanitaires.

E3 - Assainissement

Plusieurs dispositifs d'assainissement non-collectif ou individuel existent (micro-station, filtre compact, filtre planté,...). Préciser le système retenu et les éléments qui ont motivé ce choix.

Les eaux grises (eaux savonneuses issues des lavabos, douches, bain) peuvent être collectées puis traitées et destinées à un nouvel usage (alimentation de chasse d'eau ou lave linge, arrosage de jardin par exemple). Décrire le système utilisé (technique, coût, utilisation) et les volumes ainsi recyclés.

E4 - Eau et santé

Préciser les caractéristiques de l'eau du réseau (dureté, concentration en nitrates ou pesticides, qualité microbiologique,...) qui sont contrôlées à l'échelle du bâtiment et les éventuels traitements mis en place pour l'améliorer.

Détailler les dispositions prises (au delà des obligations réglementaires) pour optimiser la maintenance des réseaux d'eau. Il peut s'agir de prestations d'entretien courant (programmation de nettoyage périodique des filtres, changement de joints, vidange, nettoyage et désinfection) ou de modalités de surveillance (relevés de températures, prélèvements, tubes témoins, ...).

F - DECHETS

F1 - Cycle de vie du bâtiment

Si les durées de vie du bâtiment et/ou des matériaux et équipements ont été anticipées, décrire la méthode retenue et les résultats obtenus en précisant la politique retenue pour la gestion sur le long terme des principaux équipements techniques (chauffage, éclairage, production d'énergies renouvelables,...)

Si une attention particulière a été portée en phase conception à la fin de vie du bâtiment, détailler les choix retenus pour faciliter la réutilisation et le recyclage des matériaux. Ces choix peuvent être de nature architecturale ou technique.

Préciser si des matériaux recyclés ont été utilisés, leur nature et les quantités mises en œuvre. On pourra compléter ces données en citant les sources d'approvisionnement, la durée de vie estimée,...

F2 - Déchets de chantier et recyclage

La réduction des déchets produits sur le chantier est une démarche qui s'anticipe dès la phase programmation ou conception (choix d'une technique de construction permettant la préfabrication en atelier, réalisation de plan de calepinage, préconisation d'outils de découpe adaptés,...).

On présentera la procédure de gestion des déchets mise en place : types de déchets collectés et dispositifs de collecte, animation de la démarche sur le chantier (information, sensibilisation, contrôle), intégration de la démarche au dossier de consultation des entreprises (DCE),...

Si la collecte des bordereaux de suivi des déchets a été réalisée, on précisera les quantités collectées par nature et par filière de traitement.

F3 - Déchets d'activité

Les déchets d'activité sont ceux générés au sein du bâtiment au cours de son exploitation. On présentera les types de déchets collectés et les dispositifs de suivi associés à chacun d'eux.

Décrire les moyens permettant de traiter, à l'échelle du bâtiment, une partie des déchets produits en son sein (compostage de déchets fermentescibles, méthanisation, incinération,...).

G - CONFORT ET SANTE

G1 - Qualité de l'air intérieur

Quels sont les choix techniques opérés qui contribuent à garantir la longévité des performances du système de ventilation ? Quels sont les moyens mis à disposition de l'utilisateur ou du gestionnaire pour lui permettre de contrôler cette pérennité (carnet d'entretien du bâtiment, programmation de visites de contrôle, contrat de maintenance avec un prestataire, gestion technique du bâtiment (GTB) avec indicateur de colmatage des filtres,...) ?

Le bon fonctionnement du système de ventilation nécessite une bonne information des usagers, décrire les dispositions prises pour les informer des précautions à prendre et des gestes à éviter (réunion d'information à la livraison, notice de sensibilisation, informations délivrées régulièrement par un tiers,...) ainsi que la nature de ces informations.

Le radon, présent naturellement dans le sous-sol breton, peut avoir des conséquences sanitaires sur les usagers s'il se concentre dans une ou plusieurs zones du bâtiment. Les niveaux d'actions préconisés en France pour les bâtiments existants sont fixés à 400 Bq/m³ (seuil de précaution) et 1.000 Bq/m³ (seuil d'alerte). Préciser les dispositions prises pour évaluer la concentration en radon dans le bâtiment, les résultats obtenus et les mesures correctives éventuellement retenues.

Le choix des matériaux mis en œuvre peut avoir de multiples conséquences sur la qualité de l'air intérieur en agissant sur divers paramètres (humidité et biocontaminants, particules et fibres, COV, métaux lourds, radon,...). Détailler les exigences fixées pour le projet et les conséquences sur le choix des matériaux.

Le planning de chantier a-t-il pris en compte des temps de séchage suffisant pour éviter la pose d'éléments intérieurs sur chape ou cloison humide qui augmente les rejets de composés organiques volatiles et de CO₂, par exemple.

G2 - Electromagnétisme

Préciser l'origine des champs électromagnétiques (ligne HT, antenne relais de téléphonie mobile, équipements domestiques, wifi, ...) auxquels sont soumis les occupants du bâtiment et les dispositions prises pour limiter cette exposition.

G3 - Bien être des occupants

Décrire les principes architecturaux (dispositifs passifs, c'est à dire hors systèmes de chauffage et climatisation) qui contribuent à optimiser le confort thermique des occupants en toute saison (ex. : isolation thermique renforcée, inertie de la structure, vitrage à contrôle solaire, casquette solaire, masques proches, puits canadien, mur trombe,...).

L'hygrothermie caractérise la température et le taux d'humidité d'un local, la zone de confort se situe entre 18 et 20°C pour un taux d'humidité de 40 à 60%. La température des parois va également influencer le ressenti si elle s'écarte de plus de 3°C de la température de l'air intérieur. Présenter les dispositions retenues en phase conception pour optimiser le confort hygrothermique (choix des matériaux, système de ventilation,...).

Une évaluation du confort ressenti par les usagers a-t-elle été menée ? Préciser les résultats et éventuelles mesures correctives mises en œuvre.

Si une campagne de mesure de température a été menée, comment a été caractérisé l'inconfort d'hiver et d'été (ex. : nombre d'heures de dépassement de 27°C pour la température d'un local en période d'occupation).

G4 - Eclairage

Si le niveau d'éclairage naturel a donné lieu à une réflexion particulière, décrire les principes retenus et les éventuelles exigences fixées au concepteur. Préciser si une simulation du facteur de lumière du jour (FLJ) a été réalisée, présenter les principaux résultats et optimisations proposées/retenues.

Le confort visuel, au delà des solutions passives décrites dans la rubrique précédente, est la conséquence d'un système d'éclairage adapté aux besoins. On décrira les exigences fixées par le maître d'ouvrage et les solutions retenues (type et position des luminaires, température de couleur des sources de lumière, modulation du niveau d'éclairement,...).

G5 - Ergonomie et accessibilité

Si le bâtiment offre une accessibilité qui va au delà de la réglementation ou s'il a donné lieu à une étude ergonomique, décrire les attentes et les solutions mises en place.

Si les futurs usagers ont été intégrés à la réflexion en amont, préciser la nature de la réflexion et les choix qui en ont découlé pour le projet.

G6 - Nuisances sonores

Si une démarche spécifique a été entreprise pour limiter la transmission de bruit au delà des exigences réglementaires, on précisera les solutions techniques mises en œuvre, leurs performances et le ressenti des usagers.

On précisera également si, en amont du projet, une réflexion a été portée sur les usages pour limiter les nuisances sonores (horaires d'occupation, organisation spatiale des locaux, orientation/exposition du bâtiment,...)

H - SOCIAL ET ECONOMIE

H1 - Coût de construction

Si une analyse en coût global a été réalisée, préciser en quelle phase (esquisse, avant projet sommaire ou définitif, projet ou plan d'exécution).

L'accession du logement au plus grand nombre s'entend comme une démarche visant à produire un bâtiment avec un prix de revient maîtrisé et répondant à des possibilités de financement modestes. On décrira les mécanismes mis en œuvre pour atteindre cet objectif (modes de financement, choix constructifs, auto-construction,...).

La modularité ou l'évolution du bâtiment s'entend comme un changement d'usage ou de besoins. Anticiper ou faciliter les évolutions du bâtiment contribue à assurer sa pérennité avec un niveau de service rendu constant. Décrire la nature de la réflexion et les choix techniques qui en ont découlé.

Le recueil des coûts de construction par lot doit permettre de constituer progressivement une base de données régionale et d'évaluer l'impact d'une approche « bâtiment durable » sur la répartition des coûts par lot.

H2 - Mixité urbaine

La notion de « vivre ensemble » fait référence à un besoin des usagers de pouvoir partager des moments ensemble, de partager des espaces fonctionnels (buanderie, salle internet,...) ou de convivialité (pièce commune, cuisine, salle de réception,...) à l'échelle du bâtiment, de la parcelle ou du quartier.

H3 - Lien social

Décrire la façon dont le bâtiment favorise l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite ou souffrant d'un handicap visuel, auditif, psychique ou mental.

S'il s'agit de logements, préciser les critères d'insertion retenus par le maître d'ouvrage ou le bailleur pour attribuer les logements.

H4 - Chantier

On décrira dans cette rubrique les démarches ou clauses des marchés qui ont permis de favoriser l'emploi de main d'œuvre locale, l'insertion de personnes éloignées du monde du travail, l'utilisation de matériaux répondant à des exigences de circuits courts (proximité de la ressource, du site de transformation et du site de distribution).

Présenter les choix qui ont permis de privilégier les circuits courts (choix techniques, financiers, politiques,...).

Présenter la méthode qui a permis de privilégier les entreprises proposant une démarche d'insertion lors de l'attribution des marchés.

I - GOUVERNANCE

I1 – Définition des besoins

On précisera les publics qui ont été associés à la réflexion en amont du projet lors de la définition des besoins. On décrira les méthodes de concertation retenues et les outils utilisés.

Présenter les besoins ainsi identifiés et la manière dont ils ont pu être satisfaits. On pourra préciser les moyens mis en œuvre pour évaluer ce niveau de satisfaction.

I2 – Mobilisation des acteurs en phase construction

En phase chantier, comment les futurs usagers du bâtiment ont été impliqués (visites, chantier participatif, formation,...) ?

Décrire ce qui a été mis en place pour favoriser une approche globale et décloisonner les interventions des différents acteurs de la construction (architectes, bureaux d'étude et de contrôle, différents corps d'état, futurs gestionnaires et usagers,...).

I3 – Prise en main

Le niveau de performance recherché pour le bâtiment ne pourra pas être atteint sans une implication forte des usagers. Présenter les dispositifs retenus pour encourager cette appropriation et la compréhension du fonctionnement du bâtiment, de son utilisation, de son entretien et sa maintenance,...

Décrire les supports transmis (livret d'entretien, mode d'emploi, plan, livret d'accueil...)

I4 – Vie du bâtiment

Au cours de l'exploitation du bâtiment, quelles sont les possibilités données aux usagers pour exprimer leur ressenti et faire part de leurs propositions pour améliorer certains aspects du bâtiment (enquête, réunion, contact téléphonique, site internet,...)?

On pourra notamment détailler les ajustements qui ont été réalisés pour adapter au mieux les systèmes (chauffage, ventilation, éclairage,...) aux usages réels. On décrira les ajustements techniques qui ont permis d'optimiser la performance énergétique ou d'améliorer le confort d'usage.



Cellule Economique de Bretagne - 7 bd Solferino - 35000 Rennes

06 40 76 53 96 / 02 99 30 65 54

contact@reseau-breton-batiment-durable.fr

<http://www.reseau-breton-batiment-durable.fr/>



RETOUR D'EXPERIENCE

Maison bioclimatique en Bretagne sud – Surzur (56) Construction neuve

4 Allée de l'Île Berder
56 450 Surzur
Pays de Vannes

Type de bâtiment : Maison individuelle
Année de livraison : 2012
110 m² SHON + 45 m² garage et buanderie

MOA : Benoît MARVAUD
MOE : François Le Bris

Fiche rédigée par : Réseau Breton
Bâtiment Durable



CONTEXTE

Lorsque Benoît Marvaud et sa compagne ont décidé de faire construire leur maison dans un lotissement pavillonnaire de Surzur, ils ont souhaité que leurs convictions écologiques soient retranscrites dans leur future habitation. Malgré leur sensibilité aux problématiques environnementales et de qualité de l'air intérieur, c'est sans connaissance préalable du domaine du bâtiment qu'ils se sont mis à la recherche d'un maître d'œuvre. Au salon « Respire la Vie » (Vannes), à l'occasion d'une conférence, ils rencontrent Francis Le Bris, architecte bioclimatique partageant les mêmes valeurs écologiques. Ensemble, ils élaborent une maison saine, respectueuse de l'environnement, et parfaitement adaptée aux besoins des futurs occupants.

Le projet est marqué par la grande implication des maîtres d'ouvrage qui, en plus de la réflexion menée avec l'architecte, prennent part aux travaux aux côtés de tous les artisans.

OBJECTIF PRIORITAIRE

Construire une maison confortable, facile d'entretien et respectueuse de la santé de ses occupants

DEMARCHE / LABELS / CERTIFICATIONS

Cette maison est soumise à la réglementation thermique RT2005, et elle a obtenu le label BBC-Effinergie®

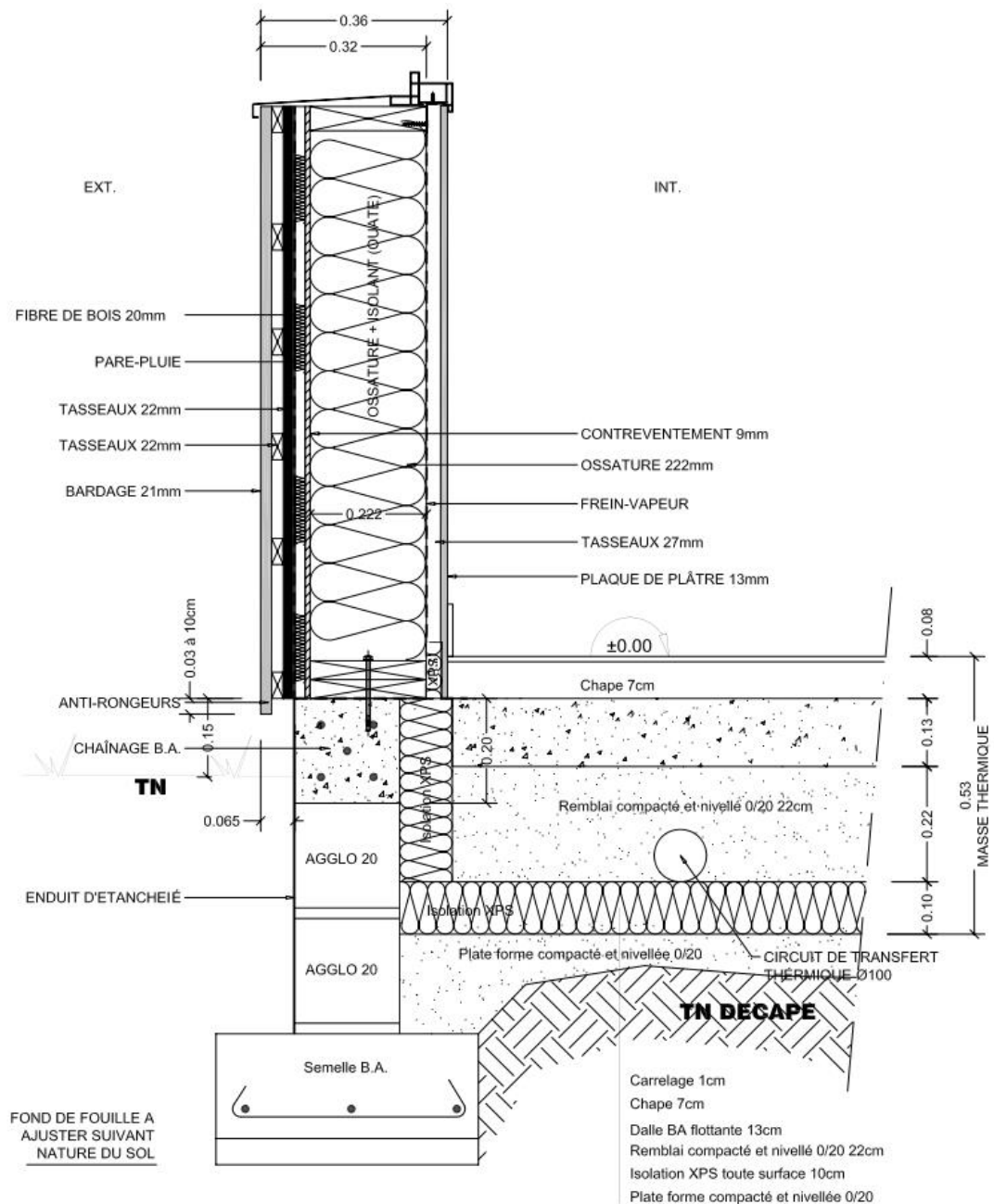
DESCRIPTION

MODE CONSTRUCTIF

La maison est en ossature bois, isolée par 22 cm de ouate de cellulose insufflée complétée par 2 cm de fibre de bois. Un bardage en douglas a été choisi pour la finition des parements extérieurs. La dalle de béton repose sur un remblai de granulométrie 0/20 isolée et accueillant le réseau de transfert thermique (Ce point de détail est traité dans la rubrique Focus Technique).

ENVELOPPE

	Composition (extérieur vers intérieur)	Epaisseur d'isolant (cm)	U (W/m2.K)
Murs extérieurs	bardage douglas / lame d'air ventilée / pare-pluie / fibre de bois / contreventement / ossature bois (8%) et ouate de cellulose insufflée (92%) / frein-vapeur / vide technique / fermacell®	2 / 22	0,187
Murs extérieurs	bardage douglas / lame d'air ventilée / fibre de bois / coffre de volet roulant / fibre de bois	2 / 6	0,454
Plancher bas	polystyrène extrudé / hérison de granulométrie 0/20mm / dalle béton plein / chape / carrelage	10	0,191
Toiture terrasse	ouate de cellulose / fermacell®	28,3	0,138
Toiture rampante	ouate de cellulose / fermacell®	34,3	0,114



Coupe des parois @Marvaud

SYSTEMES

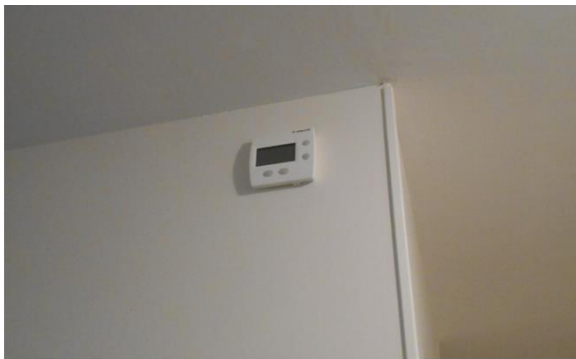
Nature
Chauffage Poêle à bûche
Ventilation VMC simple flux hygro B
ECS Deux panneaux solaires thermiques et un appoint électrique chauffent les 295 litres du ballon

Le poêle à bois a été retenu comme mode de production de chaleur principal car il permet une gestion manuelle du chauffage de la maison, pour la durabilité et la facilité d'entretien de l'ouvrage (les utilisateurs effectuent le ramonage seuls), et pour la possibilité de suivre les consommations en temps réel.

FOCUS TECHNIQUE : « CAPTEUR SOLAIRE BRETON » TRANSFERT ET STOCKAGE DE CHALEUR DANS LA DALLE

Cette maison bioclimatique dispose d'une dalle isolée très massive qui lui confère une grande inertie thermique. Cette dalle a été utilisée pour mettre en œuvre une variante du "Capteur Solaire Breton". Le principe général du Capteur Solaire Breton développé par Francis Le Bris est un transfert de chaleur depuis la toiture vers la dalle. Les calories de l'air récupérées sous la toiture ou dans les combles sont transférées vers la dalle grâce à un réseau de tubes PVC. La dalle restituant ces calories dans le temps et en fonction de la température intérieure. Ici le procédé a été adapté aux caractéristiques de la maison. L'air des chambres de l'étage orientées sud,

chauffé grâce aux importants apports solaires, est capté et circule dans un réseau de tube PVC en profondeur dans la dalle. Il est ensuite restitué dans les pièces du rez-de-chaussée. La dalle accumule la chaleur lors des journées ensoleillées, et la restitue ensuite en agissant comme un plancher chauffant basse température. La ventilation mécanique de ce système est déclenchée par un thermostat à partir d'une température intérieure de 23°C dans les chambres de l'étage. En été, ce système peut être utilisé pour limiter les surchauffes, l'air intérieur étant refroidi en circulant dans la dalle.



Un thermostat déclenche le système à partir de 23°C



L'air chaud est aspiré dans les chambres de l'étage



Il réchauffe la dalle en circulant dans un réseau de tuyaux



L'air est restitué au rez-de-chaussée

Remarque : ce système est une boucle de ventilation fermée, il ne remplace en aucun cas le système de VMC qui renouvelle l'air du logement. De plus, il faut porter une attention particulière au réseau dans lequel circule l'air, afin d'éviter toute accumulation de poussière ou entrée de radon dans le bâtiment.

TERRITOIRE ET SITE

URBANISME

Les propriétaires ont dû faire face à de nombreuses contraintes urbanistiques. Un espacement de 3 mètres par rapport à la rue était imposé par le plan d'occupation des sols (POS, devenu PLU depuis), et a obligé les maîtres d'ouvrage à modifier leurs plans.

La hauteur à l'égout (4,5 mètres) dépassait aussi la valeur limite fixée par le POS (4 mètres). Elle a finalement été acceptée par dérogation du maire de la commune, mais aura tout de même reculé de plus de six mois le dépôt du permis de construire.

FONCIER

Les maîtres d'ouvrage ont choisi de s'installer à Surzur car l'un d'eux y travaille. Ils ont acheté un terrain situé dans la dernière extension d'un lotissement pavillonnaire, une zone où le foncier était alors bon marché (90€/m²).

Deuxièmes sur la liste des acheteurs de ce lotissement, ils ont pu choisir la parcelle qui leur convenait le plus parmi toutes celles qui étaient à pourvoir. Ils ont basé leur choix sur différents critères. La sélection s'est tout d'abord faite avec

Francis Le Bris sur des critères bioclimatiques, en évaluant l'exposition solaire et le positionnement des arbres et des maisons existantes et à venir. Dans un second temps, Dominique Sabot, géobiologue, est venu sur place pour mettre en évidence les zones de rayonnements telluriques, les réseaux Hartmann, les circulations d'eau souterraine et les failles géobiologiques. Le choix définitif du terrain a été fait en croisant les conclusions de ces deux études.

BIOCLIMATISME

La maison a été conçue en respectant les principes bioclimatiques : le terrain a été choisi pour son exposition solaire, la maison est orientée vers le sud et une grande partie de sa façade est vitrée. Cette configuration maximise les apports solaires, qui contribuent au chauffage du logement pendant l'hiver. En revanche, les surchauffes d'été n'ont pas été correctement prises en compte. Il n'y a en effet pas de dispositif limitant les apports solaires directs sans obstruer la lumière naturelle diffuse. Les occupants ferment les volets lors des chaudes journées d'été, mais envisagent d'installer des brises-soleil ou une pergola.

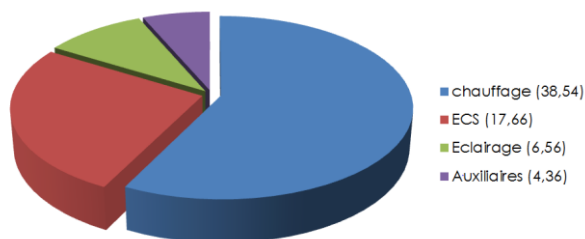
ÉNERGIE / CLIMAT

BESOINS ÉNERGETIQUES

Pour obtenir la labellisation BBC-effinergie, le projet a donné lieu à une étude thermique qui s'appuie sur la méthode de calcul réglementaire TH-C-E. Les consommations simulées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

CEP (kWhEP/m².an)	67,12
Ubât (W/m²)	0,491
Besoins en chauffage (kWhEP/m².an)	38,54

Estimations des consommations d'énergie primaire (kWhEP/m² SHON)



Étanchéité à l'air

Valeur en Q4pa-surf (m³/h/m²)	0,21
Valeur en n50 (vol/h)	1,25

CLIMAT

Les maîtres d'ouvrage ont privilégié des matériaux d'origine locale, afin de limiter au maximum l'impact environnemental de leur transport. Le même critère géographique a été retenu lors du choix des artisans.

MESURE ET EVALUATION

Il est difficile d'être précis dans le suivi des consommations du poêle à bûches. Les occupants estiment cependant utiliser 1/2 corde par an ($\approx 1,6$ stères = $1,6$ m³).

Par ailleurs, le thermostat du ballon d'eau chaude ne permet pas de régler, ni de programmer manuellement la répartition électrique/solaire. Alors que le système propose le réglage manuel de l'appoint électrique, les usagers ne parviennent pas à l'utiliser convenablement.

La température du ballon d'ECS ne correspond donc pas toujours aux besoins des occupants. Le système ne permet pas non plus d'estimer les apports solaires (et donc les gains qui correspondent à l'amortissement de cet investissement), ni les consommations d'électricité de l'installation.

EAU

GESTION DES EAUX DE PLUIE

La maison dispose d'un récupérateur d'eau pluviale qui alimente la chasse d'eau des toilettes, la machine à laver le linge et l'arrivée d'eau extérieure. Il s'agit d'une citerne de béton enterrée de 2,90 m de diamètre et d'1,90 m de hauteur, pour une contenance de 10 000 litres.



Pose du récupérateur d'eau de pluie

CONFORT / SANTE

QUALITE DE L'AIR INTERIEUR

En cours de chantier, le maître d'ouvrage a souhaité mettre en place une mesure de prévention du risque radon. Cette volonté provient d'une initiative personnelle, et le maître d'ouvrage a dû beaucoup se renseigner, sur Internet tout d'abord, puis par la prise de contact avec Christophe Zeilas, un professeur et expert du domaine, et avec Yves Parent, de l'entreprise canadienne Radon Solutions & Rn Services.

La dalle ayant déjà été coulée lors de cette prise de décision, il était impossible d'avoir recours à une solution de ventilation ou de mise en dépression des soubassements. Une membrane d'étanchéité anti-

radon a donc été posée sur la dalle. Cette membrane, qui est généralement installée sous les fondations, assure aussi l'étanchéité à l'eau et aux termites.

Pour éviter que cette membrane ne soit abîmée, elle a dans un premier temps été placée au niveau des murs et des cloisons, en prenant soin de la laisser dépasser. Ce n'est qu'une fois la structure bâtie, juste avant de poser la chape, que le reste de la membrane a été installée. Les raccords ont été faits avec de l'adhésif double face (pour immobiliser la membrane et éviter que le mastic polyuréthane se décolle) et de la colle polyuréthane étanche au gaz.

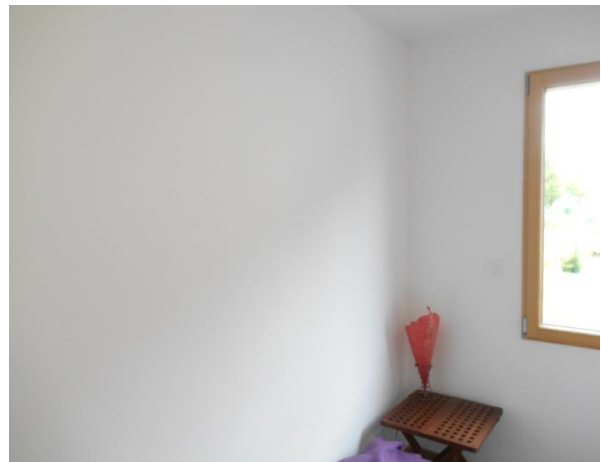


Pose de la membrane au niveau des murs et cloisons. Photo : B.Marvaud ©



Pose du reste de la membrane. Photo : B.Marvaud ©

Au-delà de la gestion du risque radon, la maison emploie des matériaux naturels non traités et des peintures naturelles à base de caséine (fromage blanc) ou aux algues.



Peinture au fromage blanc

ELECTROMAGNETISME

Le terrain sur lequel est bâtie la maison a été sélectionné avec l'aide d'un géobiologue qui a étudié le réseau Hartmann et les courants telluriques des lieux. Il a aussi pris en compte le positionnement des lignes à haute tension et des antennes relais situées à proximité.

Le réseau d'électricité de la maison est biocompatible, c'est à dire qu'il a été conçu pour prévenir les risques que pourraient avoir les ondes électromagnétiques sur la santé des occupants. A ce titre, plusieurs actions ont été mises en place. Premièrement, la maison dispose d'un réseau de communication multimédia utilisant des prises RJ45. Ceci est une alternative à la Wi-Fi pour le transfert des données et l'accès à Internet. La domotique est réduite au minimum et aucun appareil n'est laissé en veille. Enfin, les murs sont ferrillés et reliés à la terre. L'enveloppe de la maison forme ainsi une cage de Faradet qui la protège des champs magnétiques

extérieurs. Cette mesure est particulièrement utile car les maisons à ossature bois sont très exposées aux champs électro-magnétiques notamment à cause de la conductivité naturelle du bois.

CONFORT THERMIQUE D'ETE

Les apports solaires d'été n'ont pas été correctement pris en compte lors de la conception. Seuls les volets roulants assurent l'occultation des pièces principales orientées Sud et largement vitrées. La fermeture de ces volets pour limiter les apports solaires réduit aussi les apports de lumière naturelle, ce qui peut générer un inconfort. La pièce principale du rez-de-chaussée et les deux chambres orientées sud de l'étage sont soumises à d'occasionnelles surchauffes d'été. Le maître d'ouvrage a prévu de poser des brises-soleil ou d'installer une pergola.

EQUILIBRE HYGROTHERMIQUE

Les occupants font part d'un grand confort hygrothermique qu'ils attribuent à la perspiration des matériaux. Dans leur maison, ils se sentent bien à partir de 18°C seulement.

NUISANCE SONORE LIEE AUX EQUIPEMENTS

Les ventilateurs du "capteur solaire breton", décrit dans l'onglet "description" font du bruit dans les deux chambres orientées sud de l'étage, d'où l'air chaud est extrait. Les occupants ont donc décidé de ne pas utiliser ce système pour s'affranchir de la nuisance occasionnée.

SOCIAL / ECONOMIE

COÛT DE CONSTRUCTION

Les coûts ci-dessous ne comprennent pas tous les lots. De plus, le prix total est approximatif car il est difficile d'évaluer le coût des travaux faits en autoconstruction.

Terrain	46 500 €
Maître d'œuvre	14 000 €
Terrassement	7 700 €
Maçonnerie	11 300 €
Ossature bois	63 900 €
Étanchéité	13 200 €
Menuiserie extérieure	20 900 €
Electricité	9 200 €
Récupérateur d'eau de pluie	5 400 €
Carrelage	9 500 €
Plomberie + chauffe-eau solaire	11 500 €
Étude thermique + test d'infiltrométrie + labellisation	1 900 €
TOTAL	~1 650 €/m²

INTERVENANTS

Architecte – maîtrise d'œuvre	François Le Bris
Charpente	Environnement Bois Construction (Grand-Champ – 56)
Maçonnerie	Santerre Habitat (Berric – 56)
Electricité bio-compatible	Alliance Concept Electrique (Péaule – 56)



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Etat : Terminé

Type de travaux : Neuf

Destination : MI secteur diffus

Superficie : 156

Zone climatique : H2a

Suivi des performances : Non

1 ENVELOPPE

MODE CONSTRUCTIF

Structure : Ossature & poteaux poutres (bois/béton/métal/autre)

PAROIS

Murs Nord et Est

Composition : De l'extérieur vers l'intérieur : Bardage horizontal non déligné 2,7cm + lame d'air ventilée et tasseaux 45x25mm + fibre de bois étanche à l'air 5,2cm + fibre de bois 6cm + mur TOT'M bois massif 16,1cm + Fermacell 1cm + terre crue 5cm

Isolation Paroi : ITE

Isolant : Bois (laine, fibre...)

Épaisseur : 11 cm

Finition : Bardage

Murs Sud et Ouest

Composition : De l'extérieur vers l'intérieur : Bardage vertical 2x20cm + lame d'air ventilée et tasseaux 45x25mm + fibre de bois étanche à l'air 5,2cm + fibre de bois 6cm + mur TOT'M bois massif 16,1cm + Fermacell 1cm + terre crue 5cm

Isolation Paroi : ITE

Isolant : Bois (laine, fibre...)

Épaisseur : 11 cm

Finition : Bardage

PLANCHER BAS

Nature : Du bas vers le haut : hérissos 20/40 ventilé par des drains Epandrain D80mm + chape isolante chaux-chanvre 20cm + chape inertielle chaux-sable 14cm + béton d'argile 23 cm. Remarque : La chape inertielle est isolée en périphérie par 40mm de liège.

de 20cm d'épaisseur

Situation du plancher : Terre-plein

MENUISERIES

Vitrage : Double vitrage (Pas de volet. Vitres anti-intrusion au RDC. 60.2/20/6 au Sud, 44.2/20/4 sinon.)

Chassis : Alu

TOITURES

Toiture

Type : Toiture terrasse

Végétalisation : Oui

Composition et performance : Du haut vers le bas : tapis végétal + substrat 8cm + membrane TPO + support Durelis (particules de bois) 2,2cm + lame d'air ventilée + pare pluie + contreventement Durelis 1,2cm + laine de bois/solivage 22cm + vide technique + lambris claire-voie

Isolation : ITR

Isolant 1 : Bois (laine, fibre...)

Épaisseur : 22 cm

2 EQUIPEMENTS

CHAUFFAGE

Poêle à bois

Source : Bois

Type : Individuel

Production : Poêle bois, Insert

Emetteur : Radiateurs

Couplage : ECS

VENTILATIONS

Naturelle

Type : individuel

ECS

Ecs : Solaire

ECLAIRAGE

Eclairage : LED

EQUIPEMENTS DIVERS

Récupérateur d'eau de pluie

Descriptif : L'eau de pluie est captée par deux cuves de 5m3. Elle est au préalable filtrée par la toiture végétalisée.

3 ACTEURS RENCONTRES

BET (autre...)

Entreprise/artisan (lot)

Entreprise/artisan (lot)

Entreprise/artisan (lot)

Entreprise/artisan (lot)

Entreprise/artisan (lot)

Entreprise/artisan (lot)

Entreprise/artisan (lot)

MOA/MOE/Exploitant

Date d'entretien : 16/07/2015



4 EVENEMENTS

LOT TOUS LOTS / HORS LOT

RECOMMANDATION

Apparition : Conception

Description : Le toit n'est pas parallèle au sol.

Type d'impacts évités : Défaut esthétique

Détail impacts évités : Cette architecture permet de minimiser la taille de la façade Est de la maison, à laquelle font face les maisons situées en amont.

Type d'impacts évités : Inconfort acoustique

Détail impacts évités : La façade Sud, entièrement vitrée, et la façade Ouest, aussi très largement vitrée, peuvent poser des problèmes de résonance. L'asymétrie de la structure crée un effet d'entonnoir qui guide les ondes sonores vers l'extérieur du bâti (côté Ouest).

Type d'impacts évités : Inconfort visuel

Détail impacts évités : Le plafond suit la même pente que le toit, et permet ainsi de maximiser la surface vitrée de la façade Ouest, afin d'optimiser les apports solaires.



RECOMMANDATION

Apparition : Conception

Description : Une attention particulière a été portée sur l'intégration du bâtiment dans son environnement.

Un des principaux enjeux de l'architecture de la maison était de minimiser l'impact visuel et de ne pas obstruer la vue sur mer des parcelles amont. Certaines de ces parcelles sont en effet la propriété du maître d'ouvrage de la maison, et sont disponibles à la vente. La maison épouse la pente naturelle du terrain (la partie Sud est légèrement surélevée par rapport au Nord). Le rez-de-chaussée est donc sur deux niveaux, séparés d'environ un mètre de dénivelé. Ainsi, un étage a pu être construit au-dessus de la partie inférieure du rez-de-chaussée sans que la maison n'apparaisse trop "imposante". De plus, l'architecte a veillé à utiliser un bardage horizontal sur la façade Est, pour créer une perception d'aplatissement du volume de la maison.

Type d'impacts évités : Défaut esthétique



RECOMMANDATION

Apparition : Conception

Description : Le bâtiment utilise des matériaux biosourcés, locaux et non traités : fibre de bois, bois massif, chanvre, liège, terre crue. La fibre de bois est fournie par Tanguy Matériaux et est d'origine bretonne. Le châtaigner utilisé pour le bardage vient de la scierie Rahuel, localisée à Combours (35). Cette essence a été sélectionnée car, en plus de rappeler l'architecture des ateliers de charpente navale, elle offre une bonne résistance à la salinité du climat marin.

Type d'impacts évités : Impact environnemental (déchets, pollutions)

LOT CHARPENTE / COUVERTURE / TOITURE

Toiture terrasse

DYSFONCTIONNEMENT

Apparition : 1ère année d'exploitation

Description : Lorsqu'il pleut à verse, une fine couche d'eau se forme sur la toiture-terrasse. Soumise aux forts vents de la mer, cette eau vient s'accumuler contre l'acrotère et remonte sous le bardage.

Origine : Défaut de conception

Type d'impact : Défaut d'étanchéité à l'eau

Détail impact : Il est possible que l'eau s'infilte par derrière le bardage.



Toiture végétalisée

DIFFICULTÉ

Apparition : Conception

Description : La toiture végétalisée ne dispose que de 8 cm de hauteur de substrat, ce qui est insuffisant pour irriguer les plantes en période estivale.

Origine : Défaut de conception

Type d'impact : Risque pour la durabilité de l'élément

Détail impact : Pendant l'été, la toiture n'est pas entièrement recouverte de végétation.



RECOMMANDATION

Apparition : Conception

Description : La maison dispose d'une toiture végétalisée extensive. Les périodes de floraison des essences sélectionnées sont complémentaires, de manière à ce qu'elles se relayent tout au long de l'année. Cette toiture végétalisée sert de pré-filtre avant que l'eau de pluie ne soit récupérée.

Type d'impacts évités : Inconfort acoustique

Détail impacts évités : L'objectif premier de la toiture végétalisée était de réduire le martèlement de la pluie sur le toit horizontal.

Type d'impacts évités : Défaut esthétique

Détail impacts évités : La toiture végétalisée permet une meilleure intégration paysagère de la maison en assurant une continuité végétale avec son environnement. Les espèces plantées ont été sélectionnées localement.



Acrotère

DYSFONCTIONNEMENT

Apparition : Mise en oeuvre

Description : Défaut d'étanchéité au niveau de deux couvertines. Une infiltration est apparue en début de chantier. L'étanchéité a été rétablie mais il semble qu'il reste des infiltrations au niveau d'une menuiserie.

Origine : Défaut d'exécution

Type d'impact : Défaut d'étanchéité à l'eau



LOT MENUISERIE / OCCULTATION

Fenêtre & porte-fenêtre double vitrage (PVC, Bois, Alu, Mixte...)

DYSFONCTIONNEMENT

Apparition : 1ère année d'exploitation

Description : La maison ne disposant pas de volets, les vitres du rez-de-chaussez sont renforcées et garanties anti-intrusion. Les menuiseries de l'étage sont quant à elles de simples double-vitrages 44.2/20/4. Elles sont exposées plein Ouest et sont directement soumises aux régulières tempêtes hivernales. Lors des multiples tempêtes de l'hiver 2013, dont les vents ont atteint des vitesses de plus de 130km/h, les menuiseries de l'étage se sont déformées et ont bruyamment vibré. Les vitres n'ont pas été dimensionnées pour faire face à ce type d'aléa climatique et menacent de se briser.

Origine : Caractéristiques propres au produit

Type d'impact : Risque pour la durabilité de l'élément

Détail impact : Les vitres menacent de se briser. Ceci peut-être dangereux si quelqu'un se trouve derrière à ce moment.

Solution correctrice : Le maître d'oeuvre et en discussion avec l'artisan menuisier pour les faire remplacer.

Solution correctrice : Le maître d'oeuvre et en discussion avec l'artisan menuisier pour les faire remplacer.

**LOT ISOLATION & Etanchéité à l'air****Isolation parties enterrées****DIFFICULTÉ**

Apparition : Conception

Description : La chape inertielle est isolée en périphérie par 4 cm de liège. Cette isolation périphérique est située à l'intérieur des murs. Le décalage entre cette isolation et celle des murs crée un pont thermique à l'interface sol/bâti.

Origine : Défaut de conception

Type d'impact : Perte de performance enveloppe

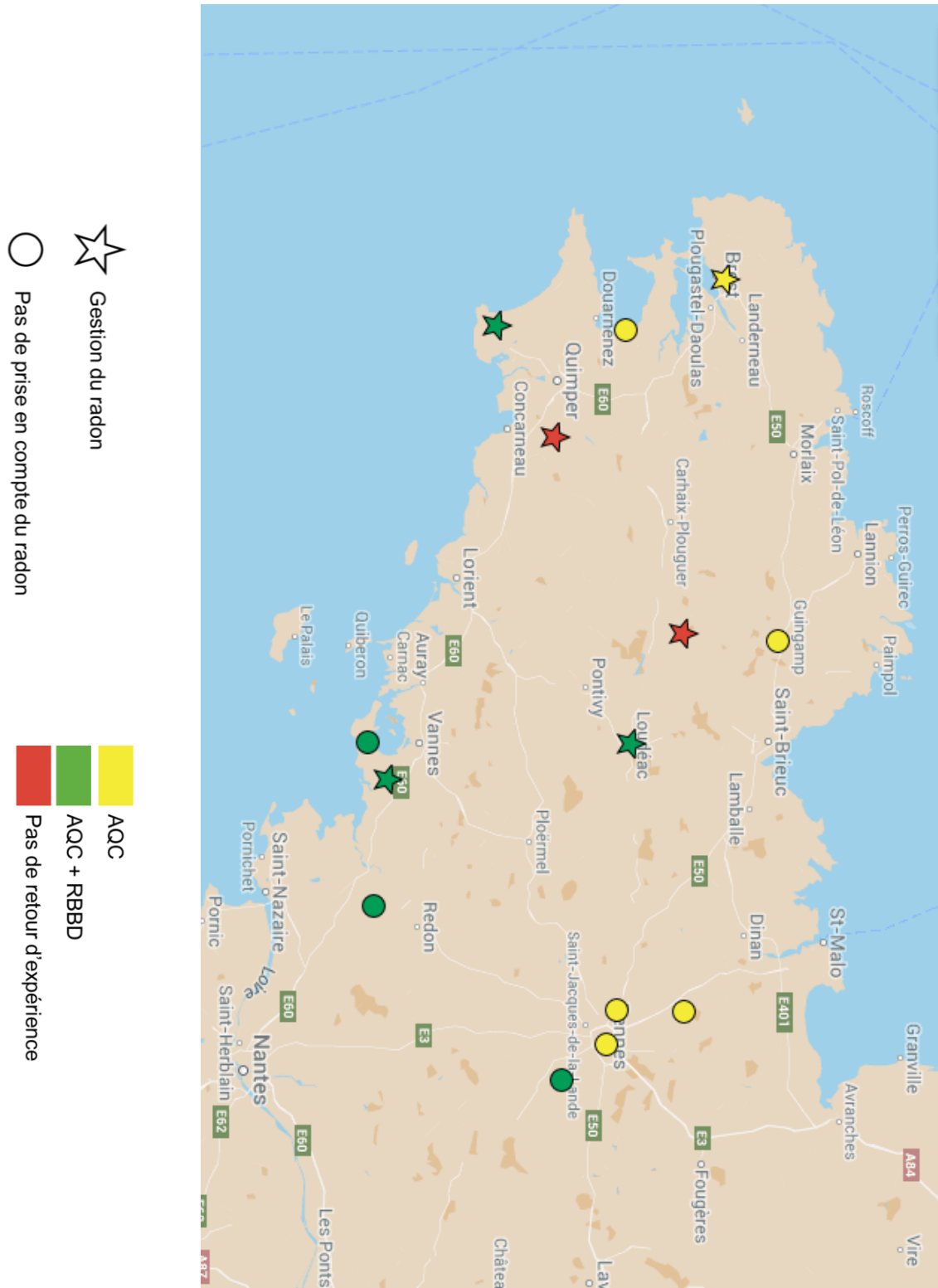
Détail impact : En plus des pertes énergétiques, le pont thermique peut éventuellement entraîner des problèmes de condensation.

Remarque : Ce pont thermique aurait facilement pu être évité en construisant le mur à cheval sur les fondations et sur l'isolant périphérique de la chape.



5 - Carte des bâtiments visités

Opérations visitées au 7 Octobre 2015



6 - Outil tableur « contacts »

Nom	Préno	Projet	Statu	Détail	A	Structur	Projet	Détail	Rôle	Téléphone	Mail	Adress	Conl	Par	Date
Noyon	Claudine		OK	Documents reçus		ARS - DT29	info radon			02 98 64 50 85	claudine.noyon@ars.sante.fr	5 Venelle de Kergos - Quimper	OUI	mail	19-juin
Collignan	Bernard		A relancer	A recontacter en Septembre pour formaliser le partenariat	05-sept	CSTB	info radon			04 76 76 25 93 06 28 79 84 65	bernard.collignan@cstb.fr		OUI	Téléphone	08-juil
Sicot	Vincent	EHPAD les Genêts - Bannalec (29)	A relancer	courriel envoyé le 10/08	02-sept	Habitat 29	radon unique	19 dosimètres posés en 2013 : moyenne la plus élevée des zones homogènes : 2350Bq/m3, moyenne totale >1000 Bq/m3. Extension et réhabilitation intégrant le radon en cours (livraison prévue fin 2015)	MOA : bailleur social en charge de la gestion du bâtiment. Vincent Sicot : responsable du service entretien	02 98 95 37 25 (agence Habitat 29) - V. Sicot 02 98 95 37 25	vsicot@habitat29.fr		OUI	téléphone + mail	10-août
Lebris	Francis	Maison de Benoît Marvaud (Surzur)	A relancer	Contact téléphonique + mail	28-août	Francis Lebris architecture	projet radon	Construction neuve, prise en compte du radon	MOE	02 97 24 60 81	contact@synthesecco.fr	Saint Eloi - 56 550 Locol-Mendon	NON		
Herry	André	Gymnase de l'Europe (Pen Ar Stréat)	En attente	documents demandés	20-sept	Brest Métropole Océane/Ville de Brest - Direction	radon unique	Construction neuve, prévention radon assurée par PARAD. http://www.ddl-architectes.com/gymnase-de-leurope/	MOA	02 98 34 26 68 06 87 83 07 25	andre.herry@brest-metropole.fr - bruno.cordat@brest-metropole.fr		OUI	mail + téléphone	03-juil

POTELON

Antonin

9 Novembre 2015

Mastère spécialisé IMR-SET

Promotion 2014/2015

Comment la problématique du radon est-elle prise en compte par les acteurs de la construction en Bretagne ?

Réseau Breton Bâtiment Durable

Résumé :

Deuxième cause de cancer du poumon en France, et responsable de 20% des cas en Bretagne, le radon constitue un problème de santé publique majeur, et est pourtant négligé du grand public comme des acteurs de la construction.

Cette mission professionnelle vise à dresser un état des lieux de la situation en Bretagne, des méthodes de prévention et de remédiation du risque radon, et de la prise en compte de la problématique par le grand public et les professionnels du bâtiment. Ce travail se base sur une enquête de terrain, avec visites de bâtiments, rencontres des acteurs de leur construction, et entretien avec des professionnels de la santé et experts de la thématique radon.

Après un rappel de ce qu'est le radon, de son comportement dans le sol, de son infiltration dans le bâtiment, des problèmes sanitaires qu'il engendre et du cadre réglementaire et normatif existant ; les solutions de lutte contre le radon les plus fréquemment rencontrées sont présentées, ainsi que les difficultés encourues dans leur mise en œuvre et les bonnes pratiques pour les éviter. Une classification de ces méthodes et un outil d'aide à la décision sont ensuite proposés. Enfin, les principaux freins à la prise en compte efficace et systématique du radon dans les projets de construction et de rénovation sont mis en exergue, et des leviers d'action sont proposés pour y remédier.

Ce travail donne lieu à la rédaction de deux rapports thématiques, qui seront respectivement distribués par l'ADEME et par le Réseau Breton Bâtiment Durable aux acteurs de la construction. Il constituera aussi le socle scientifique et technique d'un groupe de travail que le Réseau Breton Bâtiment Durable animera sur la thématique du radon.

Mots clés :

radon prévention remédiation bâtiment construction sensibilisation Bretagne

L'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

POTELON

Antonin

November 9th 2015

Mastère spécialisé IMR-SET

Year 2014/2015

How is radon health hazard taken into account by building professionals in Brittany?

Réseau Breton Bâtiment Durable

Abstract :

Radon, which is the second leading cause of lung cancer and is estimated to be responsible for 20% of all lung cancer occurrences in Brittany, is a major public health hazard. Yet it is commonly disregarded by the general public as well as building professionals.

The aim of this work is to take stock of the situation in Brittany, of the prevention and mitigation methods, and of general public and professionals' awareness of this matter. This study is based on a field survey, including building visits, interviews with building and public health professionals, and radon experts.

After reminding what radon is, how it behaves underground and enters buildings, the effects it has on human health and how it is regulated in France; this document presents the most commonly encountered prevention and mitigation methods, and the usual difficulties met in applying them. It introduces the good practices to avoid those difficulties, and a classification of these methods that may be helpful in decision-making.

The main obstacles to radon being systematically taken into account in construction projects are then discussed, and some levers to overcome them are suggested.

The results of this work will be published in two thematic reports, respectively distributed by the ADEME and Réseau Breton Bâtiment Durable. It will also contribute to a "radon group work" lead by Réseau Breton Bâtiment Durable.

Mots clés :

radon prevention mitigation building awareness Brittany

L'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.