

**GROUPE PERMANENT D'EXPERTS
EN RADIOPROTECTION (GPRP)**

**Avis
sur la délimitation des zones applicables aux équipements
de travail à champs pulsés**

mai 2023

Réunion tenue à Montrouge le 11 avril 2023

I – Contexte de la saisine ASN/DGT

Lors de l'élaboration du décret n° 2021-1091 du 18 août 2021 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants et non ionisants, la révision des valeurs à prendre en compte pour la délimitation des zones contrôlées oranges et rouges dans le cas des équipements de travail émettant en champ pulsés n'a pas pu faire l'objet d'un consensus entre les parties prenantes et les partenaires sociaux.

Aussi, par lettre n° CODEP-2022-018010 du 12 avril 2022, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et la Direction générale du travail (DGT) ont conjointement saisi le Président du GPRP afin qu'une réflexion soit menée sur la révision des valeurs à prendre en compte pour la délimitation des zones contrôlées oranges et rouges, définies à l'article R. 4451-23 du code du travail, autour des appareils à champs pulsés. Plus généralement, cette saisine demande aux experts du GPRP au regard de la particularité des rayonnements émis par les appareils à champs pulsés :

- d'établir un panorama des appareils concernés détaillant leurs caractéristiques techniques (nombre de pulses, puissance, durée d'émission, sécurités...);
- d'élaborer une méthodologie générale opérationnelle pour la réalisation des zones délimitées contrôlées, en particulier de préciser les critères de délimitation et définir les mesurages nécessaires à leur définition pour les zones contrôlées oranges (ZCO) ou rouges (ZCR), et les zones d'opération.

En outre, la saisine demande d'étayer ces éléments par des exemples concrets de mise en œuvre de la méthodologie proposée, qui pourront être repris dans le cadre réglementaire.

Pour mener à bien ses travaux, le GPRP, lors de sa séance du 1^{er} avril 2022, a constitué en son sein un groupe de travail dénommé ci-après GT « champs pulsés » composé de dix experts.

II - Le rendu des travaux du groupe de travail « champs pulsés »

De mai 2022 à mars 2023, le GT « champs pulsés » a tenu neuf réunions en présentiel, procédé à l'audition de personnes expertes dans les différents domaines d'intérêt et d'experts de l'IRSN, adressé un questionnaire à des fabricants/fournisseurs d'appareils de mesure, mené des recherches bibliographiques et présenté régulièrement devant le GPRP les points d'étape de ses travaux.

Après recueil et analyse de l'historique des évolutions en matière de délimitation des ZCO et ZCR, le GT « champs pulsés » a d'abord été confronté à la difficulté d'une absence de définition dans la réglementation de ce que peut être un « champ pulsé ».

A l'issue de 10 mois de travail intense, de questionnements et d'auditions, le GT présente dans son rapport :

- un panorama des appareils émettant des rayonnements ionisants en champ pulsés soulignant, d'une part, leur extrême diversité d'application selon les secteurs où ils sont mis en œuvre et, d'autre part, la diversité de leurs caractéristiques techniques propres (type de pulses, fréquence, intensité, durées d'émission...);
- le résultat d'une recherche bibliographique sur ce qui pourrait être la définition d'un champ pulsé et sur laquelle le GT s'est prononcé ;
- la problématique d'effectuer des mesurages dans un tel contexte ainsi que les difficultés métrologiques associées, ce qui n'est sans doute pas étranger aux difficultés d'application sur le terrain ;
- le résultat d'une recherche bibliographique tentant de cerner les effets biologiques conséquence d'une irradiation intense mais très brève, laquelle souligne les limites de nos connaissances actuelles.

III – Les recommandations du GT « champs pulsés »

A partir des constats qu'il a pu établir au cours de ses investigations multiples, le GT « champs pulsés » formule onze recommandations. Le lecteur pourra se reporter au rapport du GT « champs pulsés » pour disposer de l'ensemble des éléments ayant conduit à ces onze recommandations. Elles sont résumées de la façon suivante :

Recommandation n°1

Le GT constate que le critère des 10 secondes, en tant que durée maximale d'émission à débit constant à considérer pour définir un champ pulsé, fait l'objet d'un consensus dans les différents documents consultés. Le GT considère que ce critère est satisfaisant, dans le sens où il est basé sur les capacités techniques des appareils de mesure actuels.

Le GT propose ainsi la définition suivante pour caractériser une émission en champ pulsé : « un rayonnement ionisant émis par un équipement de travail, ayant un débit d'équivalent de dose variable (pulse ou modulation) pendant des intervalles de temps inférieurs à 10 secondes. »

Recommandation n°2

Pour ce qui concerne les impulsions uniques et les trains d'impulsions, afin d'éviter l'utilisation des concepts de débits de dose ou de débits d'équivalent de dose moyen, instantané, de crête, etc..., parfois compliqués à déterminer pour des champs pulsés, le GT recommande de se baser sur la notion de dose par pulse (à traduire en dose efficace), à multiplier ensuite par le nombre de pulses délivrés en une heure/en un mois pour obtenir la dose efficace intégrée sur une heure/un mois, à comparer ensuite aux valeurs réglementaires figurant dans le code du travail en fonction de l'utilisation prévue pour l'appareil (installation ou chantier).

Concernant les émissions en champs modulés, une approche similaire est adoptée en déterminant la dose efficace intégrée au cours d'une émission et en tenant compte du nombre d'émissions sur une période d'une heure/d'un mois.

Recommandation n°3

Pour ce qui concerne le nombre de pulses délivrés en une heure/un mois, il est bien précisé dans la saisine que la méthodologie tiendra compte des conditions de travail et d'utilisation réalistes.

Ainsi, comme pour les autres équipements de travail, le GT recommande de se placer dans les conditions normales d'utilisation les plus pénalisantes, et non dans les conditions maximales de fonctionnement de l'appareil.

Recommandation n°4

Le GT constate que les informations documentaires associées à ce type d'appareil en particulier et servant à l'évaluation des risques sont souvent limitées, voire absentes.

Le GT recommande ainsi aux autorités compétentes d'obtenir que les fabricants/distributeurs fournissent, dans leur documentation technique, les caractéristiques des émissions produites permettant de déterminer in fine la dose efficace pour une séquence d'émission. Il s'agira, à titre d'exemple :

- *du type d'impulsion (impulsion unique, train d'impulsions, champ modulé) ;*
- *de la durée totale de l'émission ou du nombre total d'impulsions par unité de temps ;*
- *de la durée/largeur des impulsions (Δt) ;*
- *de la dose maximale par impulsion ;*
- *des capacités intrinsèques de la machine (nombre maximal de pulses par heure...).*

Recommandation n°5

Compte tenu du développement actuel des équipements de travail émettant des rayonnements ionisants de façon très intense sur des temps extrêmement courts, le GT s'est penché sur la question des effets biologiques insoupçonnés (aggravation ou réduction des effets néfastes), qui n'a pour l'heure pas de réponse et fait uniquement l'objet d'hypothèses.

Le GT estime qu'il est essentiel que la recherche en radiobiologie approfondisse cette question et recommande que les répercussions possibles sur le système de radioprotection soient traitées par les instances concernées.

Recommandation n°6

Le GT constate le développement croissant d'équipements de travail de plus en plus complexes qui peuvent néanmoins représenter des sources de danger important en cas de non maîtrise.

De manière générale, compte tenu de la grande diversité des équipements de travail étudiés dans le cadre de cette saisine, le GT invite les administrations compétentes en charge d'élaborer le cadre réglementaire, de viser avant tout des objectifs généraux de prévention et

de protection des travailleurs, replaçant l'employeur face à ses responsabilités, et de renvoyer d'éventuelles mesures spécifiques vers d'autres outils non réglementaires.

Le GT considère ainsi que l'élaboration de guides sectoriels, impliquant fortement les acteurs de la radioprotection dans les secteurs concernés, pourrait constituer l'outil adapté et évolutif au regard des retours d'expérience.

Recommandation n°7a

Le GT constate les limites importantes du mesurage en champ pulsés. Aussi, le GT invite les administrations compétentes en charge d'élaborer le cadre réglementaire à ne pas réintroduire les dispositions antérieures portant sur des mesurages en débit d'équivalent de dose ou encore des mesurages intégrés sur une seconde pour ce qui concerne les champs pulsés.

Le GT invite les administrations à renvoyer sur des guides sectoriels, toute modalité pratique relative à la métrologie lorsqu'il s'agit d'émissions non continues dont la durée d'impulsion est inférieure à 10 secondes.

Recommandation n°7b

Le GT recommande que les fabricants/distributeurs d'appareils de mesurage des rayonnements ionisants fournissent des informations détaillées concernant les conditions d'utilisation des appareils et leurs limites, y compris pour ce qui concerne les dosimètres opérationnels.

Recommandation n°7c

Le GT recommande que la recherche en dosimétrie et en métrologie soit soutenue, en vue de mettre à disposition des appareils de mesure effectivement adaptés à ces émissions particulières.

Recommandation n°8

Compte tenu, d'une part, du développement croissant d'équipements de travail émettant des rayonnements en champ pulsés et, d'autre part, sur le constat des lacunes dans le domaine de la formation, le GT suggère que des formations spécifiques à ces équipements soient développées, avec un approfondissement sur le volet métrologique.

Le GT considère que l'élaboration de guides sectoriels (évoquée dans les précédentes recommandations) pourrait constituer un outil de référence dans le cadre de telles formations à la charge de l'employeur.

Recommandation n°9

Compte tenu du retour d'expérience sur le dispositif de délimitation en zones actuel et tenant compte d'une demande de stabilisation de la réglementation, le GT invite les administrations compétentes en charge d'élaborer le cadre réglementaire à conserver les dispositions en

vigueur encadrant le zonage radiologique (autre que les zones orange et rouge), tant pour les installations fixes que pour les équipements mobiles.

Recommandation n°10

En réponse à la saisine DGT/ASN, le GT invite les administrations compétentes en charge d'élaborer le cadre réglementaire à conserver en l'état les dispositions introduites par le décret n° 2021-1091 du 18 août 2021 encadrant le zonage radiologique, notamment pour ce qui concerne le critère de délimitation entre les zones contrôlées orange et rouge.

Le GT a conscience qu'il peut subsister dans certains secteurs et pour des applications particulières des lacunes ou difficultés dans l'application des dispositions en vigueur. Aussi, il suggère de reporter les clarifications utiles en termes d'approche méthodologique et d'outils à mettre en œuvre dans les guides sectoriels précédemment évoqués.

Recommandation n°11 du GT

De ce point de vue le GT propose que l'approche méthodologique opérationnelle qu'il a développée dans le rapport soit la base pour la délimitation des zones et les vérifications associées ; elle pourrait être ainsi déclinée dans les guides sectoriels précédemment évoqués.

Concernant la méthodologie générale opérationnelle

Le GT propose dans son rapport une méthodologie générale opérationnelle de délimitation des zones dans le contexte d'émissions en champ pulsés, laquelle nécessite au préalable une approche documentaire et notamment une information détaillée sur les caractéristiques des émissions en champ pulsés.

Partant de la démarche d'évaluation du risque radiologique et de la définition retenue pour un champ pulsés, le déroulé du mesurage repose en premier lieu sur des mesures intégrées de doses (dosimètres à lecture différée, chambres d'ionisations...) dans des conditions normales d'utilisation les plus pénalisantes. Les temporalités prises en compte s'appuient sur les dispositions actuelles pour la délimitation des zones. S'il y a nécessité, les mesurages complémentaires en débit d'équivalent de dose doivent reposer sur une justification de la compatibilité des méthodes de mesure avec les caractéristiques du champ pulsés.

Enfin, la méthodologie proposée pour les vérifications (initiales et périodiques) doit conforter le dispositif et apprécier son absence de dérive, notamment dans le cas d'installations spécifiques dont la conception repose sur des codes de calculs et des dispositifs de sûreté interdisant tout accès de personnes. Dans ce cas, les vérifications portent pour l'essentiel sur les zones attenantes. Pour les autres lieux de travail où des travailleurs sont susceptibles d'être présents au sein de zones délimitées, les vérifications sont réalisées au niveau des zones délimitées et attenantes, lors de l'émission des rayonnements ionisants et à l'arrêt. Comme dans le cas précédent, la mesure par intégration de doses est à privilégier. La mesure de débits d'équivalent de dose devra quant à elle être dûment justifiée en fonction des paramètres physiques du champ pulsé.

La méthodologie générale opérationnelle proposée par le GT « champs pulsés » répondant explicitement à une demande de la saisine DGT/ASN susvisée, il a été jugé utile de la reporter de façon plus détaillée en annexe du présent avis.

Cette méthodologie générale intègre plusieurs éléments formulés dans les recommandations du GT, rappelés ci-dessus.

Le GT « champs pulsés » souligne que l'ensemble des recommandations qu'il formule ainsi que la méthodologie générale opérationnelle qu'il propose ont fait l'objet d'un consensus au sein du groupe de travail.

IV – Avis du GPRP

Soulignant l'importance du travail réalisé par les experts du GT dans le temps imparti, le GPRP formule les constats et avis suivants :

1. Le GPRP prend acte du rapport, sans doute non exhaustif, qui présente de façon très détaillée un panorama des appareils émettant des rayonnements ionisants en champ pulsés, soulignant, d'une part, leur extrême diversité d'application selon les secteurs où ils sont mis en œuvre et, d'autre part, la diversité de leurs caractéristiques techniques propres (type de pulses, fréquence, intensité, durées d'émission...).

Le GPRP note qu'avec ce rapport, les autorités et acteurs de la prévention disposent pour la première fois en France d'un panorama des appareils émettant des rayonnements ionisants en champ pulsés et des secteurs d'activité concernés par de tels équipements de travail, en plein essor en particulier dans le domaine des très courtes impulsions (inférieures à la milliseconde).

Le GPRP considère que le rapport du GT répond pleinement à la demande explicite formulée par la DGT et l'ASN au travers de la saisine.

2. Sur la base d'une revue documentaire, le GT a choisi de s'appuyer sur des critères métrologiques pour proposer la définition suivante pour caractériser une émission en champ pulsés : « *un rayonnement ionisant émis par un équipement de travail, ayant un débit d'équivalent de dose variable (pulse ou modulation) pendant des intervalles de temps inférieurs à 10 secondes* ».

En l'absence d'une définition étayée et consensuelle issue d'instances internationales ou nationales ayant autorité, le GPRP recommande de retenir la définition d'un champ pulsé proposée par le GT, qui constitue une approche pragmatique pour les acteurs de terrain.

3. De ce large panorama dressé par le GT, les experts notent des temps d'impulsions qui peuvent aller de quelques centaines de millisecondes (10^{-3}) à quelques nanosecondes

(10^{-9}), voire quelques picosecondes (10^{-12}). Durant ce pas de temps, les débits de doses (exprimés en $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$) peuvent être considérables.

Dans un tel contexte et eu égard aux limites importantes de mesurage en champ pulsés, fort justement exposées dans le rapport du GT, **le GPRP estime que les dispositions antérieures portant sur des mesurages en débit d'équivalent de dose ou sur des mesurages intégrés sur une seconde pour ce qui concerne les champs pulsés n'étaient pas adaptées et finalement peu opérationnelles.** La protection des travailleurs¹ face aux rayonnements ionisants repose notamment sur des grandeurs de radioprotection, aussi **le GPRP considère que les mesurages en champ pulsés doivent en premier lieu porter sur des mesures par intégration transposables en dose efficace.**

Cette approche nécessite des informations précises relatives aux caractéristiques des émissions en champ pulsés, c'est pourquoi **le GPRP partage la recommandation du GT invitant les autorités compétentes à obtenir que les fabricants/distributeurs fournissent, dans leur documentation technique, les caractéristiques des émissions produites permettant de déterminer la dose efficace associée.**

4. Face à une telle diversité des équipements de travail, de leurs caractéristiques intrinsèques, de leurs conditions d'utilisation et tenant compte du développement en cours d'équipements encore plus sophistiqués, **le GPRP considère que l'encadrement réglementaire actuel doit être maintenu. Il vise avant tout des objectifs généraux de prévention et de protection, replaçant l'employeur face à ses responsabilités, notamment en matière de formations adaptées des travailleurs. Quant aux mesures spécifiques garantissant la maîtrise de situations de travail aussi complexes, elles devraient relever de guides techniques ou professionnels dont l'élaboration et l'actualisation régulière pourront impliquer fortement les acteurs de la radioprotection dans les secteurs concernés.**

5. Les nouvelles dispositions réglementaires introduites par le décret n° 2018-437 du 4 juin 2018², modifié par le décret n° 2021-1091 du 18 août 2021³, et la modification de l'arrêté « zonage » en janvier 2020⁴ constituent une réelle simplification de la délimitation des zones surveillées et des zones contrôlées ainsi que des zones d'opération. **Le GPRP partage les recommandations du GT invitant les administrations à conserver en l'état les dispositions réglementaires ainsi modifiées et actuellement en vigueur. Le GPRP considère qu'il n'a pu être apporté aucune justification du second critère de 100 millisieverts moyennés sur 1 seconde**

¹ A noter que si les travailleurs sont protégés, par là-même les personnes du public le sont également.

² Décret n°2018-437 du 4 juin 2018 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants

³ Décret n° 2021-1091 du 18 août 2021 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants et non ionisants

⁴ Arrêté du 28 janvier 2020 modifiant l'arrêté du 15 mai 2006 modifié relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées

délimitant la frontière entre les zones orange et rouge, introduit par le décret n°2018-437 puis retiré par le décret n°2021 -1091 précités, et qu'en conséquence il n'a pas lieu d'être réintroduit dans le code du travail.

6. En réponse à un point de la saisine DGT/ASN, le GT a proposé une méthodologie générale opérationnelle à mettre en œuvre pour une maîtrise dans la durée (vérifications) du risque radiologique autour d'équipements de travail émettant des rayonnements ionisants en champs pulsés. **Le GPRP approuve cette méthodologie fondée en premier lieu sur une démarche d'évaluation des risques, centrée sur l'estimation de la dose efficace à l'aide d'outils de mesurage adaptés ou dûment justifiés.**

7. En conclusion, il convient de souligner l'important essor, au cours de ces vingt dernières années, d'équipements de travail émettant en champ pulsés, qui couvrent maintenant tous les secteurs d'activité, mais aussi l'apparition récente d'équipements encore plus sophistiqués capables de délivrer des doses considérables sur des temps extrêmement courts. Cela doit appeler à une vigilance particulière mais également, comme le suggère le GT, un soutien appuyé à certaines activités de recherche :
 - C'est d'abord le cas de la recherche en dosimétrie et en métrologie qui devrait être soutenue, en vue de mettre à disposition des appareils de mesure adaptés à ces émissions particulières ;
 - C'est ensuite le cas de la recherche en radiobiologie, afin d'approfondir la question d'effets biologiques insoupçonnés (aggravation ou réduction des effets néfastes) qui n'a pas pour l'heure de réponse mais fait uniquement l'objet d'hypothèses. Dès lors, les répercussions possibles sur le système de radioprotection devront être traitées par les instances internationales concernées.

ANNEXE

Méthodologie générale opérationnelle

Le GT « champs pulsés » propose la méthodologie générale opérationnelle de délimitation des zones dans le contexte d'émissions en champ pulsés, résumée dans le schéma suivant :

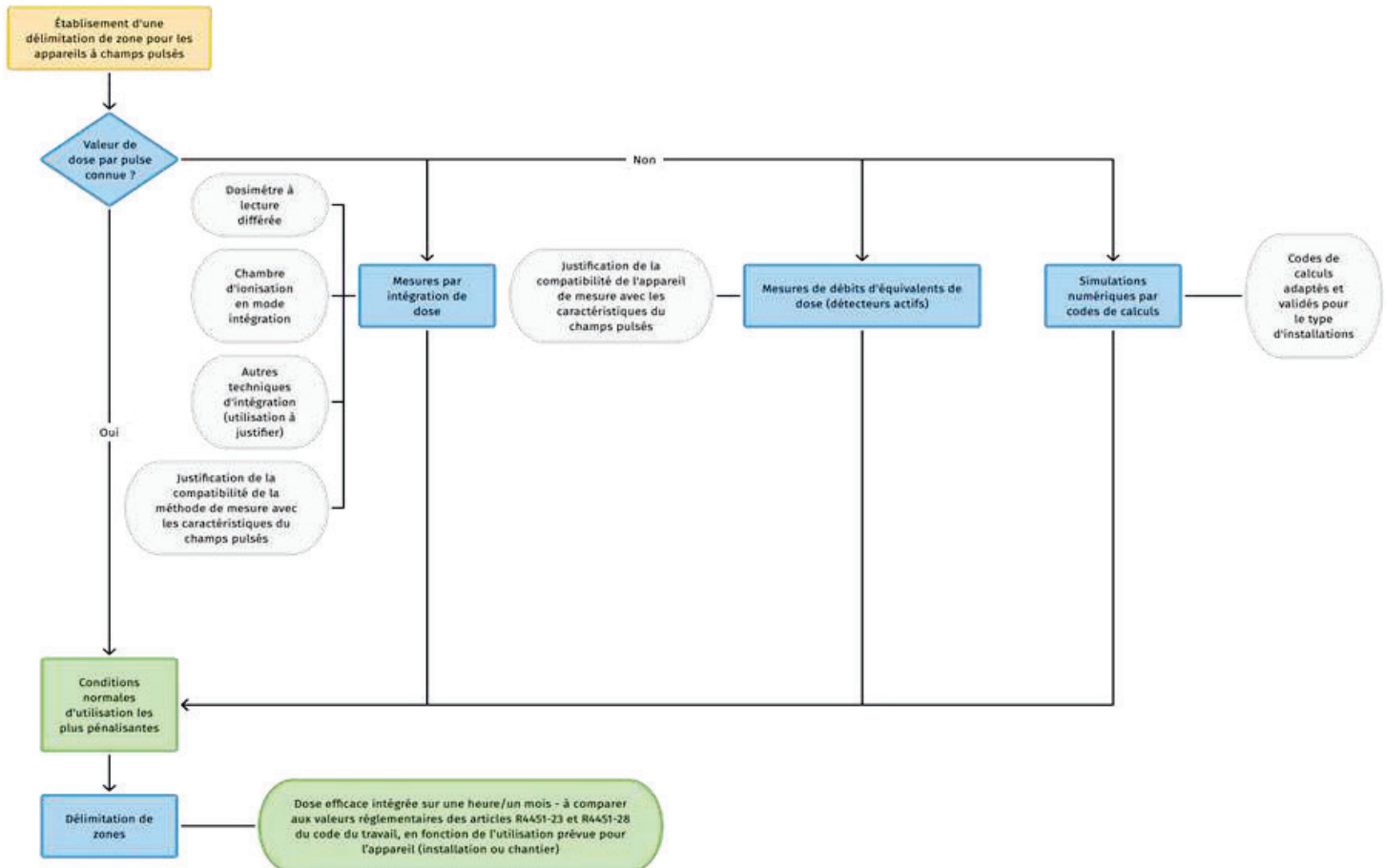


Figure 1 - Méthodologie générale opérationnelle pour la délimitation de zones a priori (Les recommandations du GT sont reprises dans les formes sur fond vert)

L'évaluation des risques au préalable repose en priorité sur une approche documentaire. L'employeur, avec l'aide du salarié compétent ou du conseiller à la radioprotection, devra obtenir les informations relatives aux caractéristiques de l'appareil émettant des rayonnements en champs pulsés. Dans le cadre de la délimitation de zones, la valeur de dose par pulse devra être obtenue (par l'intermédiaire du fabricant, du distributeur, sur la base de données provenant de la littérature ou de retour d'expérience).

Si cette valeur n'est pas connue, elle devra être mesurée soit à l'aide de techniques d'intégration (méthode à privilégier et à justifier en fonction des caractéristiques du champ pulsé), soit à l'aide de techniques actives de mesures de débits d'équivalents de dose (leur mise en œuvre devra être particulièrement justifiée en fonction des caractéristiques du champ pulsé). Dans le cas où la mesure ne serait pas possible, des codes de calculs de transports et d'interaction de particules pourront être utilisés. Il sera toutefois nécessaire de s'assurer de l'adéquation du code utilisé avec les paramètres physiques du champ pulsé

(domaine d'énergie, types de particules et interactions possibles...). Leur mise en œuvre devra être assurée par des personnes ayant la compétence et l'expérience nécessaires.

À partir de la valeur de dose par pulse obtenue, la délimitation de zones *a priori* se basera sur les conditions normales d'utilisation les plus pénalisantes, afin de déterminer la dose efficace intégrée sur une heure/ un mois et comparer la valeur obtenue aux valeurs réglementaires.

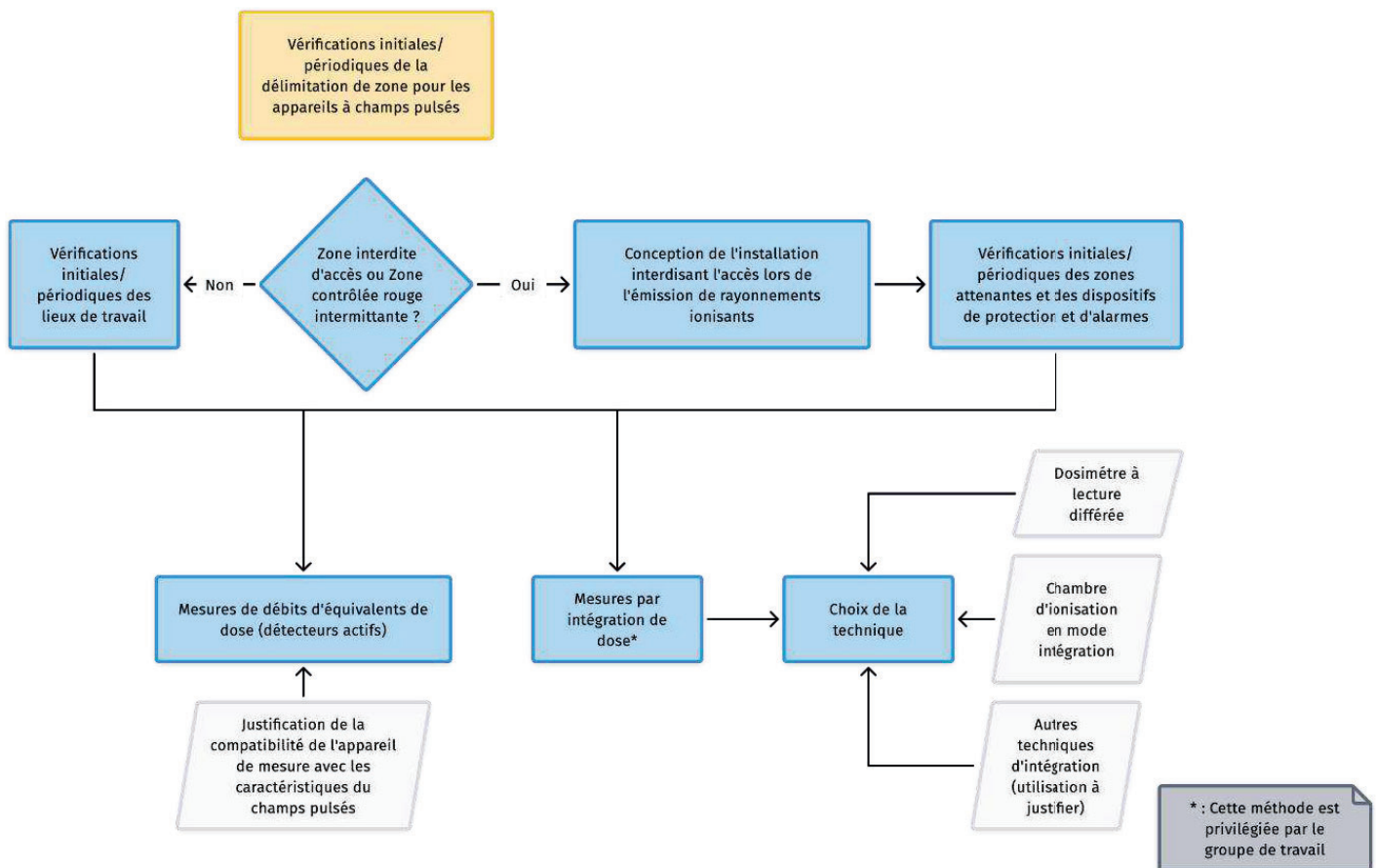


Figure 2 - Méthodologie générale de vérification de la conformité de la délimitation de zones

En fonction des résultats de l'évaluation préalable des risques et de la délimitation de zones *a priori*, plusieurs cas de figures sont à prendre en compte pour la réalisation des vérifications initiales et périodiques :

Dans le cas d'une zone à accès interdit lors de l'émission de rayonnements ionisants, les vérifications initiales et périodiques par mesurage au sein des lieux de travail ne sont pas nécessaires. La conception de l'installation doit alors prévoir les dispositifs de protection et de signalisation permettant de garantir l'absence de travailleurs dans les zones à accès interdit, dès lors que l'émission de rayonnements est possible. Cette conception - relevant de la sûreté et donc des rapports préliminaires de sûreté - doit reposer sur des normes existantes ou sur des spécifications réglementaires. Lors de l'émission de rayonnements ionisants, les vérifications initiales et périodiques des zones attenantes et des dispositifs de protection et de signalisation sont à réaliser, en utilisant préférentiellement des mesures par intégration de dose en des points représentatifs. La mesure de débits d'équivalents de dose devra être

dûment justifiée sur la base des paramètres physiques du champ pulsé. Les vérifications initiales et périodiques seront réalisées dans la zone concernée afin de vérifier la délimitation une fois l'émission des rayonnements ionisants arrêtée, en particulier lors de l'existence de risques d'activation de matériaux. Dans cette configuration, la mesure de débits d'équivalents de dose par détecteur actif est possible.

Si aucune zone à accès interdit n'est mise en place, les vérifications initiales et périodiques seront réalisées au niveau des zones délimitées et attenantes, lors de l'émission des rayonnements ionisants et à l'arrêt. Comme dans le cas précédent, la mesure par intégration de doses est à privilégier lors de l'émission de rayonnements ionisants en champs pulsés. La mesure de débits d'équivalent de dose devra quant à elle être dûment justifiée en fonction des paramètres physiques du champ pulsé.