

**Zeitschrift:** Tracés : bulletin technique de la Suisse romande  
**Herausgeber:** Société suisse des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 136 (2010)  
**Heft:** 05/06: Protections

**Artikel:** Géologie et santé publique : contamination au radon  
**Autor:** Parriaux, Aurèle / Turberg, Pascal / Gandolla, Mauro  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-109661>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Géologie et santé publique : contamination au **radon**

RISQUES

**La contamination au radon concerne de vastes territoires sur notre planète. Elle affecte les êtres humains jusque dans leur lieu de vie, et devient ainsi un problème touchant à la santé publique. Il est aujourd'hui évident que les émissions de radon trouvent leur origine dans les substrats géologiques, ce qui rend possible une première évaluation des zones à risque à partir de cartes.**

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle qui peut provoquer des cancers du poumon. En fait, ce n'est pas le radon lui-même qui irradie les tissus vivants, mais surtout les éléments « fils » qu'il génère au cours de sa désintégration : présents à l'état de microparticules solides, ces éléments restent adsorbés aux cellules et poursuivent leur action destructrice [4]<sup>1</sup>. Depuis la fin du siècle passé, suite aux travaux de chercheurs pionniers comme Surbeck [6], les offices cantonaux chargés de la surveillance de la radioactivité ont identifié ce risque et ont mis en place des campagnes de mesure pour dresser des cartes des régions plus ou moins menacées par cette nuisance. L'observation de ces cartes d'émission de radon révèle d'emblée une nette corrélation avec la géologie du territoire. En Suisse, la carte éditée par l'Office fédéral de

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article

la santé publique (fig. 5) l'illustre bien : ce sont surtout les régions des massifs cristallins alpins et les massifs karstiques (essentiellement le Jura) qui sont concernés.

## Origine d'un phénomène naturel

Le radon se forme dans le cadre du processus de désintégration de l'uranium. Ce dernier s'est formé lors de la nucléosynthèse initiale de l'Univers, au cours de la forte ascension thermique qui a précédé l'explosion des supernovas (fig. 1).

La position du radon dans la chaîne de désintégration de l'uranium 238 est doublement intéressante, puisqu'on observe qu'il constitue une anomalie gazeuse dans un cortège d'éléments solides et que sa demi-vie est plus courte que celle de la plupart des autres éléments de la chaîne à laquelle il appartient (fig. 4). Cette double particularité conditionne la production naturelle et la localisation du radon sur la Terre :

- le radon est beaucoup plus mobile que les autres éléments de la chaîne de désintégration de l'uranium : on peut avoir un flux important de radon dès que l'on a un flux important d'un vecteur qui le transporte en solution (l'air dans la zone non saturée ou de l'eau souterraine) ;
- le fait qu'il disparaît presque totalement après une vingtaine de jours fait qu'il ne peut pas parcourir de très grandes distances dans le sous-sol.

Ces deux critères sont en fait un peu paradoxaux, puisqu'un gaz peut migrer rapidement dans un milieu perméable, une situation dont on verra l'importance à propos des massifs calcaires. En effet, si les émissions à partir de massifs cristallins s'expliquent aisément par l'abondance d'uranium dans les roches magmatiques, la production de radon dans les calcaires karstifiés est moins évidente à comprendre.

## Un risque difficile à localiser

Puisque le radon est un gaz, et donc par définition mobile, il n'est pas facile de le localiser et de définir les zones qui présentent des risques pour l'humain : c'est en effet à des flux de radon que l'on est exposé. En plus de son rôle dans la production du radon, la géologie influence aussi sa diffusion, par le biais de la perméabilité du milieu. En d'autres termes,

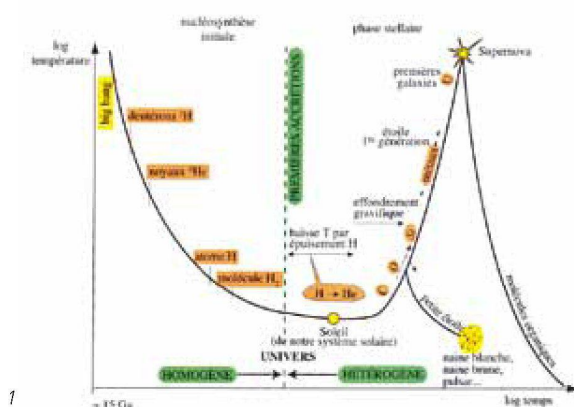


Fig. 1 : Formation de l'uranium dans l'Univers par la nucléosynthèse initiale [4]

Fig. 2 : Carte géologique simplifiée de la Suisse. (1) Bassin détritico tertiaire (S), (2) Alpes méridionales (S+M+P), (3) Jura (S), (4) Sédiments autochtones et helvétiques (S), (5) Nappes penniques (M+S), (6) Nappes austro-alpines (S+M), (7) Massifs cristallins centraux (M+P), (8) Massifs plutoniques alpins et postalpines (P). S : sédiments. M : métamorphique. P : plutonique. Reproduit avec l'autorisation de Swisstopo

Fig. 3 : Formes de porosité agissant sur la possibilité de conduire des flux de radon. (a) d'interstices des terrains meubles; (a') d'interstices des roches détritiques (1 sur fig. 2); (b) de fissure (2, 4, 5, 6 et 7 sur fig. 2); (c et c') porosité de chenaux ou karstique (2, 3 et 4 sur fig. 2) [5].

Fig. 4 : Désintégration de l'uranium 238 en plomb 206, en passant par le radon, unique isotope gazeux

Fig. 5 : Le radon en Suisse : situation actuelle (à gauche), évolution prévisible (à droite)

deux conditions doivent être remplies pour avoir un risque important :

- avoir une source de production,
- avoir un milieu perméable qui favorise le cheminement d'un flux dans la géosphère.

Le cheminement du radon se fait essentiellement sous forme libre, dans les zones non saturées des terrains. Sa circulation peut aussi se faire après dissolution dans les eaux souterraines qui, selon la perméabilité du terrain, sont un autre vecteur de transport possible au sein de la géosphère. La perméabilité dépendant de la forme de porosité (fig. 5), c'est la porosité karstique qui, comme nous le verrons par la suite, offre les vitesses d'écoulement les plus élevées.

A noter qu'en matière de radon, il faut ajouter à cette exposition naturelle celle provenant de géomatériaux produits dans des carrières de roches uranifères. Là aussi, deux facteurs sont déterminants :

- la concentration en uranium dans la roche utilisée pour les granulats,
- le rapport surface/volume du granulat, qui se traduit par une augmentation de la dispersion du radon dans l'air ambiant lorsque la granulométrie devient plus fine.

Le rôle de ces deux facteurs a notamment été mis en évidence au Tessin par le biais de mesures de radon à un mètre de profondeur dans différents tas de granulats destinés à la construction (fig. 6). Les granulats testés sont un mélange à parts variables d'alluvions de pétrographie diverse et de concassé de porphyre (roche effusive rose exploitée à Cuasso al Monte contenant des minéraux uranifères dont la zeurerite  $Cu(UO_2)_2 \cdot (AsO_4)_2 \cdot 12H_2O$ , [2]). On a constaté que les deux facteurs principaux qui agissent sur la concentration en radon sont la teneur en porphyre et la finesse de la granulométrie. La figure 6 montre aussi que les teneurs en radon peuvent être très variables puisque, dans cette collection de granulats, la teneur varie de 90 (dominante mélange alluvial) à 33 000 Bq/m<sup>3</sup> (dominante porphyre).

Ces observations nous conduisent à penser qu'un granulat devrait être caractérisé, en plus des paramètres techniques usuels, par sa composition pétrographique et son émission en radon.

### Du radon dans le karst

On a eu passablement de difficultés à comprendre la forte présence de radon mesurée à partir des années 90 dans les zones karstiques du Jura. En effet, les calcaires étant connus comme très pauvres en uranium, la question était de savoir d'où provenait le radon détecté. On a commencé par penser que c'était du radon qui, à la faveur d'accidents tectoniques,

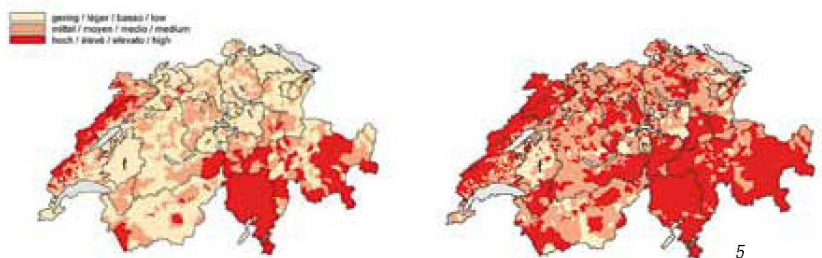
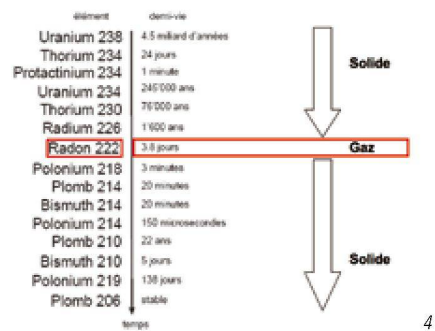
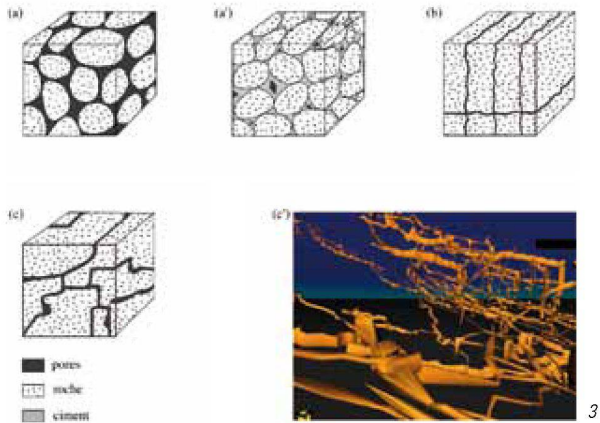


Fig. 6 : Mesures de radon sur des granulats au Tessin. Les mélanges 5 et 7 sont particulièrement riches en porphyre. Le tas 7, fait de concassé non lavé riche en fines, présente la concentration maximale. Le sable 0-8 mm du tas 2 présente une concentration huit fois supérieure à celle du même matériau présent sous forme de gravier 16-32 mm dans le tas 4, soulignant l'importance de la granularité.

Fig. 7 : Schéma de la production et de la dissémination du radon dans le karst jurassien, avec détails des phénomènes.

Fig. 8 : Report des valeurs de radon mesurées à divers endroits de constructions existantes par le canton de Neuchâtel (en rouge) avec lignes d'interpolation en bleu. On note une très forte anomalie au centre de la plaine. Toutes les formations en couleur représentent essentiellement des calcaires. La partie blanche correspond aux dépôts de remplissage quaternaires. (Fond géologique de la carte de l'Atlas géologique de la Suisse, feuille 1143 [5]. Reproduit avec l'autorisation de Swisstopo)

remontait depuis les roches cristallines profondes sous le Jura. Mais la fugacité du radon contredisait cette hypothèse : une telle remontée prend du temps, car elle s'opère par des cheminements peu perméables depuis de grandes profondeurs.

C'est finalement par l'analyse de prélèvements de la couverture pédologique<sup>2</sup> que l'on a compris le phénomène (voir par exemple [7]). Durant l'Holocène, soit au cours des 15 000 ans qui ont suivi la dernière grande glaciation, le Jura a subi une importante ablation rocheuse par dissolution karstique (fig. 7) : dans certaines zones, ce sont des dizaines de mètres d'épaisseur de calcaire qui ont été emportées en solution dans les eaux souterraines. Comme ces calcaires contiennent quelques composants insolubles – surtout les argiles, les résidus se sont accumulés au niveau de la couverture pédologique. Ces sols résiduels ont piégé l'uranium (<sup>238</sup>U) peu mobile et ses filles (<sup>234</sup>U, <sup>230</sup>Th et <sup>226</sup>Ra) grâce aux particules fortement adsorbantes qu'ils contiennent (notamment les hydroxydes de fer et de manganèse). C'est cette véritable « éponge » imbibée d'éléments radioactifs qui engendre la production de radon.

Une partie de l'uranium fixé dans la couverture pédologique est dissout par les eaux souterraines sous forme ionique U<sup>+6</sup>. Il percole vers les profondeurs pour ensuite circuler à faible concentration dans les nappes karstiques. Le radon (gazeux) provenant de cet uranium va principalement diffuser dans les conduits karstiques de l'épaisse zone non saturée du karst, au gré des variations de pression atmosphériques à la surface et des fluctuations du niveau de la nappe. Les dolines, qui correspondent à des affleurements de conduits karstiques, peuvent dès lors présenter de forts flux de radon en raison de leur perméabilité. Le fait qu'elles sont aussi un lieu de forte accumulation des résidus fins porteurs d'uranium et de ses filles renforce encore le phénomène, puisque le rapport surface - volume élevé des particules est propice aux émissions de radon.

### Données de terrain et cartes géologiques

La commune de La-Chaux-du-Milieu a été sélectionnée comme terrain expérimental à l'occasion d'un cours de formation continue sur le radon organisé à l'EPFL en 2009 avec la SIA. Des mesures de radon ont été effectuées sur plusieurs sites construits ou à construire, ainsi que sur les puits - galeries de captage de la commune. Ces mesures ont été comparées à la carte géologique n° 1143 de l'Atlas géologique de la

Suisse. Des mesures réalisées auparavant par le canton de Neuchâtel ont en outre été ajoutées.

La corrélation entre les données géologiques et les mesures de radon est excellente pour la plupart des sites (fig. 8). Les valeurs les plus élevées coïncident effectivement avec les affleurements de calcaire – soit du Malm, soit du Crétacé. En revanche, les valeurs basses correspondent aux zones marneuses ou recouvertes de dépôts quaternaires.

Toutefois, quelques cas nous ont interloqués en présentant des valeurs très hautes en radon alors que la carte géologique n'indiquait que des terrains de remplissage quaternaires. Un examen géologique spécifique a été entrepris sur un de ces sites d'anomalie et a révélé qu'en fait, la roche calcaire était probablement présente à très faible profondeur, des petites dépressions topographiques laissant supposer la présence d'une doline sous la couverture. Des mesures de résistivité électriques par RMT<sup>3</sup> ont été également entreprises et confirment bien cette hypothèse (fig. 9). Lorsque l'on sait que les dolines sont liées aux conduits karstiques majeurs, on n'est donc pas surpris d'obtenir de fortes anomalies en radon en ces points. Des mesures de radon effectuées ultérieurement sur ces dolines ont confirmé la chose.

Cette étude détaillée, très brièvement présentée ici, a aussi permis de conclure qu'une absence de corrélation directe entre la carte géologique et les mesures de radon ne signifie pas qu'il n'y ait pas d'explication géologique à la présence du gaz. Cette absence tend en fait plutôt à montrer que le détail des conditions géologiques locales n'est pas toujours assez bien décrit sur une carte géologique au 1/25 000<sup>4</sup>. L'établissement des corrélations passe par un examen géologique spécifique à un niveau de détail supérieur, complété le cas échéant par quelques mesures géophysiques simples et peu coûteuses ou des reconnaissances locales à proximité immédiate de la future construction.

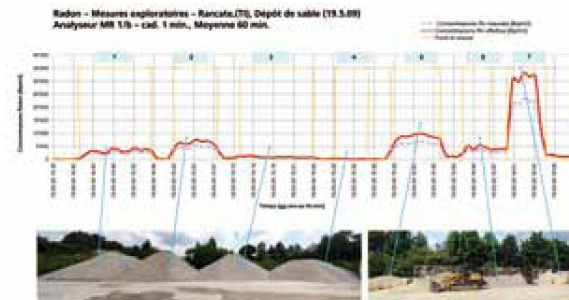
### Représentativité des mesures de radon

Les mesures effectuées dans les programmes de prévention par les autorités sanitaires montrent souvent de très fortes variabilités spatiales, à priori déconcertantes pour qui veut en analyser la cohérence. Il faut cependant savoir que le résultat de la mesure dépend fortement de la structure de la maison qui est testée. La plupart des analyses sont effectuées au rez-de-chaussée, plus rarement au sous-sol, plus rarement encore dans le terrain. Les mesures au rez-de-chaussée seront différentes s'il existe un sous-sol ou pas, s'il existe un vide sanitaire, si ce dernier est ouvert ou fermé, si un radier étanche a été construit etc. Elles ont donc une valeur sanitaire, mais ne correspondent pas forcément à

<sup>2</sup> Sol qui recouvre le milieu géologique

<sup>3</sup> Radio-magnéto-tellurisme : méthode géophysique qui permet de détecter la nature des terrains sous la surface.

<sup>4</sup> Etablie en 1910, la carte utilisée dans le cas présent est donc devenue centenaire cette année.



6

l'émission en radon de la zone. Deux conséquences pratiques dans l'analyse des corrélations avec la nature du substrat peuvent ainsi être émises :

- lorsque les teneurs en radon sont élevées, on peut les retenir comme assez représentatives du site naturel, ceci quelle que soit la position du point de mesure dans le bâtiment;
- la présence de valeurs faibles ne signifie pas forcément que la zone est peu productive de radon.

Pour une « exploitation géologique », ce sont bien sûr les mesures du terrain qui seraient les plus fiables.

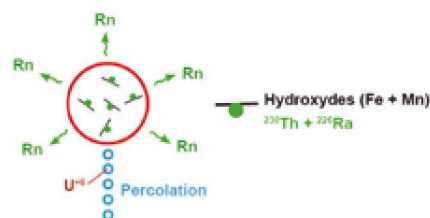
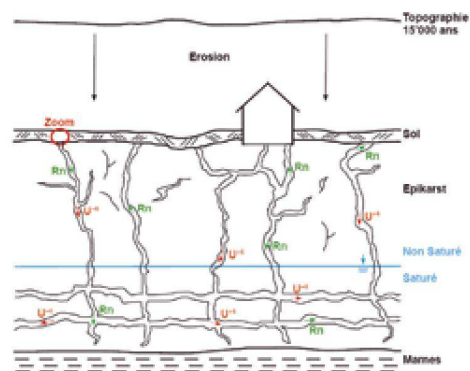
### Corrélation entre géologie et risque radon

Dans la grande diversité de substrats géologiques qui forment la Suisse, il est globalement possible d'évaluer le « potentiel radon » des sites en distinguant les terrains selon leur homogénéité.

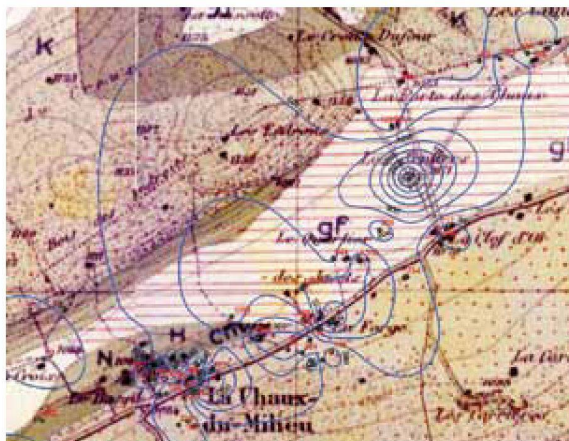
#### Terrains homogènes

Les zones les plus dangereuses appartiennent aux terrains dits homogènes. Ce sont des roches ou des terrains meubles qui présentent une certaine homogénéité de composition. Elles comprennent la plupart des roches, à l'exception de celles issues d'un vaste mélange de particules de différentes origines, en particulier les roches détritiques. Les plus productrices de radon sont celles qui contiennent des quantités importantes d'uranium sous forme des différents minéraux uranifères (uraninite, pechblende, autunite, etc.) : ce sont d'abord les roches magmatiques felsiques comme le granite mais également des orthogneiss et des filons hydrothermaux qu'on retrouve dans d'autres roches métamorphiques. Les roches carbonatées (calcaires, dolomies), bien que peu productives en elles-mêmes, forment une autre classe de roches homogènes dangereuses en raison de leur altération et leur perméabilité (voir explication ci-dessus concernant le karst). Les roches argileuses riches en matière organique peuvent également poser problème, mais elles sont peu fréquentes en Suisse, à part dans le Carbonifère. Toutes les autres roches homogènes présentent des risques plus modérés.

Les terrains meubles de couverture dits autochtones – c'est-à-dire formés de constituants rocheux locaux peu variés – peuvent aussi présenter une certaine homogénéité de constitution, comme c'est le cas pour certains complexes alluviaux ou morainiques. Si leurs constituants homogènes comprennent des roches uranifères, ils risquent alors d'être de forts émetteurs de radon, notamment en raison de leur caractère granulaire qui conduit à un rapport surface/volume supérieur à celui rencontré dans une roche massive.



7



8

Il convient encore de mentionner le rôle important des accidents tectoniques dont l'effet est double. Ils augmentent d'une part sensiblement la perméabilité des roches et peuvent d'autre part favoriser la montée de fluides hydrothermaux profonds. Si l'on intègre tous ces facteurs de risques, il n'est pas surprenant que le Tessin (roches felsiques, karst, accidents tectoniques majeurs) soit un des cantons suisses les plus concernés par la problématique du radon.

#### Terrains issus d'un mélange

Les roches détritiques liées à des grands bassins, comme la molasse par exemple, reçoivent des apports minéraux tellement diversifiés qu'il n'y a aucun risque qu'ils présentent

Fig 9: Mesures de résistivité électrique au travers de la plaine de La Chaux-du-Milieu. La maison fortement exposée au radon correspond à un pointement de calcaires détectable par deux petites dolines et vérifié par les hautes résistivités. (Mesures Turberg, GEOLEP. Reproduit avec l'autorisation de Swisstopo).

(Sauf mention, tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs.)

d'anomalie radioactive. Les éventuels minéraux uranifères sont noyés dans la masse par le processus sédimentaire lui-même. Comme la perméabilité de ces roches est généralement faible, le risque radon est très réduit. C'est typiquement le cas du Plateau suisse qui est essentiellement composé de molasses. Les couvertures meubles allochtones, comme les alluvions des grandes plaines ou les moraines des grands appareils glaciaires révèlent les mêmes propriétés que les roches détritiques.

### Conséquence pratiques

La géologie de la Suisse fait que de vastes régions sont particulièrement concernées par les émissions de radon. D'un point de vue légal, il est vraisemblable que les lois en vigueur en Suisse, qui datent de 1994, subissent une révision visant à intégrer les nouvelles connaissances ainsi que les recommandations de l'OMS et de l'UE. Il faut donc s'attendre à une forte réduction des valeurs limites (fig. 5). Cela signifie que les professionnels de la construction, ingénieurs et architectes en première ligne, seront appelés à garantir des constructions avec des concentrations maximales admissibles en radon correspondant à moins du tiers des valeurs limites actuelles.

La connaissance des processus complexes qui lient la géologie à la répartition spatiale du risque radon dans le territoire est fondamentale pour hiérarchiser les actions de prévention contre cet important risque en matière santé publique. Les expérimentations qui ont été faites sur le terrain à l'occasion du cours radon EPFL-SIA en 2009, ainsi que celui récemment organisé en collaboration avec l'USI (Università della Svizzera Italiana - Accademia di architettura), permettent aussi de préciser le degré de détail des reconnaissances géologiques

nécessaires [1]. Globalement, on peut déjà tirer les conclusions suivantes :

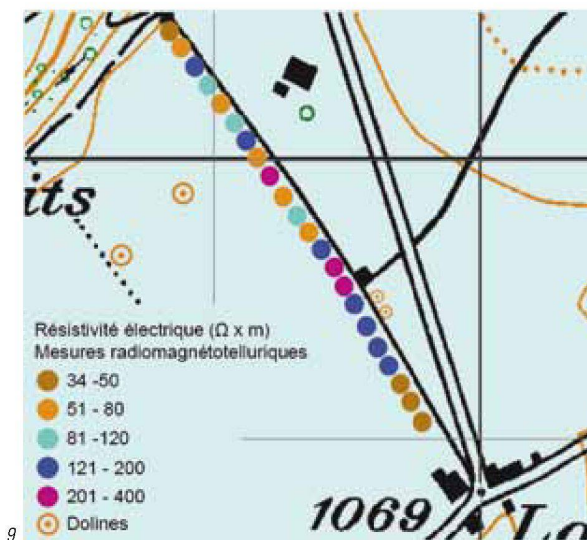
- il y a une bonne corrélation entre les teneurs en radon et la géologie prise dans son sens large (nature du substrat rocheux, terrains meubles, couverture pédologique, perméabilité à l'eau et aux gaz);
- une bonne observation de la géologie locale permet un pronostic fiable dans la majeure partie des cas;
- une carte géologique ne suffit pas à décrire toutes les subtilités géologiques locales du terrain et des mesures de radon in situ sont nécessaires; il serait souhaitable d'adapter le volume des mesures au risque potentiel défini à partir de la seule géologie;
- la corrélation entre la géologie et la présence de radon pourrait être encore améliorée par une préconisation de mesures plus systématiques dans le terrain.

En matière d'aménagement du territoire et de normes de construction, les géologues pourront contribuer à mieux définir les zones potentiellement dangereuses en matière de radon.

Au niveau constructif, on pourrait proposer l'exécution d'analyses préliminaires dans les terrains pour mieux définir les contre-mesures (drainage des gaz, étanchements, etc.) à prévoir dans les projets et lors de l'exécution. Au niveau des matériaux, il serait utile de qualifier les granulats aussi en fonction de leurs émissions de radon : ceci pourrait influencer soit le choix du liant (ciment et additifs), soit les lieux d'application (parois internes, mur externes).

Aurèle Parriaux, prof. dr géologue  
 Pascal Turberg, dr géologue  
 Laboratoire de géologie de l'ingénieur et de l'environnement (GEOLEP)  
 EPFL ENAC IIC GEOLEP, GC B1 383 (Bâtiment GC)  
 Station 18, CH – 1015 Lausanne

Mauro Gandolla, ing. mécanicien EPFZ  
 ECONS SA  
 Via Stazione 19, CH – 6934 Bioggio



### Bibliographie

- [1] GANDOLLA M., (2007 – 2009): Notes de cours *Edificazione in presenza di gas sotterranei – Radon e biogas*, Accademia di architettura – Università della Svizzera Italiana
- [2] GUASTONI, A., PEZZOTTA, F., VIGNOLA, P., & GENTILE, P. (2008): « Zeunerite e altre novità mineralogiche a Cuasso al Monte ». *Rivista Mineralogica Italiana*, 3/2008, 174-177
- [4] PARRIAUX A., (2009): *Géologie: Bases pour l'ingénieur*, 2<sup>e</sup> édition, PPUR, Lausanne
- [5] ROLLIER L., FAVRE J., (1910): Carte géologique des environs du Locle et de La Chaux de Fonds, Matériaux pour la Carte géologique de la Suisse, carte spéciale n° 59, Commission géologique suisse
- [6] SURBECK, H. (1992): « Nature and extent of a <sup>226</sup>Ra anomaly in the western Swiss Jura Mountains », In *Proc. 1992 Int. Symp. On Radon and Radon Reduction Technology*, EPA-Report EPA-600/R-93-0836, NTIS PB93-296202, U.S.EPA, Washington DC, p. 8-19
- [7] VON GUNTEN H. R., SURBECK H., RÖSSLER E., (1996): « Uranium Series Disequilibrium and High Thorium and Radium Enrichments in Karst Formations », *Environmental Science and Technology*, vol. 30, n° 4