Version du 8 juin 2020

RADIOACTIVITÉ NATURELLE DES PRODUITS DE CONSTRUCTION

Recommandations pour l'application pratique des dispositions réglementaires

UNICEM

FÉDÉRATION DE L'INDUSTRIE DU BÉTON

CERIB Expertise concrète

ATILH ASSOCIATION TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DES LIANTS HYDRAULIQUES

SNROC

CTMNC

CTPL CENTRE TECHNIQUE ET DE PROMOTION DES LAITIERS SIDERURGIQUES

UFCC Union Française des Cendres de Charbon

TABLE DES MATIÈRES

1 LE CONTEXTE 4
1.1 Origine de la démarche 4
1.2 Eléments d'information générale sur la radioactivité naturelle 5
1.3 Objet des présentes recommandations 4

2 LE CADRE RÉGLEMENTAIRE 5
2.1 La Directive 2013/59/Euratom BSS 5
2.2 L'Ordonnance du 10 février 2016 5
2.3 Les décrets 2018-434 et 2018-437 du 4 juin 2018 5
2.4 L'Arrêté du 3 juillet 2019 6

3 LES MATÉRIAUX PRÉSENTANT UNE RADIOACTIVITÉ NATURELLE 7
3.1 Les matériaux naturels 7
3.2 Les matériaux d'origine industrielle 8
3.2.1 Les cendres volantes issues de centrales thermiques 8
3.2.2 Les laitiers sidérurgiques 8
3.2.3 Les sulfates de calcium et le phosphogypse 8
3.2.4 Les scories phosphoriques 9

4 LA CARACTÉRISATION RADIOLOGIQUE 9
4.1 Echantillonnage 9
4.1.1 Echantillonnage des matériaux au gisement par faciès de roche 9
4.1.2 Echantillonnage de matériaux naturels ou d'origine industrielle sur stocks de produits finis 10
4.2 Préparation des échantillons 10
4.3 Réalisation des mesures de concentrations d'activités (caractérisation radiologique) 11
4.3.1 Liste des laboratoires 11
4.3.2 Réalisation des mesures 12
4.4 Affichage des valeurs des concentrations d'activité des radionucléides pour les utilisateurs 13
4.4.1 Matériaux naturels 13
4.4.2 Cendres volantes 13
4.4.3 Laitiers sidérurgiques 13

5 LES PRODUITS DE CONSTRUCTION 14
5.1 Produits de construction fabriqués à partir d'un constituant unique 14

5.2 Produits de construction fabriqués à partir de plusieurs matériaux ou produits **14**
5.2.1 Ciment 14
5.2.2 Bétons et produits en béton 15
5.2.3 Autres cas 16
5.3 Calcul de l'indice d'activité (I) du produit de construction incorporant des matériaux NORM **16**
5.3.1 Méthodologie 16
5.3.2 Exemple de calcul de l'indice d'activité (I) d'un béton 20
5.4 Affichage de l'indice d'activité(I) pour les utilisateurs du produit de construction **20**
5.4.1 Roches ornementales 20
5.4.2 Ciments 20
5.4.3 Bétons et produits en béton 20

6 LES DONNÉES EXISTANTES **21**
6.1 Matériaux non NORM **21**
6.1.1 Granulats non NORM 21
6.1.2 Additions non NORM 22
6.2 Matériaux NORM **22**
6.2.1 Cendres volantes silico-alumineuses 22
6.2.2 Laitiers sidérurgiques 23
6.2.3 Pouzzolanes volcaniques naturelles 23
6.3 Produits de construction **24**
6.3.1 Roches ornementales 24
6.3.2 Ciments 24
6.3.3 Bétons et produits en béton 24

7 LA CONSTRUCTION DE BÂTIMENTS **25**
7.1 Prise en compte de l'indice d'activité (I) pour les produits de construction à matériaux NORM **25**
7.2 Restrictions d'utilisation pour la construction de bâtiments de matériaux et produits dont l'indice d'activité (I) est supérieur à 1 ..... **25**

Annexe 1 - Glossaire **26**
Annexe 2 - Eléments d'information **27**
Documents supports - Références **32**
Sites internet des organismes **33**

1 LE CONTEXTE

1.1 Origine de la démarche

Certains matériaux naturels et certains résidus d'industries présentant une radioactivité naturelle sont historiquement utilisés pour la construction de bâtiments. L'exposition des personnes aux rayonnements gamma qui en découlent est encadrée par des dispositions réglementaires. Les matériaux présentant une radioactivité naturelle sont désignés sous l'acronyme "NORM" (Naturally Occuring Radioactive Materials).

Dans ce contexte, les industries fabricant des constituants pour béton et les industries fabricant des bétons, des produits en béton et des roches ornementales et de construction ont souhaité mettre à disposition des acteurs de la construction des recommandations pour l'application pratique de ces exigences réglementaires.

1.2 Eléments d'information générale sur la radioactivité naturelle

Un glossaire des termes utilisés dans ce document et des éléments d'information, notamment sur la radioactivité naturelle et les radionucléides primordiaux présents dans certains matériaux de construction, sont donnés en annexes.

1.3 Objet des présentes recommandations

Après un résumé du cadre réglementaire, le présent document décrit les étapes conduisant aux caractérisations radiologiques et/ou au calcul de l'indice de concentration d'activité (I) pour un matériau ou un produit de construction. Des recommandations sont également établies pour la réalisation des caractérisations radiologiques.

Les constructeurs de bâtiments tiennent compte de l'indice de concentration d'activité (I) lors de la conception des ouvrages pour respecter le niveau de référence pour l'exposition des personnes aux rayonnements gamma émis par les matériaux de construction à l'intérieur des bâtiments.

NOTE : La réglementation relative à l'exposition des personnes aux rayonnements gamma émis par les matériaux de construction dans les bâtiments s'applique également aux matériaux et produits importés de l'étranger.

2 LE CADRE RÉGLEMENTAIRE

2.1 La directive 2013/59/Euratom BSS

La directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013, fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants, a harmonisé les critères et les seuils généraux de libération et d'exemption des matériaux du contrôle réglementaire. D'autre part, le champ d'application des normes de base relatives à la protection sanitaire a été élargi pour couvrir les activités humaines impliquant la présence de sources naturelles de rayonnement, y compris les matériaux d'origine naturelle ou artificielle utilisés pour la fabrication de produits de construction.

L'annexe XIII de la Directive 2013/59/Euratom fournit une liste indicative des matériaux de construction pris en compte eu égard au rayonnement gamma qu'ils émettent.

2.2 L'ordonnance du 10 février 2016

L'ordonnance n° 2016-128 du 10 février 2016 portant diverses dispositions en matière nucléaire, prise sur le fondement de la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, renforce les moyens de contrôle et les pouvoirs de sanction de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), en dotant l'autorité d'outils plus gradués, tels que les amendes et les astreintes administratives. L'ASN se voit dotée d'une commission des sanctions à cet effet.

2.3 Les décrets 2018-434 et 2018-437 du 4 juin 2018

Le décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire précise notamment le cadre relatif à l'exposition des personnes aux rayonnements gamma émis par les matériaux de construction dans les bâtiments. Il indique la liste exhaustive des matériaux concernés par l'obligation de caractérisation radiologique en France :

Matériaux naturels :

> Schistes d'alun

> Matériaux de construction ou additifs d'origine magmatique naturelle, tels que :

- Les granitoïdes, tels que les granites, la syénite et l'orthogneiss
- Les porphyres
- Le tuf
- La pouzzolane
- La lave

Matériaux contenant des résidus d'industries traitant des matières naturellement radioactives, tels que :

> Les cendres volantes

> Le phosphogypse

> Les scories phosphoriques

> Les résidus de la production primaire des métaux (scories, laitiers ...)

Le décret n° 2018-437 du 4 juin 2018 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants précise notamment l'organisation de la radioprotection et les modalités de réalisation des vérifications à caractère technique des lieux et équipements de travail.

Le décret indique les valeurs d'exemption (voir tableau 1) en-dessous desquelles les matériaux NORM ne sont pas à considérer comme des Substances Radioactives d'Origine Naturelle (SRON) pour lesquelles les dispositions réglementaires applicables sont différentes.

Tableau 1 – Valeurs d'exemption au sens du décret 2018-434 du 4 juin 2018

Radionucléides naturels	Valeur limite d'exemption en concentration ($Bq.kg^{-1}$)
Uranium 238 (^{238}U) et sa filiation radioactive	1000
Thorium 232 (^{232}Th) et sa filiation radioactive	1000
Potassium 40 (^{40}K)	10 000

Les constituants concernés par l'obligation de caractérisation radiologique et rentrant dans la fabrication des matériaux de construction qui font l'objet du présent guide ont des valeurs d'activités radiologiques qui se situent très en dessous des valeurs limites d'exemption du tableau 1 et ne sont donc pas considérés comme des substances SRON.

2.4 L'arrêté du 3 juillet 2019

L'arrêté du 3 juillet 2019 définit notamment les exigences relatives aux caractérisations radiologiques de matériaux, matières, produits, résidus ou déchets qui ne sont pas utilisés pour leurs propriétés radioactives, fissiles ou fertiles et qui sont susceptibles de contenir des substances radioactives d'origine naturelle. Cet arrêté permet la création d'un nouveau programme d'accréditation des laboratoires par le Comité français d'accréditation (Cofrac).

3 LES MATÉRIAUX PRÉSENTANT UNE RADIOACTIVITÉ NATURELLE

3.1 Les matériaux naturels

Le tableau 2 établit un raccordement entre les matériaux d'origine naturelle concernés par l'obligation de caractérisation radiologique au sens du décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 et les classifications pétrographiques habituellement utilisées :

> dans l'annexe A de la norme NF EN 932-3 pour les granulats ;

> dans la norme NF EN 12670 pour les pierres naturelles.

Tableau 2 – Précision pétrographique des roches concernées

Décret 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire	**Norme NF EN 932-3** « Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Partie 3 : Procédure et terminologie pour la description pétrographique simplifiée »		**Norme NF EN 12670** « Terminologie des pierres naturelles »	
	Roches concernées	**Roches non concernées**	**Roches concernées**	**Roches non concernées**
Les granitoïdes, tels que les granites, la syénite,...	A.1.1.1 granite A.1.1.2 syenite A.1.1.3 granodiorite A.1.1.4 diorite A.1.1.5 gabbro A.3.10 mylonite	A.1.2.1 dolérite A.1.2.2 diabase	3.1.196 granite 3.1.483 syénite 3.1.199 granodiorite 3.1.127 diorite 3.1.182 gabbro 3.1.326 mylonite	3.1.129 dolérite 3.1.123 diabase
Les porphyres Le tuf La pouzzolane La lave	A.1.3.3 andésite A.1.3.1 rhyolite A.1.3.2 trachyte A.1.3.4 dacite A.1.3.5 basalte NOTE 1[1] Tuf NOTE 3[1] Pierre ponce	NOTE 2[1] Scorie NOTE 4[1] Brèche volcanique	3.1.21 andésite 3.1.430 rhyolite 3.1.503 trachyte 3.1.116 dacite 3.1.45 basalte	
L'orthogneiss	A.3.2 gneiss A.3.3 granulite	A.3.1 amphibolite A.3.4 cornéennes A.3.5 marbre calcique / dolomitique A.3.6 quartzite A.3.7 serpentine A.3.8 schiste A.3.9 ardoise	3.1.189 gneiss 3.1.204 granulite	3.1.17 amphibolite 3.1.228 cornéenne 3.1.291 marbre calcique / dolomitique 3.1.422 quartzite 3.1.449 serpentine 3.1.441 schiste 3.1.466 ardoise
		A.2 Roches sédimentaires		3.1.445 roches sédimentaires
[1] voir notes de la norme NF EN 932-3				

3.2 Les matériaux d'origine industrielle

3.2.1 Les cendres volantes issues de centrales thermiques

Les cendres volantes issues de centrales thermiques sont des matières minérales artificielles. Elles sont générées lors de la combustion de charbon en centrale thermique de production d'électricité et récupérées par dépoussiérage des fumées. Elles se présentent sous la forme d'une poudre très fine formée de particules majoritairement sphériques allant de 0,5 µm à 315 µm. Leur diamètre moyen est d'environ 30 µm.

Outre ces cendres volantes considérées comme de « fraîche production », il existe également des stockages et terrils historiques. Bien que stockées sous forme humide, ces cendres de terrils peuvent être préalablement traitées par une unité de séchage.

NOTE : Les cendres volantes entrent dans le domaine d'application des normes NF EN 450-1, NF EN 450-2 et NF EN 197-1.

3.2.2 Les laitiers sidérurgiques

Les laitiers sidérurgiques sont les matières minérales co-générées lors des processus de fusion mis en oeuvre par l'industrie du fer et de l'acier : la sidérurgie. La production de fonte sidérurgique co-génère les laitiers de haut-fourneau (LHF), tandis que les opérations de transformation de la fonte en acier génèrent les laitiers d'aciérie de conversion (LAC). Les laitiers d'aciérie de four électrique (LAFE) sont eux les matériaux co-générés lors de la production d'acier par refonte de ferrailles en filière électrique.

Parmi les différents types de laitiers générés, seuls les laitiers de haut-fourneau concentrent la radioactivité naturelle et sont concernés par le présent document. Le mode de génération des laitiers d'aciérie de convertisseur et des laitiers d'aciérie de four électrique ne permet pas une concentration de la radioactivité naturelle, et il n'apparaît pas pertinent de leur imposer une caractérisation radiologique obligatoire.

Les laitiers générés au niveau des hauts-fourneaux (LHF) à 1500 °C sous forme liquide peuvent être solidifiés selon deux voies de refroidissement : selon un refroidissement rapide (trempe), qui génère des laitiers de haut-fourneau granulés (ou vitrifiés, LHFg); ou selon un refroidissement plus lent, qui conduit à des laitiers de haut-fourneau cristallisés (LHFc). Ces deux formes de laitiers de haut-fourneau peuvent être utilisées pour la fabrication de produits de construction ; leur composition chimique étant identique, ils disposent du même contenu radioactif naturel.

Outre les laitiers sidérurgiques considérés comme de « fraîche production », il existe également des stocks historiques (LHFc, LAC, LAFE), qui sont actuellement parfois exploités pour rentrer dans la fabrication des matériaux et produits de construction.

3.2.3 Les sulfates de calcium et le phosphogypse

Si les sulfates de calcium sont systématiquement utilisés dans la fabrication du ciment, le phosphogypse (sulfate de calcium issu de la neutralisation de l'acide phosphorique) est un constituant occasionnel dont l'utilisation reste liée à sa disponibilité à l'échelle locale.

3.2.4 Les scories phosphoriques

Ce matériau n'est pas utilisé dans la filière en France.

4 LA CARACTÉRISATION RADIOLOGIQUE

4.1 Echantillonnage

L'échantillonnage est réalisé selon la norme NF EN ISO 18589-2 (mars 2018) intitulée *« Mesurage de la radioactivité dans l'environnement - Sol - Partie 2 : Lignes directrices pour la sélection de la stratégie d'échantillonnage, l'échantillonnage et le prétraitement des échantillons ».*

Cette norme est complétée par les dispositions suivantes sur la stratégie d'échantillonnage.
Deux méthodes d'échantillonnage sont possibles :
> au gisement par faciès de roche ;
> sur les stocks de produits finis.

4.1.1 Echantillonnage des matériaux au gisement par faciès de roche

La cartographie géologique de la carrière doit permettre de déterminer les roches en présence et leur localisation. A ce titre, elle doit permettre de définir la stratégie d'échantillonnage sur le site.

Il est proposé de faire une caractérisation radiologique initiale par faciès de roche (stratégie d'échantillonnage de type orienté), le nombre de zones de prélèvement par faciès de roche devant être représentatif du gisement.

Dans le cas où l'échantillonnage est réalisé par faciès de roche au front de taille, chaque prélèvement individuel doit être représentatif de la roche à analyser et la quantité de matériau prélevé doit permettre d'obtenir un échantillon pour laboratoire d'une masse minimale de 2 kg. Cet échantillon pour laboratoire peut être constitué de plusieurs prélèvements individuels dans le même faciès réalisés au front de taille. Les points d'échantillonnage doivent être positionnés sur la carte du gisement et doivent indiquer quel est le faciès échantillonné.

Les prélèvements élémentaires provenant d'un même faciès sont regroupés dans un seau ou dans un sac en plastique propre.

NOTE : Il est également possible de réaliser les analyses sur des carottages du gisement.

L'étiquette sur l'emballage doit identifier l'échantillon et indiquer le code unique d'identification de cet échantillon et la date du prélèvement.

Une fiche de prélèvement est jointe à l'échantillon ou à la série d'échantillons et doit comporter l'identification du ou des échantillons.

4.1.2 Echantillonnage de matériaux naturels ou d'origine industrielle sur stocks de produits finis

En caractérisation radiologique de suivi ou lorsque le stock est homogène, il est proposé de réaliser cette caractérisation sur un échantillon composite représentatif des productions.

Dans le cas des granulats naturels, la caractérisation radiologique s'effectuera sur un sable (fraction 0/2 ou 0/4 mm).

Les prélèvements doivent être réalisés selon les modalités de la norme NF EN 932-1 puis mélangés. Le mélange résultant est réduit selon la norme NF EN 932-2 de manière à obtenir un échantillon composite pour laboratoire d'une masse minimale de 2 kg.

L'étiquette sur l'emballage doit identifier l'échantillon et indiquer le code unique d'identification de cet échantillon et la date du prélèvement.

Une fiche de prélèvement est jointe à l'échantillon et doit comporter l'identification de l'échantillon.

4.2 Préparation des échantillons

En vue de la constitution de l'échantillon pour essai, les opérations suivantes doivent être réalisées sur l'échantillon sec :

- Concasser la totalité du matériau sec au moyen d'un broyeur de laboratoire jusqu'à ce que le refus au tamis de 200 µm soit nul ;
- Homogénéiser la poudre obtenue ;
- Reproduire le concassage, le broyage, les opérations de tamisage et d'homogénéisation jusqu'à ce que l'ensemble de l'échantillon ait été traité.

Les modalités du séchage (à une température de 110°C maximum) doivent permettre d'obtenir un échantillon sec (c'est-à-dire sans eau libre) mais ne doivent pas conduire à une modification de sa structure par la perte d'eau liée par exemple.

4.3 Réalisation des mesures de concentrations d'activités massiques (caractérisation radiologique)

4.3.1 Liste des laboratoires

L'arrêté du 3 juillet 2019 précise que les organismes concernés sont tenus d'être accrédités pour la réalisation des caractérisations radiologiques de matériaux, matières, produits, résidus ou déchets susceptibles de contenir des substances radioactives d'origine naturelle.

Le document LAB INF 45 du Cofrac, applicable depuis le 26 novembre 2019, indique la nature de la nomenclature et de l'expression des lignes de portée d'accréditation pour les caractérisations radiologiques de matériaux, matières, produits, résidus ou déchets susceptibles de contenir des substances radioactives d'origine naturelle.

Dans l'attente de l'accréditation des laboratoires selon ces nouvelles dispositions, il est recommandé de faire appel à un laboratoire actuellement accrédité pour le programme « sols ». En effet, ces laboratoires devraient réaliser la mesure de la radioactivité naturelle sur les sols selon la même cadre général de caractérisation radiologique que celui requis pour les matériaux de construction.

La liste des laboratoires actuellement accrédités par le Cofrac pour le domaine de la caractérisation radiologique des matrices solides (sols) est disponible sur le site internet du Cofrac.

NOTE : Sur la page d'accueil https://www.cofrac.fr/, inscrire « 18589-3 » et appuyer sur « Entrer ».

Un exemple de portée d'accréditation non encore actualisée est présentée au tableau 3.

Tableau 3 – Exemple de portée d'accréditation non encore actualisée

ENVIRONNEMENT/MATRICES SOLIDES/Mesures de radioactivité Analyses de radionucléides dans l'environnement, dans les produits d'origine animale et les denrées alimentaires destinées à l'homme ou aux animaux – LAB GTA 35					
Objet soumis à l'analyse	**Nature de l'analyse**		**Principe de la méthode d'analyse**	**Référence de la méthode**	**Grandeur mesurée et étendue de la mesure** **Activité**
Sol Sédiments Sables Boues	Radionucléides émetteurs γ	Gamme d'énergie : 40 à 1 500 keV	Détermination de l'activité massique des radionucléides par spectrométrie à haute résolution	Préparation NF EN ISO 18589-2 Mesure NF EN ISO 18589-3	0,5 Bq.kg-1 (1) jusqu'à une activité obtenue pour un temps mort égal à 10 % (1) seuil de décision du césium 137 à 662 keV

4.3.2 Réalisation des mesures

Conformément au décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 relatif aux caractérisations radiologiques de matériaux, matières, produits, résidus ou déchets susceptibles de contenir des substances radioactives d'origine naturelle, les concentrations d'activité massiques sont mesurées sur le radium 226, le thorium 232 et le potassium 40.

Les caractérisations radiologiques sont réalisées par spectrométrie gamma et les radionucléides recherchés sont le protactinium 234 métastable (^{234}Pa), le thorium 234 (^{234}Th), le radium 226 (^{226}Ra), le plomb 214 (^{214}Pb), le bismuth 214 (^{214}Bi), le plomb 210 (^{210}Pb), l'actinium 228 (^{228}Ac), le plomb 212 (^{212}Pb), le thallium 208 (^{208}Tl) et le potassium 40 (^{40}K).

NOTE : Tous les radionucléides des chaînes de désintégration de l'uranium 238 et du thorium 232 sont considérés à l'équilibre radioactif avec leur père. En cas de déséquilibre radioactif par suite d'untraitement industriel thermique ou chimique, il convient de prendre les radionucléides pères comme tête de chaîne par rapport à leurs produits de filiation en considérant la même valeur d'exemption (cf. § 2.3).

La mesure est réalisée conformément aux dispositions de la norme NF EN ISO 18589-3 (mars 2018) « Mesurage de la radioactivité dans l'environnement — Sol — Partie 3 : Méthode d'essai des radionucléides émetteurs gamma par spectrométrie gamma ». Pour la détermination du radium 226 par spectrométrie gamma, il existe une interférence avec une raie de haute intensité de l'uranium 235.

NOTE : Pour certains matériaux, ceci conduit à une surestimation et à une incertitude élevée pour la mesure de la concentration du radium 226. Par conséquent, l'IRSN a proposé de réaliser une mesure par recroissance dans un récipient scellé pour mesure indirecte par le plomb 214 (disposition intégrée dans la norme NF EN ISO 18589-3) comme la norme ISO le recommande.
Voir rapport DEI/SARG/2008-036 cité en référence à la fin du présent document.

NOTE : Dans le cas des matériaux d'origine industrielle, la chaîne du ^{232}Th peut ne plus être à l'équilibre, et comme la norme le mentionne, son dosage par la méthode habituelle via son descendant ^{228}Ac n'est probablement pas réalisable : il est alors possible d'appliquer une méthode alternative, comme par exemple une analyse par ICP. Ceci est également ouvert comme une option par la norme NF EN ISO 18589-3.

La durée de la mesure est à apprécier en fonction de la précision attendue, celle-ci variant en fonction de la concentration.

Les résultats de ces caractérisations radiologiques s'expriment en $kBq.kg^{-1}$ avec une incertitude déterminée avec un facteur d'élargissement égal à deux.

NOTE : Pour l'utilisation dans la formule de calcul de l'indice d'activité (I), il est nécessaire d'exprimer les résultats en $Bq.kg^{-1}$.

4.4 Affichage des valeurs des concentrations d'activité massiques des radionucléides pour les utilisateurs

En fonction des matériaux, les valeurs des concentrations d'activité massiques pour les 3 radionucléides ^{226}Ra, ^{232}Th et ^{40}K sont mises à disposition de manière contractuelle ou réglementaire.

4.4.1 Matériaux naturels

Pour les granulats issus de roches « NORM », les activités mesurées en radium 226, thorium 232 et en potassium 40 seront à reporter sur les étiquettes CE.

La fréquence des mesures est d'une fois tous les 3 ans, soit la même fréquence que l'analyse pétrographique des granulats qui permet de déterminer les roches en présence (selon la norme NF EN 932-3).

Pour les matériaux qui ne relèvent pas du décret 2018-434 du 4 juin 2018, les valeurs tabulées indiquées au tableau 7 peuvent être utilisées.

4.4.2 Cendres volantes

La fréquence des mesures est d'une fois par an et la déclaration des concentrations d'activité massiques des 3 radionucléides ^{226}Ra, ^{232}Th et ^{40}K résultant de la mesure peut se faire au travers de la Déclaration de performance de la cendre, mais aussi au travers de tout autre document commercial transmis à l'utilisateur de la cendre pour un usage dans les produits de construction.

4.4.3 Laitiers sidérurgiques

La fréquence des mesures est d'une fois par an pour les concentrations d'activité massiques des 3 radionucléides ^{226}Ra, ^{232}Th et ^{40}K. Ceci ne concerne que les laitiers de haut-fourneau ; les laitiers d'aciérie ne sont pas concernés par cette obligation d'affichage.

5 LES PRODUITS DE CONSTRUCTION

5.1 Produits de construction fabriqués à partir d'un constituant unique

Il s'agit des Roches Ornementales et de Construction (ROC) qui rassemblent les pierres naturelles taillées ou façonnées (en blocs, tranches, etc.) servant à la construction des bâtiments (murs massifs, revêtements de façade, revêtements de sol, couverture), à la voirie, au mobilier urbain, à la production de monuments et articles funéraires, à la décoration (cheminées, plans de travail, mobilier d'intérieur, vasques, etc.), aux aménagements paysagers, à la restauration des monuments historiques et à la sculpture.

Les roches ornementales extraites en France sont principalement des pierres calcaires (295 000 m^3 extraits en 2017, soit 70 %) et des granits (102 000 m^3, soit 25 %). A eux seuls, ces deux types de roches représentent environ 95 % de la production totale. L'extraction de grès, de lave et de schistes correspond aux 5 % restants.

NOTE : Distinction entre granit et granite : le vocable « granite » est utilisé en géologie alors que « granit » sans « e » est employé par les professionnels de la filière pierre (acception commerciale). Il recouvre l'ensemble des roches plutoniques à structure grenue, susceptible d'être polies, de dureté comprise entre 5 et 7. Cette catégorie englobe les granites au sens géologique strict.
Seuls les granites au sens géologique sont concernés par la caractérisation radiologique.

NOTE : Les roches ornementales entrent dans le domaine d'application des normes NF EN 12670 et NF EN 12440.

5.2 Produits de construction fabriqués à partir de plusieurs matériaux ou produits

5.2.1 Ciment

Le ciment est une poudre anhydre qui présente la propriété de réagir chimiquement avec l'eau pour faire prise et développer des résistances mécaniques. Le tableau de composition de la norme NF EN 197-1 prévoit 7 types de ciments courants qui génèrent 27 produits de compositions différentes selon le type et le degré de combinaison entre les différents constituants principaux et le clinker qui constitue le principe actif des ciments.

Les constituants principaux autres que le clinker, reconnus par la norme NF EN 197-1, sont des matériaux qui peuvent être classifiés « NORM » ou pas :

- Le laitier granulé de haut fourneau (noté S pour Slag)
- Les pouzzolanes naturelles (notées P pour Pouzzolanes)
- Les pouzzolanes naturelles calcinées (notées Q)
- Les cendres volantes siliceuses issues de la combustion du charbon, (notées V)
- Les cendres volantes calciques issues de la combustion du charbon (notées W)
- Les schistes calcinés (notés T)
- Les calcaires (notés L pour Limestone ou LL, selon leur contenu en COT)
- Les fumées de silice (notées D)

Les constituants secondaires peuvent être par exemple les matériaux spécifiés ci-dessus, des matériaux dérivés du processus de fabrication du ciment, des matériaux minéraux naturels, ou encore d'autres co-produits industriels comme par exemple le phosphogypse, tous étant correctement préparés.

La proportion pondérale des constituants principaux varie de 6 à 100 % et celle des constituants secondaires de 0 à 5 %.

Enfin, toutes les familles de ciment contiennent de 3 à 6 % de sulfate de calcium, anhydre, partiellement ou totalement hydraté comme régulateur de prise.

Certains constituants peuvent être des matériaux NORM, d'autres ne le sont pas ; lorsque le ciment contient des matériaux NORM, son indice d'activité (I) doit être fourni.

Pour calculer l'indice d'activité (I) de ces ciments, le fabricant utilise à la fois :

- Des valeurs de concentrations d'activité massiques (C en $Bq.kg^{-1}$) communiquées par ses fournisseurs, issues des caractérisations radiologiques obligatoires pour les matériaux NORM ; ces valeurs devront être exprimées à l'unité près ;
- Des valeurs de concentrations d'activité massiques (C en $Bq.kg^{-1}$) tabulées ou mesurées par des caractérisations radiologiques dans le cadre d'une démarche volontaire pour les matériaux non NORM ;
- Des valeurs d'indice I tabulées pour certains constituants entrant dans la composition.

Tous les calculs de l'indice d'activité (I) sont effectués en arrondissant les valeurs à 0,01 près.

La contribution des différents constituants à l'indice d'activité (I) du ciment est pondérée par leur fraction massique. L'indice d'activité (**I**) du ciment est arrondi à 0,01 près.

5.2.2 Bétons et produits en béton

Un béton est constitué d'un liant et de granulats, et parfois d'autres constituants permettant d'en améliorer les propriétés (additions minérales, fluidifiants, etc.).

Selon les applications, il existe des normes couvrant les bétons et les produits en béton dont les spécifications techniques conduisent à limiter la nature des constituants aptes à l'emploi et/ou leurs proportions.

Certains bétons et produits en béton peuvent être constitués d'un ou plusieurs matériaux NORM.

Lorsque le béton contient un ou plusieurs matériaux NORM, son indice d'activité (I) doit être fourni.

Pour calculer l'indice d'activité (I) de ces bétons, le fabricant utilise à la fois :

> Des valeurs de concentrations d'activité massiques (C en $Bq.kg^{-1}$), communiquées par ses fournisseurs, issues des caractérisations radiologiques obligatoires pour les matériaux NORM ; ces valeurs devront être exprimées à l'unité près ;

> Des valeurs de concentration d'activité massiques (C en $Bq.kg^{-1}$) , exprimées à l'unité près ou des valeurs d'indice d'activité (**I**) pour les matériaux non NORM (valeurs mesurées ou tabulées) exprimées à 0,01 près.

> Des valeurs d'indice d'activité (I), estimées pour certains constituants entrant dans la composition, exprimées à 0,01 près.

Tous les calculs de l'indice d'activité (I) sont effectués en arrondissant les valeurs à 0,01 près.

La contribution des différents constituants à l'indice d'activité (I) du béton est pondérée par leur fraction massique. L'indice d'activité (**I**) du béton est arrondi à 0,01 près.

5.2.3 Autres cas

Dans le cas où la caractérisation radiologique devrait être réalisée sur le produit de construction lui-même, puis l'indice d'activité (I) calculé selon l'une des formules indiquées ci-dessous, une attention particulière devra être portée sur la préparation de l'échantillon (voir § 4).

5.3 Calcul de l'indice d'activité (I) du produit de construction incorporant des matériaux NORM

5.3.1 Méthodologie

La méthodologie présentée ci-après s'applique dès que le produit de construction utilisé en bâtiment contient au moins un matériau NORM.

NOTE : Les matériaux et produits ne contenant pas de matériaux NORM ne sont pas concernés par l'obligation de déclaration prévue dans le décret n° 2018-437 du 4 juin 2018.

L'indice d'activité (I) du produit de construction composé de n constituants est calculé en utilisant l'une ou l'autre des équations suivantes :

Equation 1 $$I = \sum_{constituant\ i=1}^{constituant\ n} \frac{masse_{constituant\ i}}{masse_{totale\ du\ produit\ de\ consruction}} \left(\frac{C_{226Ra\,i}}{300\ Bq\ kg^{-1}} + \frac{C_{232Th\,i}}{200\ Bq\ kg^{-1}} + \frac{C_{40K\,i}}{3000\ Bq\ kg^{-1}} \right)$$

Equation 2 $$I = \sum_{constituant\ i=1}^{constituant\ n} \frac{masse_{constituant\ i}}{masse_{totale\ du\ produit\ de\ construction}} \times I_i$$

Où :

> $C_{226Ra\,i}$, $C_{232Th\,i}$ et $C_{40K\,i}$: concentrations d'activité massiques en radium 226, thorium 232 et potassium 40 du constituant i (en $Bq.kg^{-1}$)

> I_i : indice d'activité du constituant i (sans unité)

Il est également possible de calculer l'indice d'activité (I) en prenant en compte les activitéspour une partie des constituants et les indices d'activité (I) pour l'autre partie :

Equation 3 $$I = \sum_{constituant\ i=1}^{constituant\ m} \frac{masse_{constituant\ i}}{masse_{totale\ du\ produit\ de\ construction}} \left(\frac{C_{226Ra\,i}}{300\ Bq\ kg^{-1}} + \frac{C_{232Th\,i}}{200\ Bq\ kg^{-1}} + \frac{C_{40K\,i}}{3000\ Bq\ kg^{-1}} \right) + \sum_{constituant\ m+1}^{constituant\ n} \frac{masse_{constituant\ j}}{masse_{totale\ du\ produit\ de\ construction}} \times I_j$$

Où :

> $C_{226Ra\,i}$, $C_{232Th\,i}$ et $C_{40K\,i}$: concentrations d'activité massiques en radium 226, thorium 232 et potassium 40 du constituant i (en $Bq.kg^{-1}$)

> I_j : indice d'activité du constituant j (sans unité)

NOTE : Si la caractérisation radiologique était réalisée sur le béton ou sur le produit en béton lui-même, puis l'indice d'activité (I) calculé selon l'une des formules ci-dessus, une attention particulière devrait être portée sur la préparation de la prise d'essai pour la mesure (voir § 4.2).

Le calcul de l'indice d'activité (I) selon les équations ci-dessus requiert d'utiliser des valeurs pour les constituants non NORM c'est-à-dire ceux pour lesquels la caractérisation radiologique n'est pas obligatoire. Les tableaux 4 et 5 présentent des valeurs tabulées pour les constituants non NORM. En cas de doute pour un constituant donné ou pour les constituants non cités, il convient de procéder à sa caractérisation radiologique.

Tableau 4 – Valeurs d'indice d'activité (I) des matériaux non NORM*

Constituant non soumis à une obligation de caractérisation radiologique	Indice d'activité (I)
Eau totale du béton	0
Granulats alluvionnaires	0,39
Granulats calcaires	0,12
Roches sédimentaires hors calcaires	0,47
Granulats recyclés	0,52
Granulats éruptifs non NORM	0,49
Adjuvant	0
Ciment ne contenant aucun constituant NORM (voir tableau 5)	[0,12-0,60]
Fillers siliceux	0,40
Fillers calcaires	0,12
Métakaolins	0,65
Fumées de silice	0,10

** Valeurs calculées à partir des concentrations d'activités massiques des radionucléides ^{226}Ra, ^{232}Th et ^{40}K obtenues à partir de caractérisations radiologiques ; les résultats détaillés sont donnés aux tableaux 7 et 8*

Tableau 5 – Valeurs maximale d'indice d'activité (I) des ciments ne contenant pas de constituant NORM

Appellation	Constituant principal	Constituant secondaire	Valeur maximale de l'indice d'activité (I)
CEM I	Clinker	/	0,60
CEM II/A-D		Fumée de silice	Pas de CEM/II-AD en France
CEM II/A-T		Schiste calciné	Pas de CEM II/A-T en France
CEM II/B-T		Schiste calciné	Pas de CEM II/A-T en France
CEM II/A-L		Calcaire	0,30
CEM II/B-L		Calcaire	0,30
CEM II/A-LL		Calcaire	0,30
CEM II/B-LL		Calcaire	0,30

** Valeurs maximales calculées à partir des concentrations d'activités massiques des radionucléides ^{226}Ra, ^{232}Th et ^{40}K obtenues à partir de caractérisations radiologiques.*

5.3.2 Exemple de calcul de l'indice d'activité (I) d'un béton

L'exemple de calcul de l'indice d'activité (I) présenté au tableau 6 est réalisé pour un béton conventionnel de masse volumique égale à 2350 kg/m^3.

Tableau 6 – Exemple de calcul de l'indice d'activité (I) d'un béton

Constituant	Proportion massique	C_{226Ra}	C_{232Th}	C_{40K}	Indice d'activité (I)
Gravillons (granitoïdes)	945	84_f	20_f	1260_f	/
Sable alluvionnaire	750	25_t	25_t	550_t	/
Ciment CEM II/A-LL 42,5R	300	/	/	/	$0{,}25_f$
Cendres volantes	150	100_f	56_f	1390_f	/
Eau	200	/	/	/	$0{,}00_t$
Adjuvant	5	/	/	/	$0{,}00_t$
Total	2 350	/	/	/	$I_{Béton}$ = 0,55

f : valeur transmise par le fournisseur du constituant
t : valeurs tabulées issues des tableaux 4 et 7

Détail du calcul :

$$I_{Béton} = \frac{\left[945 \times \left(\frac{84}{300} + \frac{20}{200} + \frac{1260}{3000}\right)\right] + \left[750 \times \left(\frac{25}{300} + \frac{25}{200} + \frac{550}{3000}\right)\right] + [300 \times 0{,}25] + \left[150 \times \left(\frac{100}{300} + \frac{56}{200} + \frac{1390}{3000}\right)\right] + [200 \times 0] + [5 \times 0]}{2350}$$

$I_{Béton}$ = *0,547 arrondi à 0,55*

5.4 Affichage de l'indice d'activité(I) pour les utilisateurs du produit de construction

La valeur de l'indice d'activité (I) du produit de construction est indiquée à minima sur un des supports d'information communiqué au client.

5.4.1 Roches ornementales

La valeur de l'indice d'activité (I) est indiquée sur la fiche de caractérisation du produit.

5.4.2 Ciments

La valeur de l'indice d'activité (I) est indiquée sur la Fiche Technique Produit (FTP) du ciment.

5.4.3 Bétons et produits en béton

La valeur de l'indice d'activité (**I**) est indiquée sur le bon de livraison du produit ou sur tout autre support d'information communiqué au client.

6 LES DONNÉES EXISTANTES

6.1 Matériaux non NORM

Pour le calcul de l'indice d'activité (I) du matériau ou du produit de construction, des valeurs tabulées sont données dans les tableaux 4 et 5. A titre d'information, cette partie indique des valeurs constatées pour les concentrations d'activité massiques en ^{226}Ra, ^{232}Th et ^{40}K.

6.1.1 Granulats non NORM

Des valeurs de concentrations d'activité massiques du ^{226}Ra, ^{232}Th et ^{40}K des granulats obtenues à partir de caractérisations radiologiques sont indiquées dans le tableau 7.

Tableau 7 – Valeurs des concentrations d'activité massiques pour les granulats non NORM obtenues à partir de caractérisations radiologiques*

Granulats non concernés par le décret 2018-434 du 4 juin 2018 *Classement par famille de roches*	**Valeurs des concentrations d'activité massiques (Bq.kg^{-1})**		
	^{226}Ra	**^{232}Th**	**^{40}K**
Roches alluvionnaires	25	25	550
Roches et fillers calcaires	15	5	120
Roches sédimentaires hors calcaires	30	36	560
Roches éruptives non concernées par le décret 2018-434 du 4 juin 2018	35	35	600
Granulats recyclés	45	35	590
Fillers siliceux	62	18	301

** Les caractérisations radiologiques ont été réalisées sur des échantillons représentatifs des productions françaises pour chaque famille de granulats non NORM listée dans le tableau 7. Ces caractérisations radiologiques ont été réalisées par des laboratoires accrédités COFRAC dans le cadre du Programme « Sols » selon la norme NF EN ISO 18589-3.*

Dans le cas de granulats recomposés, le producteur doit donner les valeurs des concentrations d'activité massiques du mélange. Celles-ci sont calculées à partir des valeurs tabulées ou mesurées et des proportions massiques de chacun des composants dans le mélange. Les mesures directes sur les granulats recomposés sont également possibles.

6.1.2 Additions non NORM

Les valeurs du tableau 8 sont fournies à titre indicatif. Elles sont le constat des concentrations d'activité massiques mesurées sur des additions fabriquées en France.

Tableau 8 – Valeurs des concentrations d'activité massiques pour les additions non NORM obtenues à partir de caractérisations radiologiques*

Additions non concernées par le décret 2018-434 du 4 juin 2018 *Classement par famille d'additions*	**Valeurs des concentrations d'activité massiques (Bq.kg^{-1})**		
	^{226}Ra	**^{232}Th**	**^{40}K**
Additions siliceuses	62	18	301
Additions calcaires	15	5	120
Métakaolins	39	100	68
Fumées de silice	3	1	182

** Les caractérisations radiologiques ont été réalisées sur des échantillons représentatifs des productions françaises pour chaque famille d'additions non NORM listée dans le tableau 8. Ces caractérisations radiologiques ont été réalisées par des laboratoires accrédités COFRAC dans le cadre du Programme « Sols » selon la norme NF EN ISO 18589-3.*

6.2 Matériaux NORM

Les valeurs constatées en France pour les concentrations d'activité massiques en ^{226}Ra, ^{232}Th et ^{40}K indiquées dans cette partie sont fournies à titre indicatif et **ne doivent pas être utilisées pour le calcul de l'indice d'activité (I).**

6.2.1 Cendres volantes silico-alumineuses

Les valeurs du tableau 9 sont le constat des concentrations d'activité massiques mesurées et constatées en France.

Tableau 9 – Valeurs des concentrations d'activité massiques pour les cendres volantes

Cendres volantes concernées par le décret 2018-434 du 4 juin 2018 *Type de cendres concernées*	**Plage des valeurs des concentrations d'activité massiques (Bq.kg^{-1})**		
	^{226}Ra	**^{232}Th**	**^{40}K**
Cendres volantes silico-alumineuses	[60 – 120]	[50 –110]	[500 – 1500]

6.2.2 Laitiers sidérurgiques

Les valeurs du tableau 10 sont le constat des concentrations d'activité radiologiques mesurées et constatées sur les laitiers produits dans les usines en France.

Tableau 10 – Valeurs des concentrations d'activité pour les laitiers sidérurgiques

Laitiers sidérurgiques concernés par le décret 2018-434 du 4 juin 2018 *Types de laitiers concernés*	**Plage des valeurs des concentrations d'activité massiques (Bq.kg^{-1})**		
	^{226}Ra	**^{232}Th**	**^{40}K**
Laitier HF granulés	[92 –130]	[12 –50]	[100 –250]
Laitier d'aciérie LAC et LAFE	[60 – 80]	[10 – 35]	[40 – 75]

6.2.3 Pouzzolanes volcaniques naturelles

Les valeurs du tableau 11 sont le constat de caractérisations radiologiques réalisées sur des pouzzolanes naturelles. Cet indice varie typiquement de 0,20 à 0,38, avec quelques valeurs exceptionnelles ne dépassant pas 1,00.

Tableau 11 – Valeurs des concentrations d'activité massiques pour les pouzzolanes

Pouzzolanes concernées par le décret 2018-434 du 4 juin 2018	**Valeurs des concentrations d'activité massiques (Bq.kg^{-1})**		
	^{226}Ra	**^{232}Th**	**^{40}K**
Cendres volantes silico-alumineuses	[7 –20]	[10 –30]	[350 –500]

6.3 Produits de construction

Les fabricants de ces produits déclarent l'indice d'activité (**I**).

6.3.1 Roches ornementales

Les valeurs fournies ci-dessous le sont à titre indicatif. Elles sont le constat des indices d'activité (I) mesurés et constatés sur des granits fabriqués en France. Cet indice varie typiquement de 0,7 à 0,8 :

> Granit de Lanhélin : I = 0,71 ;

> Granit du Tarn : I = 0,72 ;

> Granit bleu de Louvigné : I = 0,76.

6.3.2 Ciments

Les valeurs du tableau 12 sont fournies à titre indicatif. Elles sont le constat des indices d'activité (I) mesurés et constatés sur des ciments fabriqués en France. Cet indice varie typiquement de 0,12 à 0,61.

Tableau 12 – Valeurs des concentrations d'activité massiques pour les ciments

Type de ciment	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	Indice d'activité (I)
CEM I (N/R)	[10-80]	[12-30]	[250-320]	[0,18 – 0,52]
CEM II (A/B)– LL	[19-51]	[10-23]	[20-30]	[0,12 – 0,30]
CEM II (A/B) –S	[25-51]	[20-50]	[150-400]	[0,23 – 0,55]
CEM III (A/B)	[55-80]	[25-45]	[130-350]	[0,35 – 0,61]
CEM II/A-M (LL-P)	[65-75]	[20-30]	[20-30]	[0,32 – 0,41]
CEM V (A/B)	[45-65]	[25-35]	[200-400]	[0,34 – 0,53]

6.3.3 Bétons et produits en béton

A titre indicatif, les valeurs des indices d'activité (I) constatées sur des bétons courants fabriqués en France varient typiquement de 0,10 à 1,00.

7 LA CONSTRUCTION DE BÂTIMENTS

7.1 Prise en compte de l'indice d'activité (I) pour les produits de construction à matériaux NORM

Les calculs d'exposition dans les bâtiments utilisent des valeurs de radioactivité en becquerel. Les concentrations d'activité massiques sont mesurées en $Bq.kg^{-1}$. La masse du matériau ou du produit de construction est donc une donnée fondamentale pour le calcul de l'exposition. Il est par conséquent nécessaire de fournir la masse volumique apparente ou la masse surfacique du matériau ou du produit de construction utilisé dans l'ouvrage.

Dans le cas où l'indice d'activité (I) des produits de construction est ≤ 1, aucune restriction d'utilisation ne s'applique au produit.

7.2 Restrictions d'utilisation pour la construction de bâtiments de matériaux et produits dont l'indice d'activité (I) est supérieur à 1

Au sens du décret n°2018-434 du 4 juin 2018, un arrêté des ministres chargés de la radioprotection et de la construction (non encore publié) définira les conditions dans lesquelles les directives techniques d'utilisation imposent aux constructeurs des exigences spécifiques à l'utilisation des produits de construction dont l'indice d'activité (I) est supérieur à 1, à défaut d'étude spécifique établissant l'absence de risque de dépassement du niveau de référence fixé à l'article R. 1333-38.

ANNEXE 1 - GLOSSAIRE

Activité (A)

L'activité A d'un radionucléide est le rapport du nombre probable de transitions nucléaires dans un intervalle de temps donné.

Becquerel (Bq)

L'unité d'activité d'une source radioactive est le becquerel (Bq). Un becquerel équivaut à une transition nucléaire par seconde.

NORM

Les matériaux présentant une radioactivité naturelle sont désignés sous l'acronyme "NORM" (Naturally Occucoactive Materials). La liste des matériaux NORM est donnée dans l'article R. 1333-40 du décret 2018-434 du 4 juin 2018.

Nucléide

Espèce atomique définie par son nombre de masse, son numéro atomique et son état énergétique.

Radioactivité

Phénomène de transformation spontanée d'un nucléide avec émission de rayonnements ionisants.

Radionucléide

Nucléide radioactif.

Substance radioactive d'origine naturelle (SRON)

Toute substance qui contient un ou plusieurs radionucléides naturels dont la ou les concentrations d'activité massiques sont supérieures à une ou plusieurs valeurs limites d'exemption définies dans le tableau 1 de l'annexe 13-8 du décret 2018-434 du 4 juin 2018.

Indice de concentration d'activité

L'indice de concentration d'activité (I) est relié à la dose du rayonnement gamma émis par un matériau de construction contenant un ou des matériaux NORM.

ANNEXE 2 - ELÉMENTS D'INFORMATION

Radioactivité naturelle

Dans la nature, la plupart des noyaux d'atome sont stables. Cependant, certains atomes ont des noyaux instables. Les noyaux d'atomes se transforment spontanément en d'autres noyaux d'atomes radioactifs ou non. Il existe deux grands groupes de radionucléides naturels :

> Des radionucléides d'origine cosmique ou «cosmonucléides » qui se forment par l'action des rayons cosmiques sur des noyaux d'atomes présents dans notre environnement.

> Les radionucléides dits «primordiaux», qui étaient présents au moment de la formation de la terre et que l'on trouve aujourd'hui encore dans l'écorce terrestre. L'irradiation externe depuis le sol terrestre représente l'exposition aux rayonnements telluriques.

La radioactivité naturelle à l'intérieur des bâtiments peut notamment provenir de deux sources : le gaz radon (exclu du cadre du présent guide) et les éléments radioactifs (radium 226, thorium 232, potassium 40) contenus dans certains constituants des produits de construction.

Radionucléides primordiaux et leurs chaînes de désintégration

Parmi les 340 types d'atomes qui existent dans la nature, 70 ont des noyaux instables radioactifs (radionucléides). Il ne reste aujourd'hui qu'une vingtaine de ces radionucléides « primordiaux », ceux de période très courte par rapport à l'âge de la Terre ayant disparu. Ces radionucléides naturels, qui constituent l'essentiel de la radioactivité de l'environnement, se retrouvent dans l'air, le sol, l'eau et les organismes vivants dont l'homme [source IRSN].

Il s'agit soit de radionucléides de période radioactive très longue présents sur Terre depuis sa formation (potassium 40, uranium 238, uranium 235, thorium 232), soit de radionucléides créés en permanence dans la haute atmosphère sous l'effet du rayonnement cosmique, qualifiés de radionucléides cosmogéniques (tritium, carbone 14, krypton 85, béryllium 7 et sodium 22).

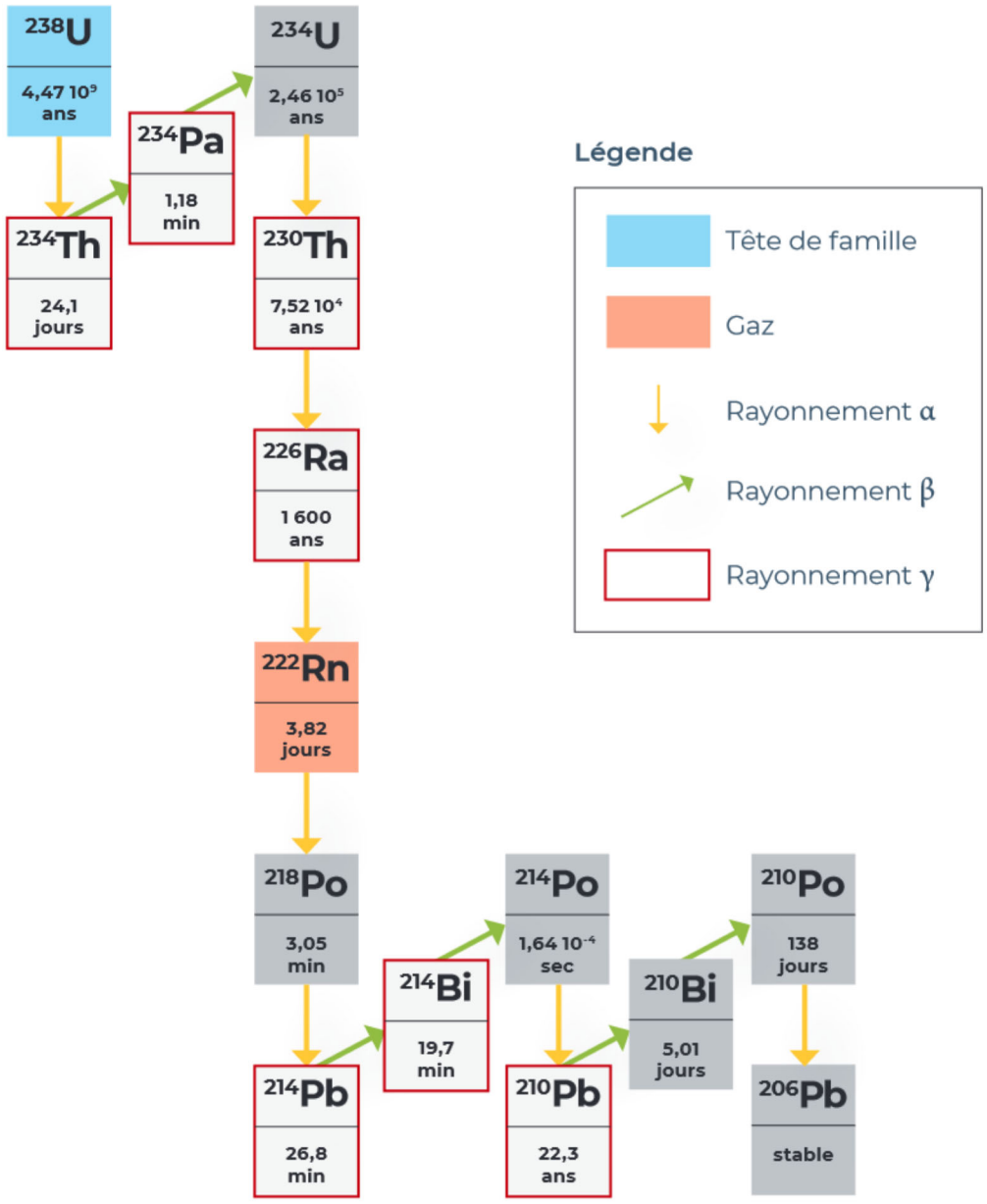
Si la plupart de ces radionucléides se désintègrent directement en éléments stables, non radioactifs, trois d'entre eux (^{238}U, ^{235}U et ^{232}Th) ont plusieurs descendants radioactifs, qui constituent des familles ou chaînes de désintégration comportant chacune entre dix et quinze radionucléides différents (voir figures A.1 à A.3 suivantes) [source IRSN].

La contribution, dans l'activité totale, de la famille de l'uranium 235 est la plupart du temps négligeable devant celle résultant des familles du thorium 232 et de l'uranium 238.

La radioactivité à considérer dans les études de caractérisation radiologiques des matériaux de construction résulte finalement de la présence de l'isotope radioactif du potassium 40 (^{40}K) et des radionucléides des chaînes naturelles de l'uranium 238 (^{238}U) et du thorium 232 (^{232}Th).

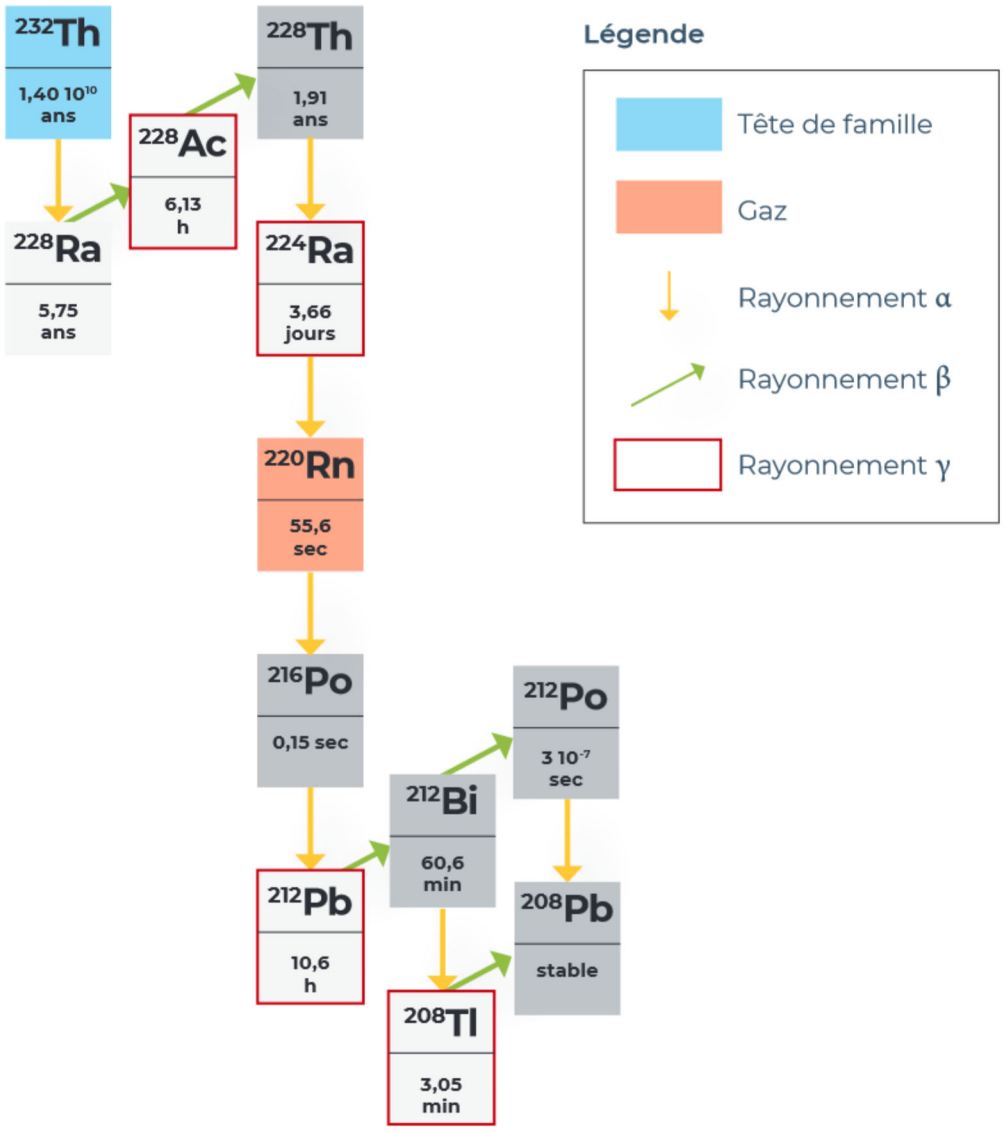
Famille radioactive de l'uranium 238

Figure A.1 : Famille de l'uranium 238 et produits de filiation jusqu'au plomb 206 stable



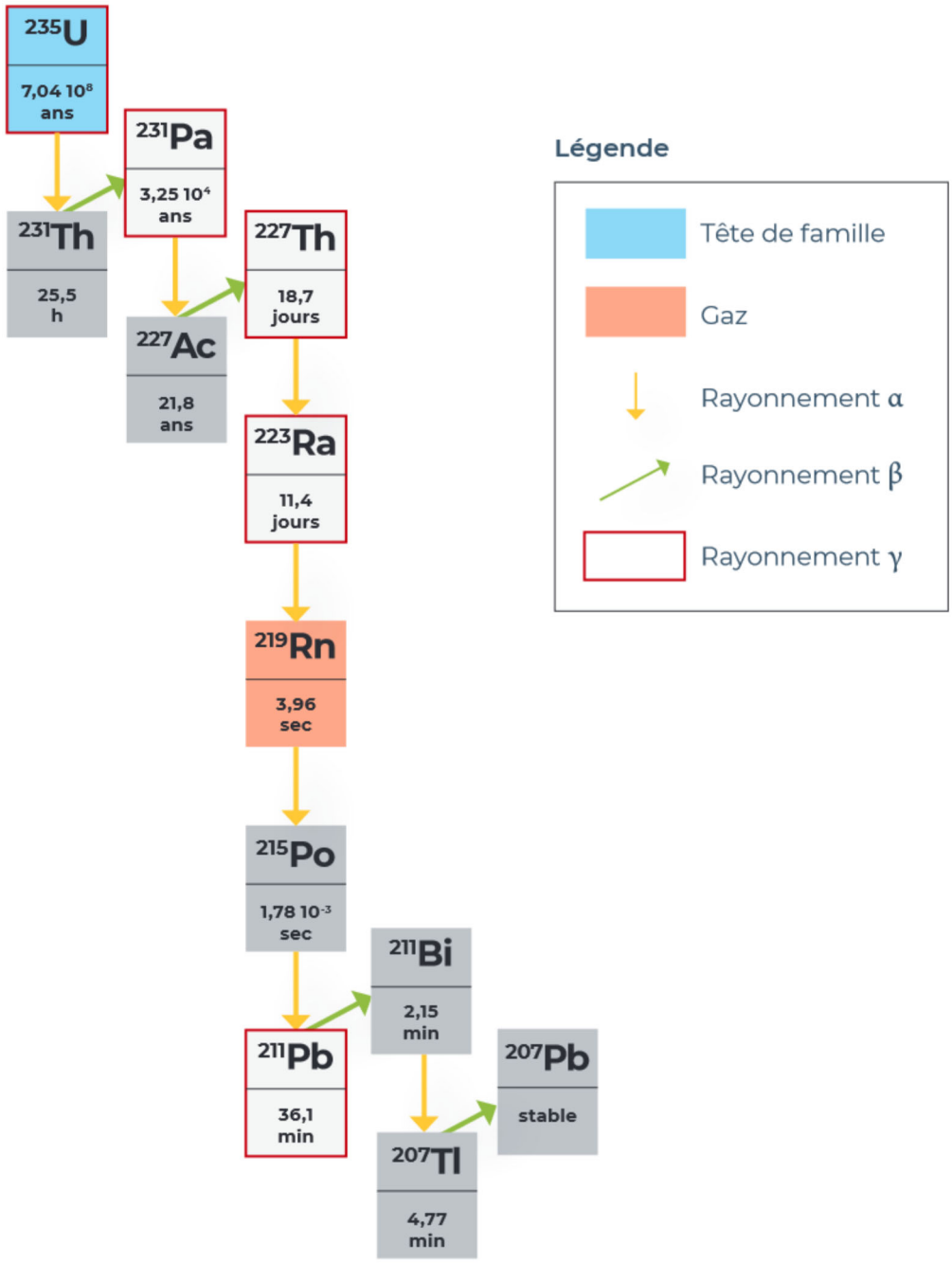
Famille radioactive du thorium 232

Figure A.2 : Famille du thorium 232 et produits de filiation jusqu'au plomb 208 stable



Famille radioactive de l'uranium 235

Figure A.3 : Famille de l'uranium 235 et produits de filiation jusqu'au plomb 207 stable



NOTE : Les descendants de l'uranium 235 sont des isotopes des mêmes éléments que ceux constituant la chaîne de l'uranium 238. Cela implique que les descendants des deux familles présentent les mêmes propriétés physico chimiques. Ainsi, lorsque la famille de l'uranium 238 est à l'équilibre, il peut être considéré que celle de l'uranium 235 est également à l'équilibre.

Evaluation des doses de radioactivité

L'évaluation des doses repose, entre autres, sur la caractérisation radiologique des matières premières et des produits finis. Ainsi, la caractérisation radiologique des matériaux de construction doit permettre d'évaluer le niveau d'exposition des travailleurs et/ou des occupants des bâtiments.

De manière stricte, les évaluations dosimétriques doivent intégrer l'ensemble des radionucléides des familles mentionnées précédemment. Néanmoins, certains radionucléides sont difficiles à mesurer avec les techniques usuelles (^{218}Po, ^{210}Tl, ^{212}Bi, ^{216}Po...). Les phénomènes physiques qui régissent les filiations radiologiques permettent cependant de s'affranchir de leur analyse. En effet, en raison de leur courte période radioactive, ils peuvent être considérés en équilibre avec leur père. Ainsi, il convient de déterminer a minima les activités des principaux radionucléides à vie longue de chaque chaîne [source IRSN].

En complément de la détermination de l'activité des radionucléides des deux familles radioactives ^{238}U et ^{232}Th (la contribution de la famille du ^{235}U étant considérée comme négligeable, voir plus haut), il est rappelé que l'activité du ^{40}K doit également être déterminée et intégrée à l'évaluation des doses.

Radon

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle. Il est issu de la désintégration de l'uranium 238 et du radium 226 présents dans les roches naturelles.

Malgré sa période radioactive relativement courte (sa radioactivité diminue de moitié en 3,82 jours), une partie du radon parvient à quitter la roche dans laquelle il s'est formé via la porosité de cette dernière et du sol qu'il traverse pour arriver dans l'atmosphère extérieure ou dans l'air intérieur d'un bâtiment.

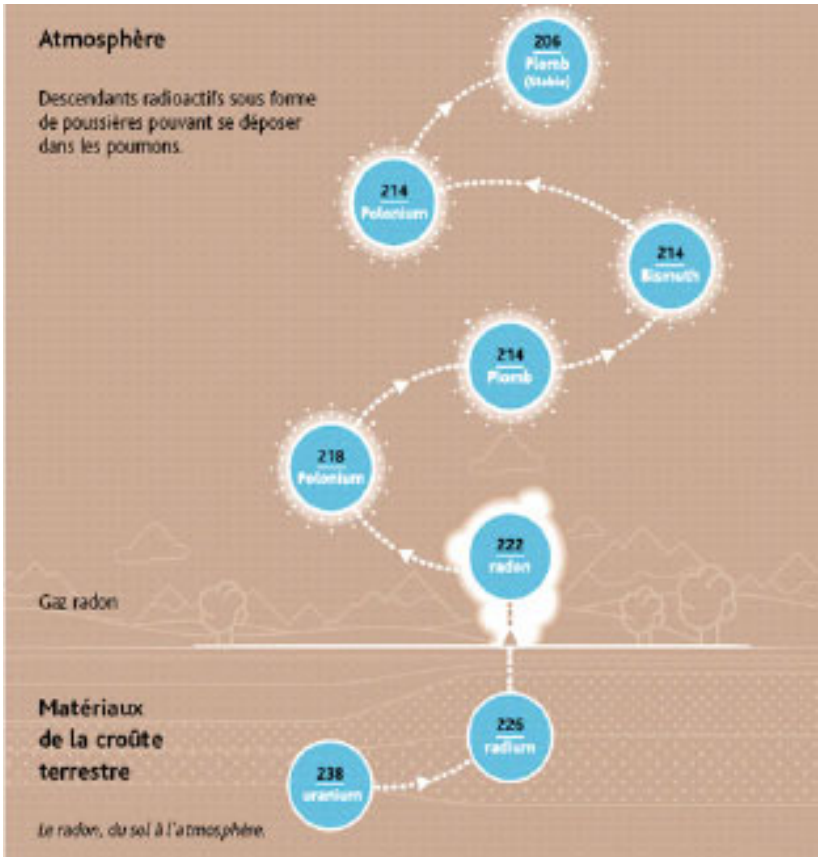


Figure A.4 : Chaine de la désintégration de l'uranium 238 et ses descendants dont le radon 222

DOCUMENTS SUPPORTS - RÉFÉRENCES

Directive 2013/59/Euratom du Conseil, du 5 décembre 2013, fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom, décembre 2013

Ordonnance n° 2016-128 du 10 février 2016 portant diverses dispositions en matière nucléaire, JORF n°0035 du 11 février 2016

Décret no 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire, JORF n°0127 du 5 juin 2018

Décret n° 2018-437 du 4 juin 2018 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants, JORF n°0127 du 5 juin 2018

Arrêté du 3 juillet 2019 relatif aux caractérisations radiologiques de matériaux, matières, produits, résidus ou déchets susceptibles de contenir des substances radioactives d'origine naturelle, JORF n°0164 du 17 juillet 2019

NF EN 932-1 « Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats - Partie 1 : méthodes d'échantillonnage », AFNOR, décembre 1996

NF EN 932-2 « Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats - Partie 2 : méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire », AFNOR, août 1999

NF EN 932-3 « Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats - Partie 3 : procédure et terminologie pour la description pétrographique simplifiée », AFNOR, décembre 1996

NF EN 197-1 « Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants », AFNOR, avril 2012

NF EN 12670 « Pierre naturelle – Terminologie », AFNOR, juin 2019

NF EN 450-1 « Cendres volantes pour béton - Partie 1 : définition, spécifications et critères de conformité », AFNOR, octobre 2012

NF EN 450-2 « Cendres volantes pour béton - Partie 2 : évaluation de la conformité », AFNOR, octobre 2005

NF EN ISO 18589-2 « Mesurage de la radioactivité dans l'environnement — Sol — Partie 2 : Lignes directrices pour la sélection de la stratégie d'échantillonnage, l'échantillonnage et le prétraitement des échantillons », AFNOR, mars 2018

NF EN ISO 18589-3 « Mesurage de la radioactivité dans l'environnement —Sol — Partie 3 : Méthode d'essai des radionucléides émetteurs gamma par spectrométrie gamma », AFNOR, mars 2018

Rapport DEI/SARG/2008-036 « Eléments pour la caractérisation radiologique des matières et effluents en application de l'arrêté du 25 mai 2005 », IRSN, octobre 2008

SITES INTERNET DES ORGANISMES

Association Technique des Liants Hydrauliques (ATILH)
https://www.infociments.fr/association-technique-de-lindustrie-des-liants-hydrauliques-atilh

Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB)
https://www.cerib.com/

Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction (CTMNC)
http://www.ctmnc.fr/

Centre Technique et de Promotion des Laitiers Sidérurgiques (CTPL)
https://www.ctpl.info/

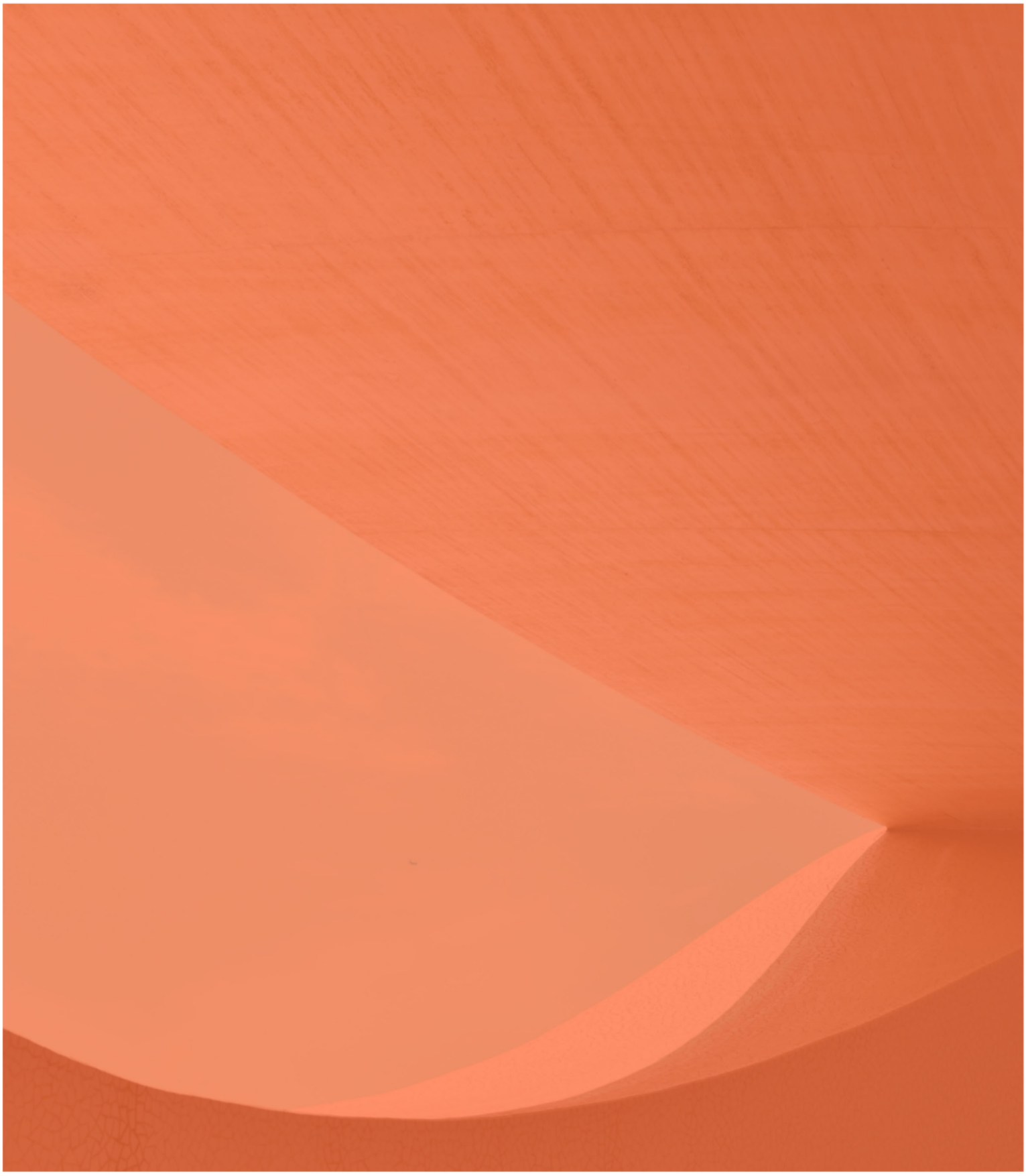
Fédération de l'Industrie du Béton (FIB)
https://www.fib.org/

Syndicat National des Industries de Roches Ornementales et de Construction (SNROC)
http://www.snroc.fr/

Syndicat National du Bêton Prêt à l'Emploi (SNBPE)
https://www.snbpe.org/

Union Française des Cendres de Charbon (UFCC) / Surschiste
https://surschiste.com/

Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)
https://www.unpg.fr/



UNICEM

FÉDÉRATION DE L'INDUSTRIE DU BÉTON

CERIB Expertise concrète

ATILH
ASSOCIATION TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DES LIANTS HYDRAULIQUES

SNROC

CTMNC

CTPL
CENTRE TECHNIQUE ET DE PROMOTION DES LAITIERS SIDERURGIQUES

UFCC
Union Française des Cendres de Charbon