



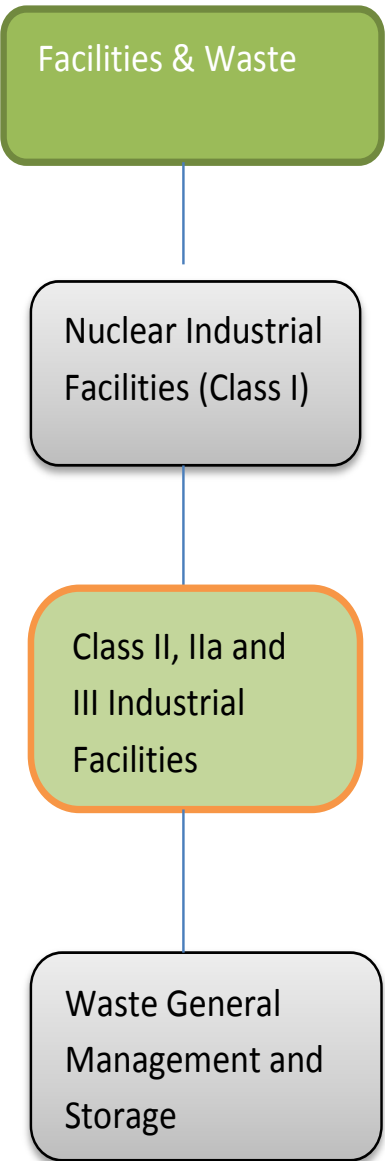
# **RADIATION PROTECTION IN INDUSTRIAL INSTALLATIONS**

**Pascal Carlier & Ludo Jadoul**



**November 20th, 2015**





# Class IIa

some examples:



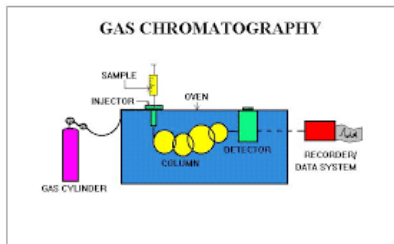
## Class II

some examples:



## Class III

some examples:



# Radiation protection

## *Problems*

- ✓ A lot of specific applications
- ✓ A large variety of work site conditions
- ✓ Lack of defence in depth (relative to fuel cycle operations)
- ✓ Personnel limitations due, in many instances, to the small size of the organizations involved





## ***What is needed?***

- ✓ Strong emphasis on worker training
- ✓ Seeking best practices

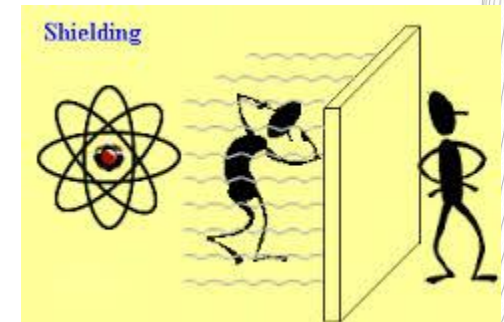
## ***General application of regulation***

- ✓ Justification
- ✓ Optimisation – alara
- ✓ Dose limits – dose constraints

## *General protection principles*

- ✓ Distance to sources
- ✓ Time
- ✓ Collective and individual protection devices

KEEP YOUR DISTANCE





*Very important:*  
● **PROCEDURES/TOOLBOXES**

- ✓ Provide education
  - ✓ Procedures understood by the workers
  - ✓ Procedures applied by the workers
- 
- 
- 



# *How to draft procedures/toolboxes*

- ***Gain all possible usefull information:***
  - ✓ What equipment is used (protection included)
  - ✓ Which tasks have to be performed near the equipment
  - ✓ Which information (education) has to be provided to the workers (directly involved – indirectly involved)

## Points of attention



- ✓ Organisation of work (only workers of the facility or/and outside workers – one, two or more shifts, ...)
- ✓ Female workers
- ✓ Location of the equipment and the environment (sources easy accessible or not, limited access to the workplace)
- ✓ Radiological risks (dose, zone, contamination)

- ✓ Classic/conventionnel risks (mechanical, chemical, fire, explosion, ...)
- ✓ Ambient factors (ventilation, noise, heat, light, ...)
- ✓ Signalisation
- ✓ Classification of workers
- ✓ Incidents/accidents (REX)



November 20th, 2015



November 20th, 2015



November 20th, 2015

# Class IIA

## Research



## Sterilization facilities

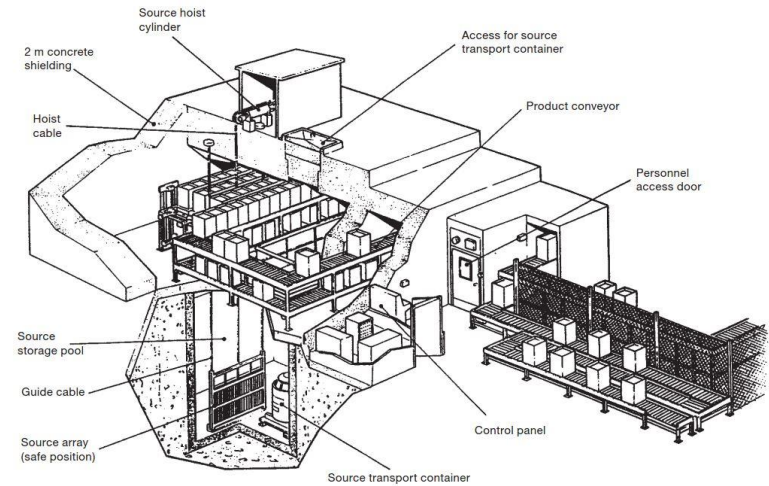


FIG. 3. Category IV gamma irradiation facility: Panoramic wet source storage irradiator.

## Radiopharmaceutical production



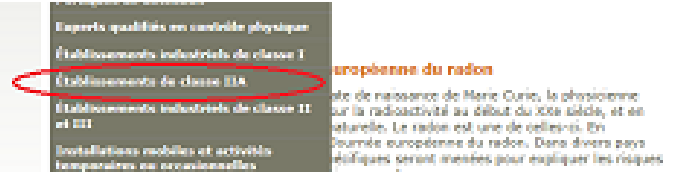
**Producer of high activity sealed sources (for gammagraphy or HDR brachytherapy)**





<b>"class IIA" licensees :</b>	<b>13</b>
<b>containing :</b>	
<b>Industrial irradiators</b>	<b>2</b>
<b>Research irradiators</b>	<b>3</b>
<b>Cyclotrons</b>	<b>12</b>
<b>Cyclotrons awaiting dismantling</b>	<b>5</b>
<b>Radionuclides conditioner</b>	<b>1</b>
<b>Cyclotron suppliers</b>	<b>1</b>

# More informations on FANC website



## Safety report required for class IIA

**FANC AFCN**  
federal agentschap voor nucleaire controle  
agencia federata de controlul nucleare

**NOTA** Nummer: 007-131, rev.1  
datum: 2009-04-16

**NOTE**

Hertaling: 1  
Aantal bladzijden: 35  
Aantal bijlagen: 1

**Titel:** Aanbevelingen voor de Organisatie van de Stralingsbescherming in Bestralingsinstallaties met Hoge Dosisdebieten

**Recommandations pour l'Organisation de la Radioprotection au sein des Installations d'Irradiation à Débits de Dose Élevés**

**Samenvatting / Résumé:** Bestralingsinstallaties kunnen aanleiding geven tot belangrijke blootstellingen aan ioniserende straling. Bij normaal gebruik en bij aanwezigheid van de nodige beschermingsmaatregelen genereren deze installaties zelden een hoge blootstelling voor de gebruikers ervan of voor het publiek. Daarentegen kan het verlies van de controle over de installatie of de beschadiging van de bronnen leiden tot ontoelaatbare gevolgen voor personen en milieu.

In deze nota worden een aantal vereisten opgesteld waaraan dergelijke installaties, als ook de organisatie van de installatie, moeten voldoen om de risico's verbandt aan een dergelijke installatie zo laag als mogelijk te houden. Naast een goed ontwerp, de nodige afscherming en de nodige veiligheidsuitrustingen, zijn een praktisch stralingsbeschermingsbeleid, een gedegen opleiding en training van de operatoren en kwaliteitsafgekeurde procedures eveneens van belang.

Les installations d'irradiation peuvent être le théâtre d'expositions importantes aux rayonnements ionisants. En fonctionnement normal et lorsque les mesures de protection nécessaires sont prises, ces installations ne génèrent pas d'exposition élevée pour les utilisateurs ou pour le public. Par contre, la perte du contrôle de l'installation ou l'endommagement des sources peut avoir des conséquences inadmissibles pour les personnes ou l'environnement.

Cette note énumère une série de prescriptions auxquelles ces installations, ainsi que l'organisation de l'exploitation, doivent répondre afin de réduire au maximum les risques inhérents à ce type d'installations. Une politique proactive en matière de radioprotection, une formation appropriée des opérateurs et des procédures d'un haut niveau de qualité sont importantes tout comme une bonne conception, un blindage suffisant et les équipements de sauvegarde nécessaires.

**FANC AFCN**  
federal agentschap voor nucleaire controle  
agencia federata de controlul nucleare

**NOTA** Nummer: 009-078, rev.0  
Datum/déc: 2009-04-16

**NOTE**

**Titel:** Rapport de Synthèse de Campagne d'Inspection Installations d'Irradiation à Débits de Dose Élevés (priorité 1)

**Syntheseverlag van de Inspectiecampagne Bestralingsinstallaties met Hoge Dosisdebieten (prioriteit 1)**

**Samenvatting / Résumé:** Suite à l'accident d'irradiation au sein de l'entreprise Sterigenis, sur le site de Fleurus, FANC a immédiatement imposé à Sterigenis une série de mesures destinées à renforcer la sûreté sur le site.

L'AFNC, en collaboration avec les organismes agréés, a également effectué une analyse de la sûreté de certaines installations des établissements de classe II présentant un risque d'exposition à de hauts débits de dose. Elle a également mis sur pied une campagne d'inspection afin de contrôler l'état de la sûreté dans ces établissements et, là où c'est indiqué, y faire apporter des améliorations.

L'AFNC donne dans ce dossier d'information un résumé de cette analyse des installations concernées, ainsi que les recommandations visant à porter la sûreté de ces installations au plus haut niveau.

**Samenvatting:** Ingevolge het bestralingsongeval bij het bedrijf Sterigenis op de site van Fleurus heeft het FANC onmiddellijk een aantal maatregelen opgelegd aan Sterigenis om de veiligheid op de site te verhogen.

Het FANC heeft tevens, in samenwerking met de erkende installaties, een analyse doorgevoerd van de veiligheid van bepaalde installaties van inrichtingen van klasse II die een blootstellingsrisico aan hoge dosisdebieten inhouden. Het heeft ook een inspectiecampagne georganiseerd om de veiligheidsstand van deze inrichtingen te controleren en, daar waar aanpak was vereist, verbeteringen door te voeren.

In dit informatiebureau geeft het FANC een samenvatting van deze analyse van de betrokken installaties, evenals aanbevelingen om de veiligheid van deze installaties maximaal te verhogen.

Nota nr. 007-131, rev.1

**FANC AFCN**  
federal agentschap voor nucleaire controle  
agencia federata de controlul nucleare

**NOTA** Nummer: 009-176 Rev. 1  
datum: 2010-09-25

Nombre de pages - Aantal bladzijden: 45

**Titel - Titel:** Elaboration d'un rapport de sûreté pour les établissements de classe IIA - Définition des exigences minimales

**Uitwerking van een veiligheidsverslag voor de inrichtingen van Klasse IIA - Bepaling van de minimumvereisten**

**Samenvatting / Résumé:** Un rapport de sûreté est requis pour les demandes d'autorisation d'exploitation de nouvelles installations de classe IIA mais également pour les établissements de classe IIA existants. Pour ces derniers, une mesure transitoire de trois ans est d'application (avec un plan de travail contrôlé par le VI) dans le but de la re-autorisation globale de ces établissements.

Ces exigences minimales sont complémentaires à celles de la note 007-131, rev.1 :

« Organisation de la Radioprotection au sein des installations d'irradiation susceptibles de provoquer des Doses Élevées », §3.3. Dossier de sûreté (La structure du dossier de sûreté des Installations Nucleaires de Base de classe II sera définie par l'Agence).

**Samenvatting:** Toepassingsgebied van deze nota

Het veiligheidsbeleid is vereist voor de vergoedingsaanvragen voor de uitbouw van nieuwe inrichtingen klasse IIA, maar tevens voor de reeds bestaande inrichtingen klasse IIA. Voor deze laatste is een overgangsmaatregel van 3 jaar van toepassing (met een werkplanning gecontroleerd door het VI) met de bedoeling deze inrichtingen globaal te herautoriseren.

Deze minimumvereisten zijn aanvullend aan deze uit de nota 007-131, rev.1 : « Organisation van de Stralingsbescherming in Bestralingsinstallaties met Hoge Dosisdebieten », § 3.3. Veiligheidsdossier (de structuur van het veiligheidsdossier van de Nucleaire Basisinstallaties van Klasse II zal door het Agentschap worden bepaald).

**Annexes:** Concordance entre l'article 7.2. de l'Arrêté Royal du 20 Juillet 2001 et la définition des exigences minimales pour l'élaboration d'un rapport de sûreté pour les établissements de classe IIA.

**Altoes:** Overeenstemming tussen artikel 7.2. van het KB van 20 Juli 2001 en de bepaling van de minimumvereisten voor de uitwerking van een veiligheidsverslag voor de inrichtingen Klasse IIA.

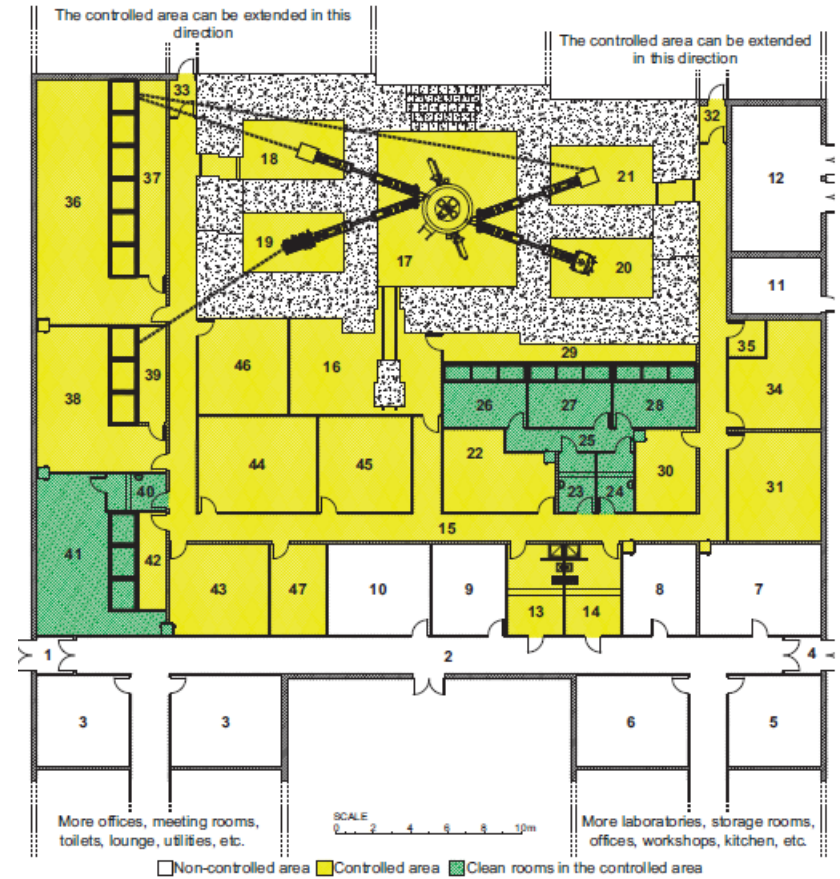
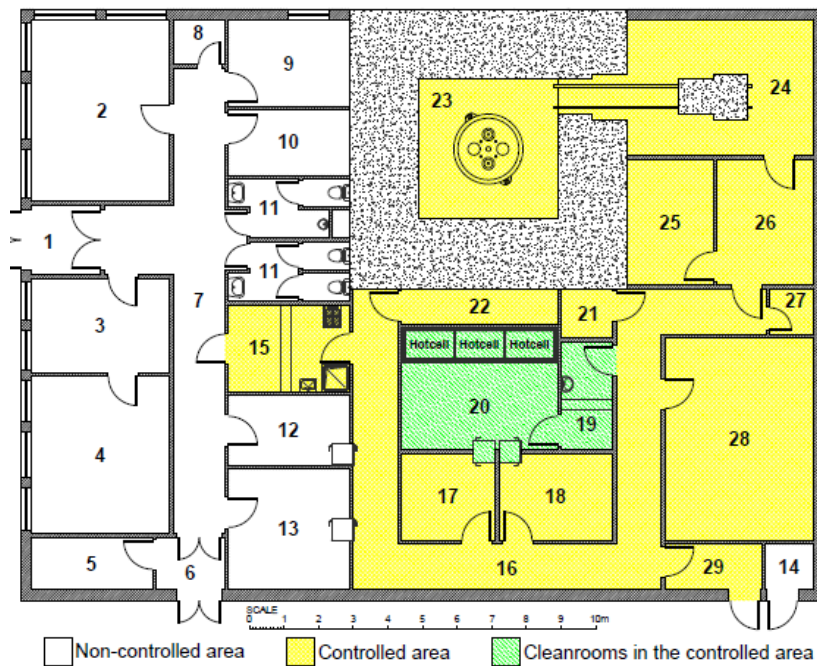
# Radiation protection in cyclotron facility for radiopharmaceutical production

Cyclotron facility that is suitable for radiopharmaceutical production can be divided into two areas:

- Non-controlled area with or without access control.
- Radiological controlled area, with (normally) strict access control.

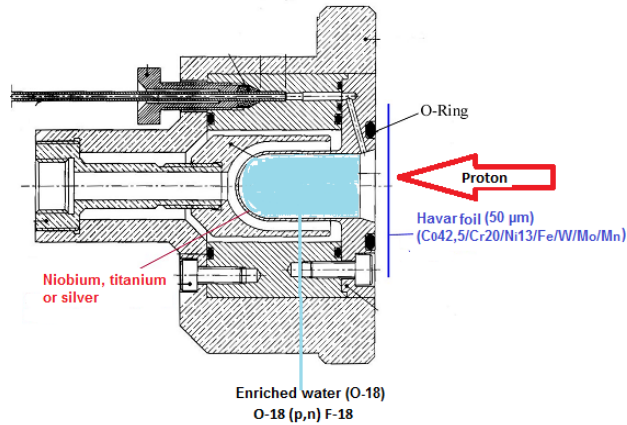
# Cyclotron facilities: controlled area

- Cyclotron's bunker (sometimes with beam lines to other casemate),
- Maintenance area (essentially for target),
- Radiopharmaceutical area (production laboratories with hotcells for production and dispensing),
- QC laboratory (low activity)
- Packaging/shipping
- Storage space for batch samples and radioactive waste.
- Air extraction system : potentially contaminated

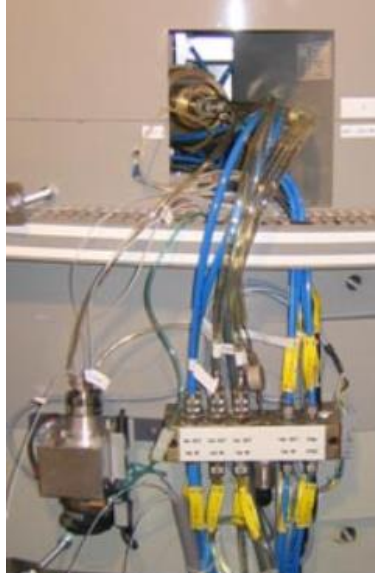
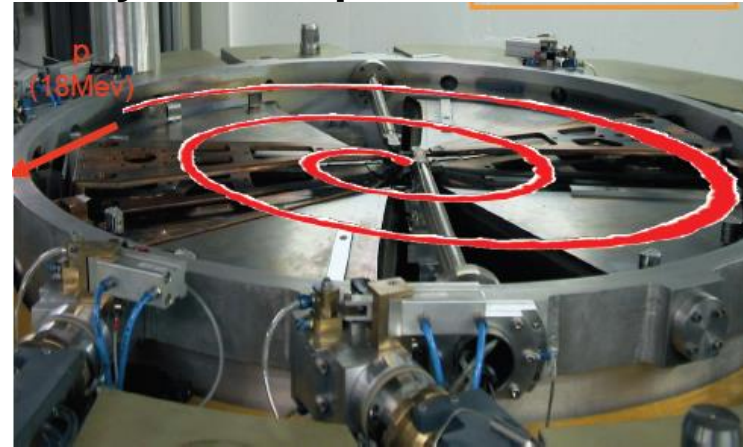


# Production of molecule labelled with fluorine-18 ( $T_{1/2}=110$ min.)

## Target



## Cyclotron: proton beam



## Hotcell with automated module



# Production operation :main steps

- Irradiation of the target (*automatised*)
- Preparation of synthesis module (kit replacement) (*man*)
- Transfert of activity via tubing from target to hotcells (automatised but operator have to choose the right hotcell)
- Synthesis (*automatised*)
- Dispensing (*automatised/man*)
- QC (low activity) (*man*)
- Packaging/shipping (*man*)



# Example of synthesis module



# Risks encountered

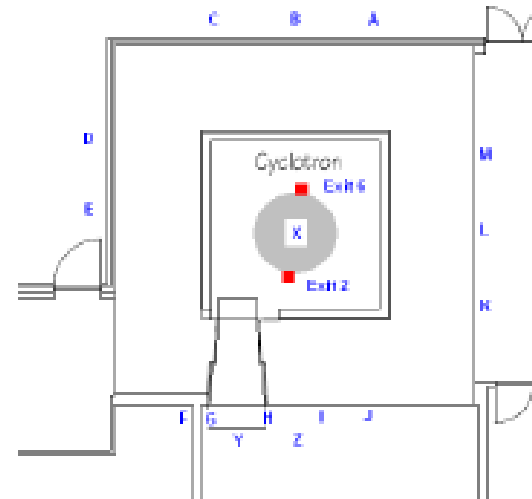
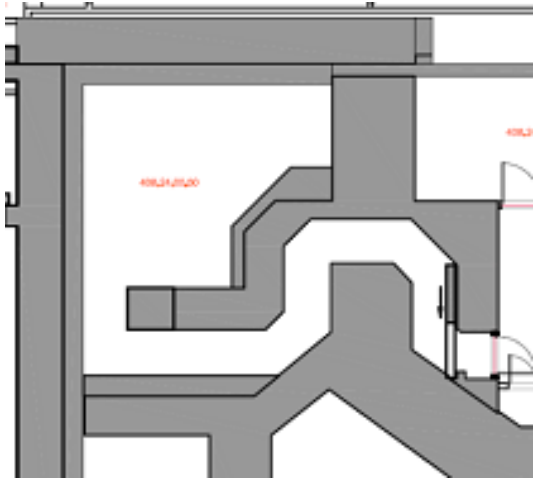
- Area with high dose rate (bunker and hotcells) + possibility of contamination with high activity of C-11, F-18 due to failure or human error).
- Low contamination by short half-life radioisotope (QC, kit replacement,...).
- Contamination by medium (Co-57, Mn-54, Zn-65,...) half-life radioisotope (cyclotron and target maintenance, kit replacement,...).
- Air contamination (bunker, ventilation failure,...).
- ...



# Collective safety systems

- Shieldings (bunker, hotcells, ....).
- *Programmable logic controller (PLC)*: manages informations/interactions between safety components/cyclotron/targets (and eventually hotcells).
- Monitoring (dose rate, air contamination,...).
- Dynamic (ventilations) and static (tightness of rooms and hotcells) containment.

# Cyclotron shielding



## Self shielded cyclotron

Retractable Shields

- 1 Power Supply Cabinet
- 1 Control Cabinet
- 1 Water System Cabinet

Cyclotron - 22,000 pounds  
 Shields - 60,000 pounds  
 Cabinets - 3,200 pounds  
 Total = 85,200 pounds

A photograph of a self-shielded cyclotron system. The system consists of a large, cylindrical cyclotron unit with retractable shields. To the left of the cyclotron are three white cabinets: a Power Supply Cabinet, a Control Cabinet, and a Water System Cabinet. The entire system is housed in a clean, industrial environment.

# Risk inside bunker

## **During irradiation**

- High (several Sv/h around target) dose rate (neutron and  $\gamma$ )
- Slight activation of the air (Ar-41,  $t_{1/2} = 109$  min.)
- Air contamination at high level in case of target failure

## **During transfert (beam stopped)**

- Dose rate ( $\gamma$ ) around target and transfert-line
- Air contamination in case of leak on transfert-line (valve, connection...).

## **After irradiation**

- Residual activity in target + activation of target component → dose rate around target from few mSv/h to more than hundred mSv/h (contact).

# Interlocks system

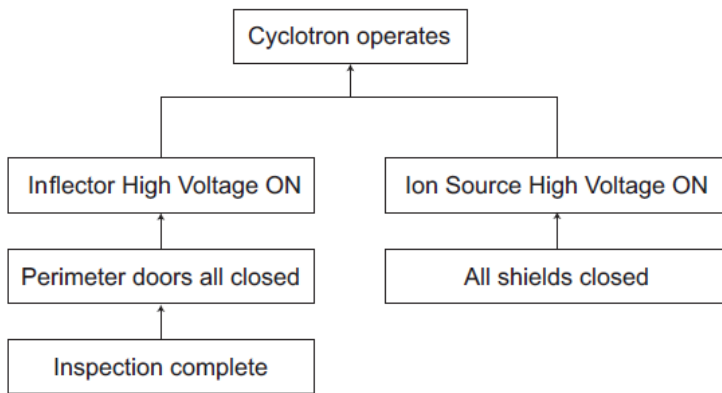


FIG. 3.7. Interlock logic chain for cyclotron operations.

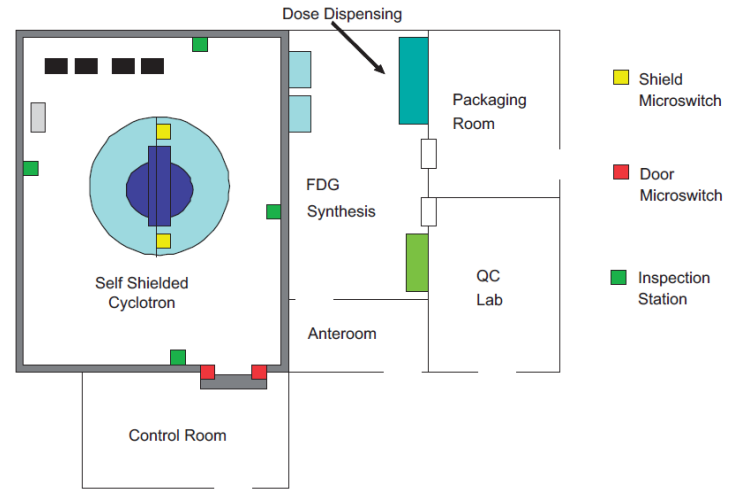
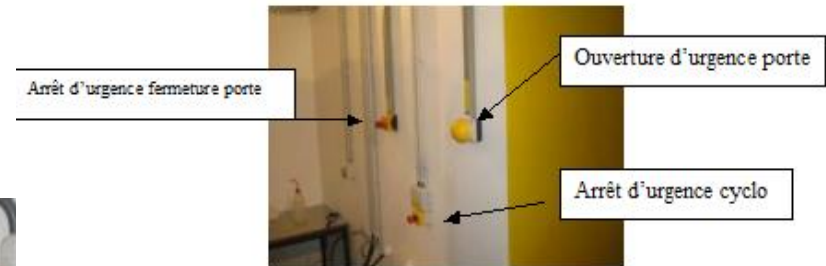


FIG. 3.6. Interlock chain with microswitches on perimeter doors, a second system on shields and inspection stations which must be energized prior to cyclotron operation.

## Interlock logic includes:

- 'rondier'
- emergency stop
- switches
- information from monitoring system
- .....



# Example of logic associated with bunker/cyclotron

**Impossible to open the door if:**

- **Beam is on**
- **Dose rate above predefined treshold**
- **Air contamination above predefined treshold**
- **$\gamma$  probe is 'out of order'.**

**Impossible to close the door :**

- **Without activation of 'rondier' (check nobody inside + sound alarm)**

**Impossible to start beam if:**

- **Door not closed**
- **Depression inside bunker is not reached**





# Transfert of activity

When there are several operators and several posts of control (cyclotron/target), **the big risk** is to transfert activity (human error) to an hotcell where an operator works on the synthesis module (kit replacement for example).

Some installation are equipped with hotcells which communicate with the PLC controlling the filling / emptying of the targets.

In this case, it's impossible to transfert activity if the doors of hotcells are open and, during the transfert, the doors are locked.

For other installations, it's regulated by procedure (risk of human error remains?). Electronic dosimeter can help, but too late in case of operator contamination.

# Hotcells (protection of operators)

- Shielding (7,5 to 10 cm of lead)

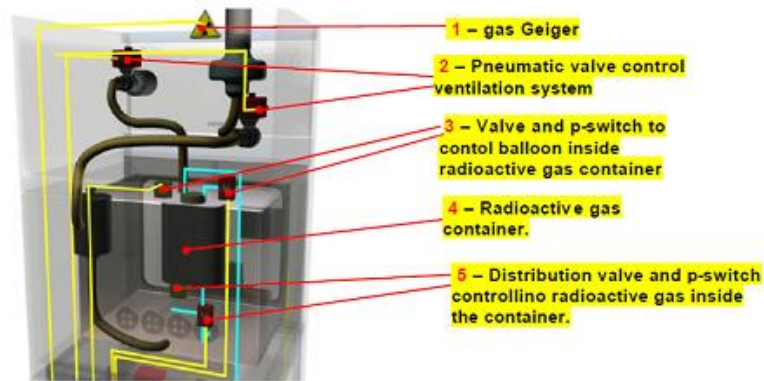
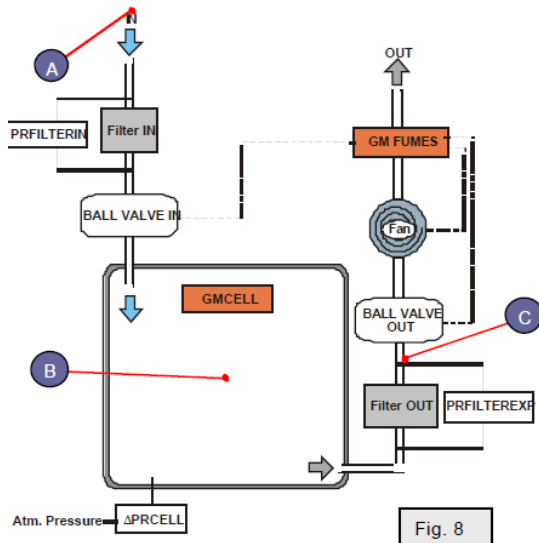


Possibility of:

- Internal  $\gamma$  probe (lock the door)
- Good tightness (inflatable seal around the door).
- Communication with PLC cyclotron/target

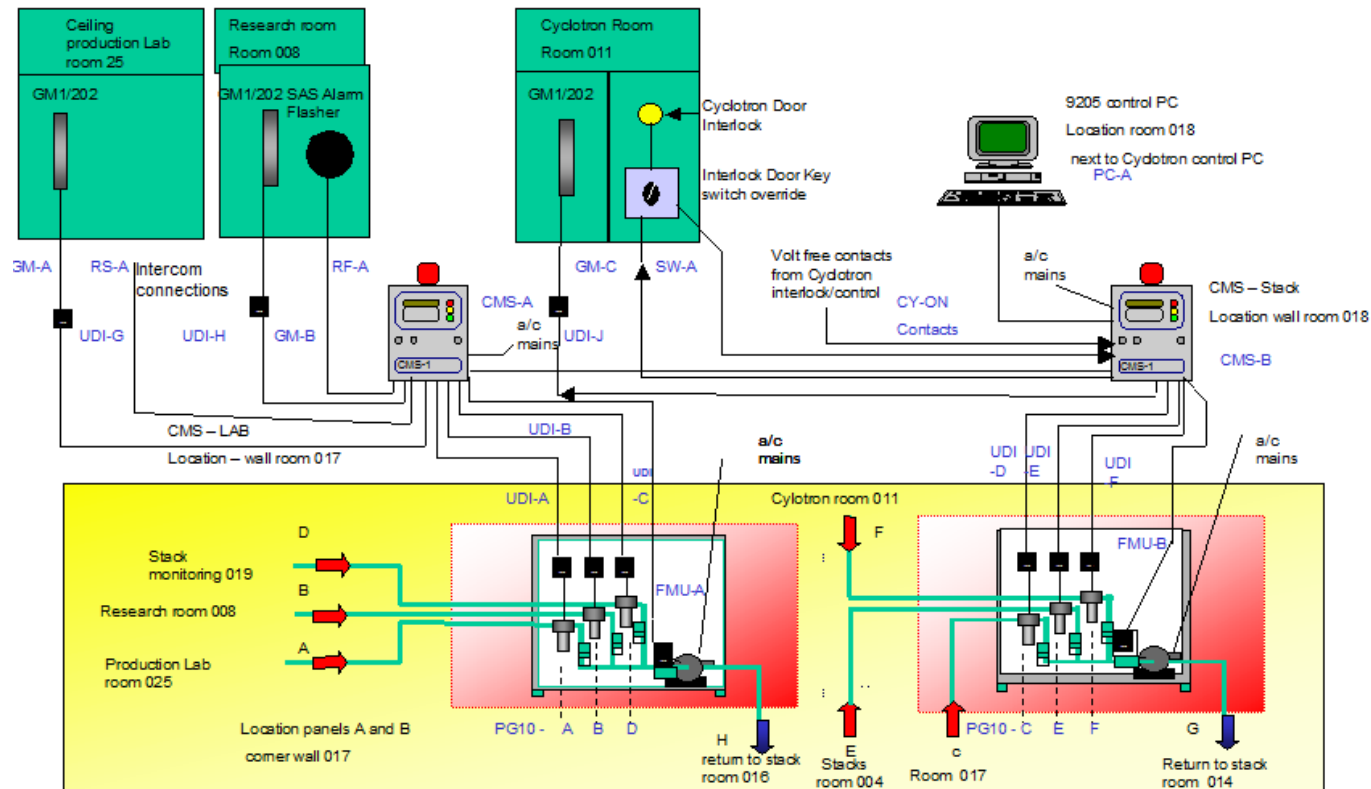
# Hotcells (reduction of discharge)

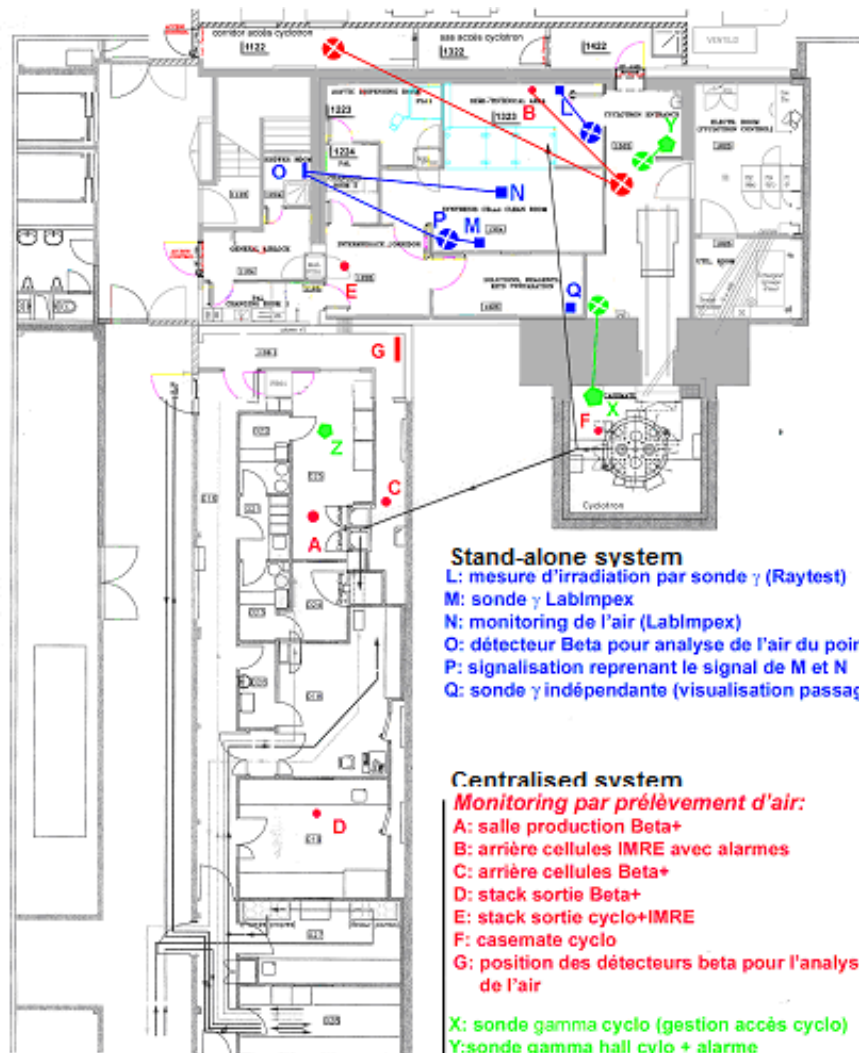
- Possibility of:
- Charcoal filter.
- Monitoring of air contamination
  - close extraction/pulsion → containment
  - activate gas storage system
- Use of bag or specific trap (ex. sodalime for  $^{11}\text{CO}_2$ ) to collect the radioactive gaseous effluents from module



# Monitoring system

Schematic diagram of the realtime Health Physics monitoring system





**Stand-alone system**

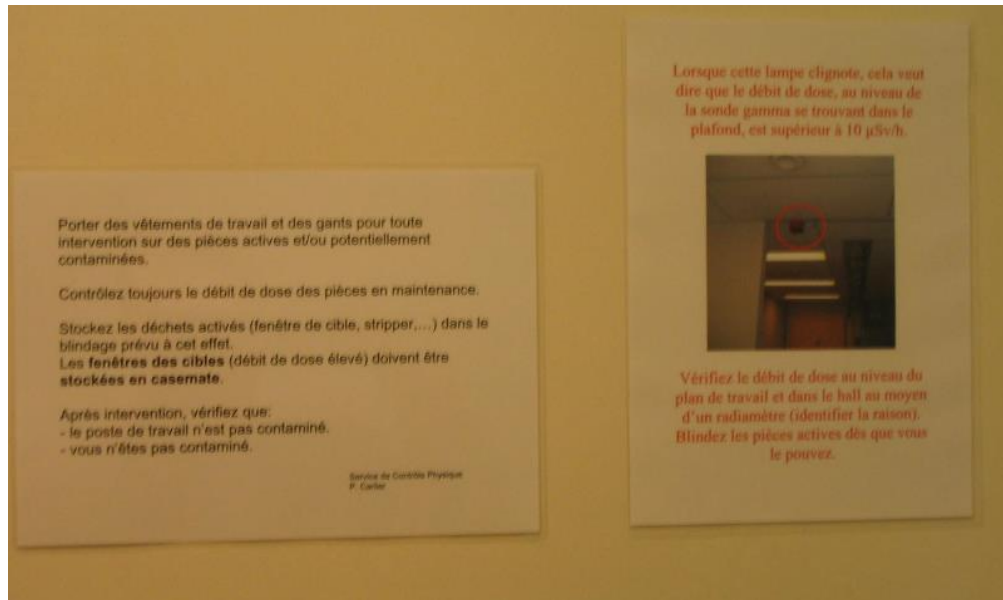
- L: mesure d'irradiation par sonde  $\gamma$  (Raytest)
- M: sonde  $\gamma$  LabImpex
- N: monitoring de l'air (LabImpex)
- O: détecteur Beta pour analyse de l'air du point N
- P: signalisation reprenant le signal de M et N
- Q: sonde  $\gamma$  indépendante (visualisation passage activ

**Centralised system**

- Monitoring par prélèvement d'air:*
- A: salle production Beta+
- B: arrière cellules IMRE avec alarmes
- C: arrière cellules Beta+
- D: stack sortie Beta+
- E: stack sortie cyclo+IMRE
- F: casemate cyclo
- G: position des détecteurs beta pour l'analyse de l'air
- X: sonde gamma cyclo (gestion accès cyclo)
- Y: sonde gamma hall cyclo + alarme
- Z: sonde gamma production

⊗ ⊗ ⊗ : alarmes lumineuses

# A good practice :local informations about alarm.



# Ventilation (HVAC)

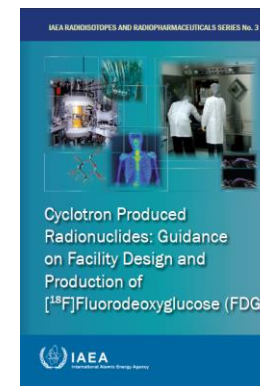
- Radiopharmaceutical: compromise between requirements for radiation protection and pharmaceutical.
- Pharmaceutical : nothing can enter
- Radiation protection: nothing can get out.  
→ Complicated design and ventilation control

# Recommandations for $^{18}\text{F}$ FDG production

TABLE 2.4. BASIC DESIGN AND OPERATION CONSIDERATIONS OF CLEANROOMS

	EU GMP class		
	A, B	C	D
Area per occupant (m <sup>2</sup> )	30	10	5
Room overpressure (Pa)	15	10–15	5–10
Air changes per hour	500	20–40	10–20
Clean air inlet as % of ceiling (wall) area	90	10–20	5–10
Clean air inlet locations	Ceiling (wall)	Ceiling	Ceiling or high sidewall
Return air location	Low level or floor (opposite wall)	Low sidewall	Sidewall
Terminal velocity at clean air inlet (m/s)	0.36–0.54	0.15–0.45	0.15–0.45
Airlock entrance needed	Yes	Yes	Yes
Occupants properly attired	Full gowns	Coverall	Smocks
Occupant activity	Minimum	Occasional movement	Constant activity
Traffic in/out per hour	Minimum	2–6	>6
Equipment in room	Minimum	≤30% floor	≤50% floor
Housekeeping	Meticulous	Good	Mediocre
Routine particle count interval	Weekly	Monthly	Quarterly

**Note:** These suggestions are based on best practices; national regulations may dictate other practices.







More informations on: <http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/>

