



Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur de l'Informatique et de l'Imagerie
Unité Mixte de Recherche CNRS / Université de Strasbourg

Plateforme ACACIA

La radioprotection



Novembre 2016, la PCR de ICube

Introduction

Le présent guide a pour objectif d'énoncer les règles de sécurité qui ont été mises en place autour de la plateforme faisceau d'ions (ACACIA) de ICube. Il est destiné à toutes les personnes concernées par l'utilisation et la mise en œuvre d'expériences autour de cette installation.

Après une brève description des activités qui y sont menées, les différents aspects techniques liés à la radioprotection sont abordés. Les règles de sécurité particulières adaptées à la plateforme ACACIA de ICube sont ensuite détaillées.

Les aspects généraux vis-à-vis de la radioprotection et les effets des radiations sur l'homme sont décrits dans le « guide de la radioprotection » en annexe qui est un extrait du guide édité par le CNRS. Seules les parties concernant nos installations y figurent.

II/ Présentation de la Plateforme

Activité de recherche, analyse et formation

III/ La Radioprotection auprès de la plateforme

A / Cas de l'accélérateur 4MV

- 1) Mise en œuvre d'analyse par faisceaux d'ions
- 2) Mise en œuvre d'implantation ionique à haute énergie
- 3) Les lignes de faisceaux
- 4) Le tube accélérateur

B / Cas de l'implanteur EATON

III / Les règles de sécurité appliquées à la plateforme

Système d'Alarme faisceau de l'Accélérateur Van De Graff

Annexes : Guide de la radioprotection.

I // Présentation de la Plateforme

- ❖ activité de recherche en Physique des matériaux
- ❖ analyse des matériaux
- ❖ formation
- ❖ accueil de chercheurs

ICube dispose d'une plateforme "faisceaux d'ions" qui comprend un implantateur EATON 200 kV moyen courant et un accélérateur Van de Graaff 4 MV délivrant une large gamme de faisceaux d'ions (énergie allant de 1 keV à 4 MeV) utilisés pour synthétiser, modifier ou analyser des matériaux.

L'accélérateur 4 MV est équipé de trois lignes de faisceaux :

- ***une ligne standard dédiée aux analyses RBS, ERDA, NRA, PIXE avec possibilité de mesures en canalisation. Cette ligne aboutit à une station terminale qui est commune à l'implanteur 200 kV.***
- ***une ligne d'implantation haute énergie / irradiation permettant de traiter des échantillons sur quelques cm² jusqu'à 800°C.***
- ***une ligne munie d'un système ultra-rapide (1 ns, 25 kHz) de pulsation du faisceau.***

Les activités scientifiques qui sont menées sur ces installations sont centrées sur la physique des matériaux qui sont modifiés par l'apport d'énergie des ions pénétrant et par l'apport de matière lors de l'implantation de ces ions.

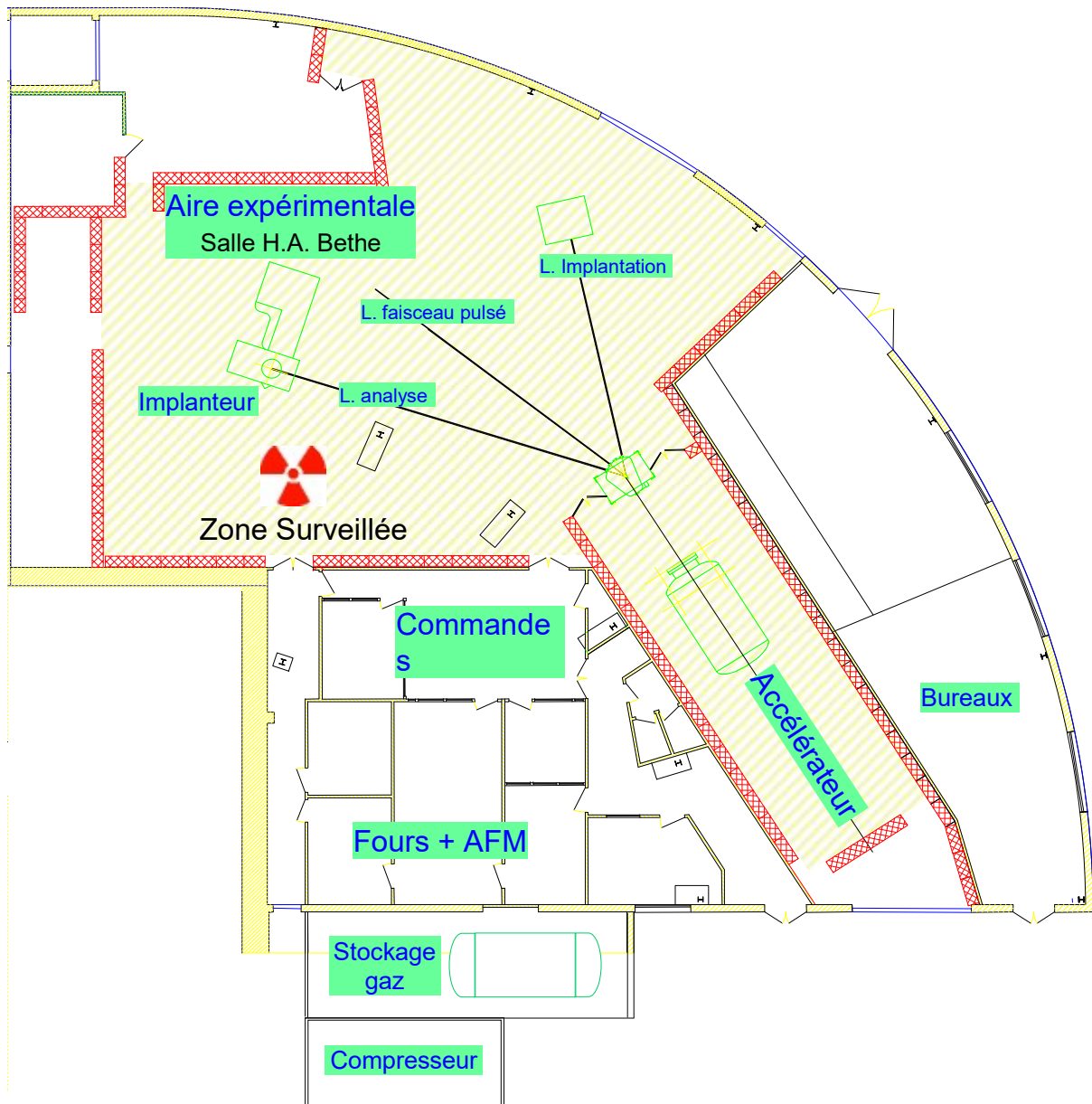
L'autre volet de l'activité de la plateforme consiste à analyser les matériaux. La spectroscopie des particules ou rayonnements émis lors des collisions avec les constituants de l'échantillon à analyser permet d'en déduire la composition qualitative et quantitative.

Enfin, le laboratoire assure des enseignements avec des travaux pratiques à différents niveaux sur le thème de l'utilisation des faisceaux d'ions à des fins d'analyse ou de modification des matériaux (master, IUT) et accueille des étudiants en thèse et des stagiaires de tous niveaux.

De par son aptitude à mettre cet équipement à la disposition de la communauté scientifique, le laboratoire accueille également des chercheurs extérieurs qui y viennent pour mener à bien leurs propres expériences.

L'ensemble de ces équipements est situé dans la bâtiment 30 du campus de Cronembourg :

Bâtiment 30



II/ La Radioprotection de la plateforme FI

Le caractère ionisant des rayonnements émis lors des interactions qui peuvent se produire entre les ions et la matière impose au laboratoire d'obtenir l'**autorisation** de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) de détenir de tels équipements et ainsi de faire respecter certaines règles de sécurité notamment vis-à-vis de la radioprotection.

Ces **règles** sont décrites dans le Code du Travail (article R4451 à 4457) et le Code de la Santé Publique (article R1333-1 à 112).

Au laboratoire il existe un risque d'exposition dû aux radiations électromagnétiques (X et γ) et corpusculaires (particules α , protons, β et neutrons).

Les faisceaux d'ions de la plateforme ne sont utilisés que par des personnels qualifiés qui, du fait de leur formation, doivent être à tout moment en mesure d'apprécier les risques encourus, notamment la possibilité d'émission radioactive. Il est clair que même si toutes les protections réglementaires sont en place, la vigilance individuelle reste toujours de rigueur pour assurer une totale efficacité des mesures de sécurité.

A / Cas de l'accélérateur 4MV

1) Mise en œuvre d'analyse par faisceaux d'ions

Elles sont basées sur la diffusion de particules légères (H^+ , He^+) ou la production de réactions nucléaires par des H^+ , D^+ ou He^+ .

Un principe de précaution simple est le suivant : l'utilisateur doit savoir quelles sont les réactions nucléaires susceptibles de se produire lorsqu'il bombarde un échantillon dont il connaît la composition (au moins pour les éléments présents en proportion importante).

Dans le cadre des utilisations courantes (rétrodiffusion, faisceau 4He de quelques MeV) les mesures montrent que les niveaux de radioactivité engendrés à proximité des échantillons irradiés sont tels qu'ils ne nécessitent normalement pas de protection particulière.

La mise en œuvre d'une réaction nucléaire doit par contre être considérée au cas par cas, les instruments de contrôle sont disponibles si nécessaire. La nature des faisceaux incidents (ions légers) et les énergies mises en jeu (< 4 MeV) limitent les réactions à quelques éléments légers du tableau périodique, qui sont parfaitement connues et répertoriées dans les ouvrages spécialisés consacrés à l'analyse par faisceaux d'ions.

Dans un grand nombre de situations, l'enceinte dans laquelle l'échantillon est placé sous vide suffit pour réduire ou arrêter totalement les photons ou particules chargées émises au cours des réactions. L'exception, notoirement connue, provient des réactions de type (d,n) ou (3He,n) qui produisent des neutrons énergétiques qui appellent une vigilance particulière. Un dispositif de sécurité adapté à cette situation est mis en place lors de telles mesures (cf. § III.3)





2) Mise en œuvre d'implantation ionique à haute énergie

Contrairement au cas des analyses où on utilise des faisceaux d'ions légers (p, ^4He) avec de faibles intensités de courant (quelques dizaines de nA), dans le cas des implantations on a généralement recours à des faisceaux d'ions plus lourds (N, Ar, Kr...) de plus forte intensité (quelques dizaines de μA). Du fait de la barrière coulombienne, il n'y a donc pas de réactions nucléaires, et c'est le rayonnement X dû à l'ionisation des couches K qui doit être pris en compte pour l'estimation de la radioactivité.

L'épaisseur de l'enceinte de la chambre d'implantation suffit pour réduire la dose en dessous des limites réglementaires ce qui est confirmé par les mesures de radioactivité lors de telles expériences.

3) les lignes de faisceaux

Les ions circulant dans les lignes de faisceaux ne subissent pas d'interaction avec les matériaux le constituant à quelques exceptions près :

-  1 les cages de Faraday : ces éléments permettent, par interposition d'une système métallique, de mesurer l'intensité du faisceau d'ions sur leur parcours à différents endroits.
-  2 les diaphragmes interposés dans le faisceau pour en réduire sa taille et éviter les diffusions multiples.
-  3 les lèvres de stabilisation situés à la sortie de l'aimant : une partie du faisceau est prélevé par cet élément pour assurer la stabilité en énergie de l'accélérateur.
-  4 l'aimant d'analyse : une des fonctions de l'aimant est le tri en masse et en énergie du faisceau ; les faisceaux secondaires sont donc arrêtés dans la chambre de l'aimant à différents angle de déviation.

Dans l'ensemble de ces éléments disposés le long des lignes de faisceaux, la totalité ou une partie des ions sont arrêtés et perdent toute leur énergie dans cette pièce. Le rayonnement γ ou X engendré est donc très localisé et peut atteindre des valeurs de quelques $\mu\text{S/h}$ (au contact) en fonction de l'intensité du courant du faisceau.

On veillera en particulier à effectuer des mesures de contrôle de radioactivité à proximité de ces différents éléments ; ces mesures sont régulièrement effectuées par la Personne Compétente en Radioprotection (PCR) lors de contrôles périodiques afin de les évaluer. Il faut rappeler que le niveau du rayonnement varie en $1/r^2$; s'éloigner de ces éléments suffit pour atteindre des niveaux acceptables et bien évidemment il convient d'éviter de stationner à proximité de ces emplacements. Ces derniers sont repérés sur la figure de la page 8.

4) le tube accélérateur



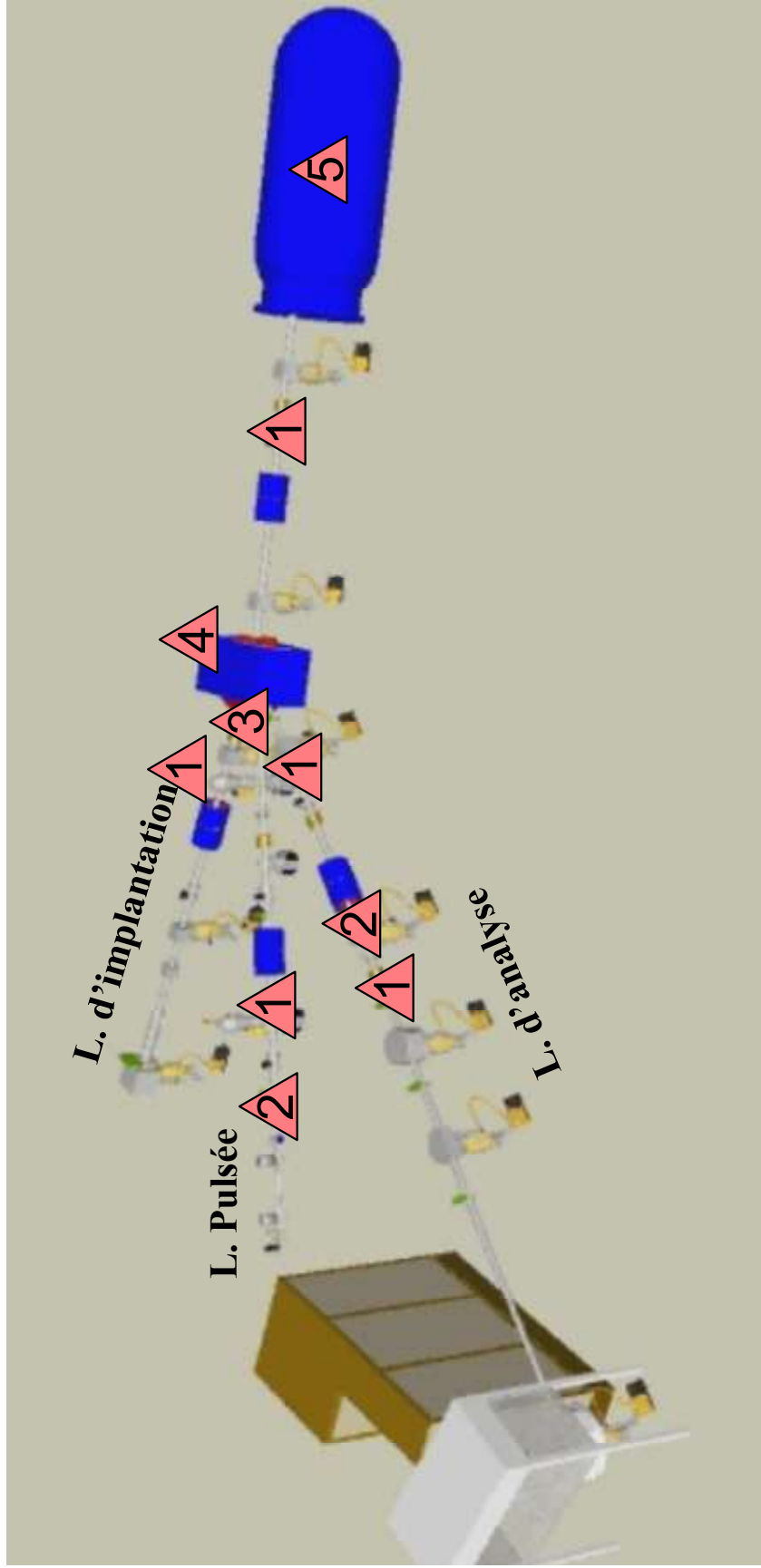
Dans les accélérateurs d'ions, il faut veiller aux électrons qui pourraient être accélérés accidentellement à des énergies élevées au sein des tubes accélérateurs. Le rayonnement de freinage (R X) émis par les électrons énergétiques présente un réel danger auquel il faut être attentif.

Le tube actuellement en service est fabriqué par HVEE. Il est constitué d'électrodes inclinées en titane munies d'un système de suppression magnétique des électrons. Ceci empêche la création d'un faisceau parasite d'électrons accélérés dans le tube engendrant un rayonnement électromagnétique. Les mesures de contrôle confirment bien l'efficacité de ce dispositif.

B / Cas de l'implanteur EATON

Les énergies mises en jeu ici (< 200 keV) ne peuvent conduire qu'à une émission de rayonnement X lors du passage des ions dans la matière.

Pour protéger l'utilisateur, les cloisons entourant l'implanteur sont tapissées d'une feuille de plomb de 3 mm. Les mesures qui ont été effectuées dans différentes conditions expérimentales confirment que dans la pratique, on reste en-dessous des limites fixées par les normes de radioprotection en vigueur.



III // Les règles de sécurité appliquées à la plateforme ACACIA

L'étude de poste (partiellement décrite ci-dessus) conduit à un classement de l'ensemble du hall d'expérience (salle H.A. Bethe) en zone surveillée durant le fonctionnement de l'installation (voyant rouge allumé dans la zone). Elle est délimitée par un mur en béton baryté de 50cm d'épaisseur. A l'arrêt de l'accélérateur, la zone est publique.

La réglementation nous impose donc de mettre en œuvre un certain nombre de mesures de sécurité.



1) l'**accès** à cette zone est strictement **réglementé** :

Le point d'accès à la zone se fait par la porte P3. Le passage zone public (machine à l'arrêt) en zone surveillée (machine en route) est matérialisé par le voyant rouge au point d'accès P3 et dans le hall.

Les accès au hall sont tous munis du pictogramme (trèfle gris).

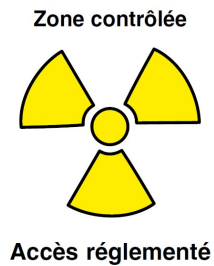
L'accès au bâtiment 30 n'est possible qu'avec un badge délivré par le Laboratoire.

Seules les personnes munis de **dosimètres** nominatifs peuvent accéder dans la zone. Les dosimètres sont soit gérés par ICube soit par le laboratoire d'appartenance pour les personnes extérieures au laboratoire. Les autres personnes peuvent accéder dans le hall en limitant leur présence au maximum et doivent s'inscrire dans un registre prévu à cet effet. Ils seront obligatoirement accompagnés par une personne habilitée du laboratoire dont la liste figure sur la porte P3. **Il est rappelé que l'exposition aux radiations des femmes enceintes doit être aussi réduite que possible et en tous les cas inférieure à 1mSv/an.**

2) un système de 2 clefs prisonnières a été mis en place pour empêcher l'accès physique, par 2 grilles P1 et P2 au niveau de l'aimant, dans la zone autour de l'accélérateur quand celui-ci est en fonctionnement.

3) un dispositif particulier est mis en place en cas d'utilisation d'un faisceau de **deutons** : l'accès dans le hall est dans ce cas interdit et l'ouverture d'une des 2 portes P3 ou P4 stoppe le faisceau à la sortie de l'accélérateur par la mise en place de la cage de Faraday de la ligne directe. Ce dispositif est géré par l'automate de contrôle/commande, son fonctionnement et sa mise en oeuvre sont détaillés dans la partie « Système alarme faisceau de l'accélérateur Van De Graff de ICube » à la fin de ce paragraphe. Cette zone inaccessible sera classée en zone contrôlée jaune, un

panneau de signalisation réglementaire sera apposé à l'entrée du hall (porte P3) indiquant l'interdiction de l'accès et le classement de la zone uniquement en présence d'un faisceau de deuton.

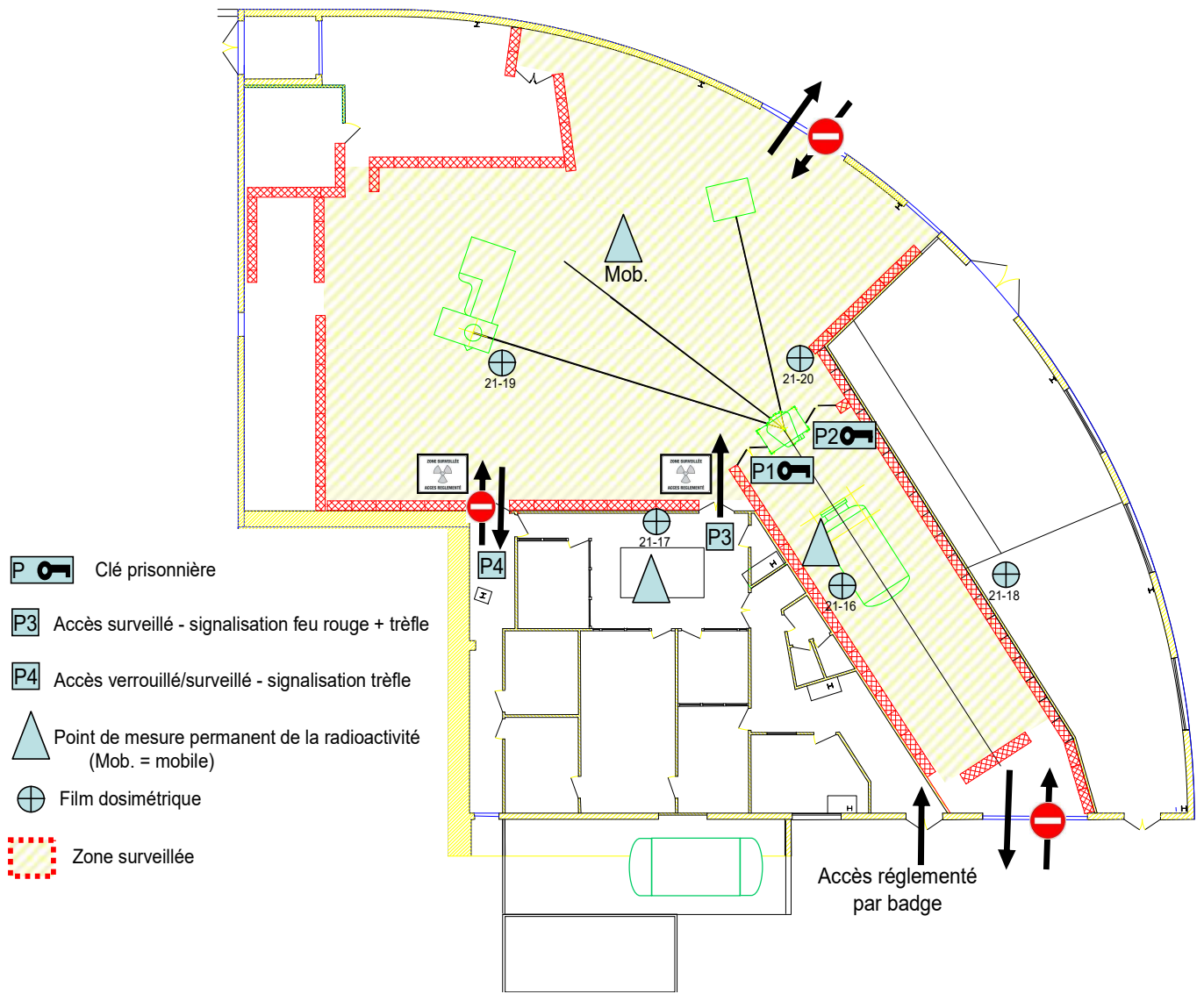


4) le **contrôle de la radioactivité** dans la zone surveillée est continu : un système de mesure est installé dans le hall à côté de l'accélérateur, un autre (mobile) permet de contrôler le niveau de radioactivité à différents endroits. Un contrôle permanent est également assuré au niveau du pupitre de commande.

Afin d'avoir une estimation de la radioactivité intégrée dans le temps (3 mois), des dosimètres à film sont disposés à côté de l'accélérateur, sur les lignes de faisceau, dans les bureaux et dans la salle de commande. Les rapports de dosimétrie d'ambiance ainsi que les mesures périodiques réglementaires peuvent être consultés auprès de la PCR.

5) La **formation** du personnel sur les risques radiologiques est réalisée en interne au sein du laboratoire. Elle est dispensée par la PCR aux personnes amenées à intervenir régulièrement dans les locaux de la zone surveillée. Le présent document est remis à ces personnes à l'issue de cette formation.

6) Une signalisation de la conduite à tenir en **cas d'accident** est affichée à l'entrée du hall de la plateforme ; sont notamment indiqués les numéros d'urgence des différents services à prévenir. D'autre part tout incident ou accident doit être signalé à la PCR.



SYSTEME ALARME FAISCEAU DE L'ACCELERATEUR VAN DE GRAFF DE ICube

Sous certaines conditions de manipulation il s'avère nécessaire d'interdire l'accès au hall de l'accélérateur Van de Graff. Dans l'hypothèse où une personne y entrerait quand même un dispositif asservi à l'ouverture des portes du hall permet d'isoler le faisceau sur la ligne de sortie de l'accélérateur dans une zone inaccessible fermée par des portes grillagées.

La procédure décrite ci-après détaille la suite des opérations à effectuer pour se mettre dans ces conditions d'exploitation.

LES DISPOSITIONS SUIVANTES CONCERNENT LES PERSONNELS FORMES ET HABILITES A L'EXPLOITATION DE L'ACCELERATEUR VAN DE GRAFF

Utilisation de l'accélérateur sans ALARME FAISCEAU (position **HORS SERVICE** du contact **ALARME FAISCEAU**)

- a) Régler au préalable les paramètres d'analyse magnétique pour la ligne de faisceau prévue
- b) Amener l'accélérateur à la tension désirée en veillant à maintenir l'effluve corona à une vingtaine de μAmp
- c) A ce stade le sélecteur de mode de stabilisation est sur **MANUEL**
- d) Veiller à ce que la ligne de faisceau prévue soit en condition pour recevoir le faisceau
 - Ligne sous vide
 - Raccordement des lèvres de stabilisations
 - Branchement des faraday cup
- e) Engager la faraday cup de la ligne L0
- f) Extraire le faisceau de l'accélérateur et ajuster les réglages de pression et de focalisation en vérifiant la présence du faisceau sur la faraday cup de la ligne L0
- g) Ouvrir les vannes de la ligne de faisceau et engager la (ou les) faraday cup
- h) Dégager la faraday cup de L0 et ajuster les réglages pour obtenir une lecture maximum du courant de faisceau sur la faraday cup de la ligne
- i) Positionner le sélecteur de mode de stabilisation sur **GVM** et attendre quelques secondes pour avoir une lecture égale à 0 sur le cadran **CONTROL RANGE** (si cette condition n'est pas atteinte revenir en h et reprendre les réglages)
- j) Placer ce sélecteur en position **SLIT** et reprendre les différents réglages pour une lecture maximum du courant de faisceau sur la faraday cup. L'accélérateur se trouve alors en mode stabilisation

A ce stade il est possible d'utiliser l'accélérateur en mode alarme faisceau en positionnant le contact alarme faisceau sur la position **EN SERVICE** (voyant en service allumé en face avant du module de stabilisation).

Utilisation de l'accélérateur avec ALARME FAISCEAU

(position **EN SERVICE** du contact alarme faisceau)

L'utilisation de l'accélérateur en mode alarme faisceau stipule que l'accès au hall est proscrit quand le faisceau est dévié sur l'une des lignes. Dans le cas où une personne pénétrerait dans le hall l'ouverture de l'une des portes provoquerait l'engagement de la cage de faraday de L0 bloquant ainsi le faisceau sur L0. Ceci a pour conséquence de sortir l'accélérateur du mode stabilisation et de déclencher une alarme sonore et lumineuse au pupitre:

Description de la procédure pour reprendre le mode stabilisation.

- (1) Refermer les portes d'accès au hall
- (2) Positionner le sélecteur de mode de stabilisation sur **MANUEL**
- (3) Positionner la commande de la cage de faraday de L0 sur **ENGAGEE** ainsi que la commande de la faraday cup de la ligne
- (4) Acquiter l'alarme faisceau par une action sur le poussoir **ACQUITEMENT ALARME FAISCEAU**
- (5) Positionner le contact alarme faisceau sur **HORS SERVICE**

A ce moment il est possible de pénétrer dans le hall, le faisceau est toujours stoppé sur L0 ou de continuer les réglages en reprenant la procédure telle qu'elle est décrite à la ligne (h)