

LA DECOUPE PLASMA EN CELLULES

J. GUITTET - R. ROUVIERE

--oOo--

Marseille

pour
matér.
conducteur

- démontèlement

1. LA DECOUPE PLASMA

1.1. Principe de fonctionnement

Le plasma d'arc à courant continu est obtenu par passage d'un gaz sous pression (argon, hélium, azote,...) dans un arc électrique amorcé, et entretenu entre une cathode réfractaire et une anode qui est, dans un premier temps, la tuyère, l'arc plasma étant alors "soufflé", et appelé arc pilote ; puis dans un second temps, la pièce à découper, qui doit évidemment être conductrice, l'arc plasma étant alors dit "transféré" (figure 1). Dans ce dernier cas, le courant parcourt entièrement l'arc. La température de la veine centrale atteint 15000 à 20000°.K, la vitesse d'éjection variant de 500 à 1500 m/s. Les énergies thermiques et cinétiques ainsi engendrées permettent la fusion et la chasse du matériau subissant l'impact du jet de plasma.

Il est ainsi possible de couper tout matériau conducteur.

Les différents fluides plasmagènes utilisés sont :

- l'Argon, permettant l'amorçage et l'entretien de l'arc pilote ;
- l'Hydrogène, qui, par sa conductivité thermique et son enthalpie élevée, permet, associé à un gaz de forte masse moléculaire (argon, azote), des transferts d'énergie rapides et élevés ;
- l'Azote, qui peut être utilisé seul pour la découpe de faibles épaisseurs.

1.2. Appareillage

L'équipement NERTAJET 200 de la SAF est constitué :

- d'une armoire renfermant les circuits électriques ainsi que les dispositifs de mélange et de régulation des fluides plasma-gènes,
- d'une torche manuelle CP 200 reliée à l'armoire par un faisceau de câbles et de tuyauteries souples (figure 2),
- d'un coffret de commande des différentes séquences de mise en oeuvre de la torche.

1.3. Possibilités de découpe

Elles sont résumées dans le tableau suivant, donné par la SAF :
(voir page suivante)

2. LES CONDITIONS DE SURETE

L'utilisation en cellule de la torche à plasma d'arc impose certaines conditions afin de modérer ou d'éliminer les nuisances occasionnées par le procédé.

2.1. Nuisances dues aux particules en fusion

Les projections de particules de métal en fusion entraînent des risques d'incendie et des risques de détérioration de certains équipements. Il est donc nécessaire de protéger les manches de protection du télémanipulateur contre les projections, de protéger les préfiltres contre les risques d'incendie, et d'une façon générale, tout ce qui est facilement combustible :

- le faisceau d'alimentation de la torche en utilités et courant sera protégé par une gaine non inflammable, résistant aux rayonnements ;
- la torche sera protégée contre les projections par un gainage en inox supportant un dispositif de préhension en pince par le télémanipulateur.

POSSIBILITES DE L'UNITE "VERTAJET 200"

| matériau | mini | | maxi | | Procédés recommandés |
|--------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|--|
| | épaisseur mm | vitesse cm/mm | épaisseur mm | vitesse cm/mm | |
| alliages légers | 2 | 600 | 70 | 25 | GAZ OU MELANGES Ar + H2 |
| | 2 | 200 | 60 | 20 | |
| | 2 | 300 | 25 | 50 | |
| acier | 2 | 600 | 15 | 150 | vortex eau + N2 |
| inox | 2 | 600 | 15 | 150 | vortex eau + air |
| acier doux | 2 | 200 | 50 | 25 | Ar + H2 vortex eau + air, ou vortex eau + N2 |
| | 2 | 600 | 15 | 100 | |
| | 2 | 600 | 15 | 150 | |

2.2. Nuisances dues au rayonnement de la flamme

L'arc plasma est une source de rayonnement de grande intensité, en particulier dans le spectre UV ; il est nécessaire de protéger les yeux en vue directe ou par un hublot, par le port d'un masque de soudeur ou de lunettes filtrantes.

Les caméras devront également être protégées par des filtres.

De plus, ces filtres devront être tels que la vision ne soit gênée ni avant amorçage, ni après.

2.3. Nuisances dues au niveau sonore

Le niveau sonore peut dépasser une centaine de dB. Il sera évidemment atténué par les parois de la cellule.

2.4. Nuisances engendrées par les fumées

Le coupage plasma provoque un dégagement d'oxydes métalliques dont les taux d'émission de gaz toxiques sont donnés (en g/h) dans le tableau suivant :

| N° Essai | Type plasma | I (A) | CO | CO ² | NO | NO ² | O ³ | COCl ² |
|----------|-----------------------|-------|------|-----------------|-------|-----------------|----------------|-------------------|
| 1 | Air | 150 | 11,7 | Traces | 85,2 | 1,9 | 0,2 | 0,2 |
| 2 | Air/plan d'eau | 150 | 14 | " | 63,6 | 4,2 | 0,4 | " |
| 3 | Azote | 200 | 10,5 | " | 165,4 | 4,8 | 0,2 | " |
| 4 | Azote Vortex d'eau | 200 | 7 | " | 63,6 | 12 | 0,8 | " |
| 5 | | 170 | 7 | " | 101,8 | 12 | - | " |
| 6 | | 120 | 1,2 | " | 101,8 | 8,5 | - | " |
| 7 | Argon + Hydrogène | 80 | 4,1 | " | 33,1 | 2,1 | 0,12 | " |
| 8 | | 200 | 9,3 | " | 76,3 | 5,3 | - | " |

Compte tenu des valeurs limites de concentration de ces substances dans l'air, il est nécessaire de diluer ces émissions par une ventilation puissante, fournie par le tableau suivant :

| PROCEDE | AIR | AIR/ PLAN EAU | AZOTE | AZOTE + VORTEX EAU | ARGON + HYDROGENE |
|-------------------------------------|-------|------------------|-------|-----------------------|----------------------|
| Débit ventilation m ³ /h | 2.840 | 2.120 | 5.510 | 3.400 | 2.500 |

La limitation est donnée en fait par la teneur en NO, qui doit être inférieure à 30 mg/m³.

En fait, le rejet en atmosphère par cheminée pourra conduire à des chiffres inférieurs.

2.5. Nuisances dues aux émissions secondaires

Le procédé plasma génère des aérosols gazeux liés aux hautes températures et au transfert thermique sur la pièce à découper.

Ces aérosols entraînent des ions du matériau contaminant sous forme de micro-particules qu'il est nécessaire de bien connaître.

Dans le cas de découpes dans une enceinte blindée par téléopération, on doit tenir compte du comportement des médias filtrants des aérosols et des formes gazeuses créées.

Les formes gazeuses traversent des barrières telles que les filtres à très haute efficacité (THE) ; les aérosols les traversent plus ou moins selon leurs dimensions, l'efficacité minimale des filtres se situant entre des diamètres de 0,1 et 0,3 μ (1). La figure n° 3 montre la protection obtenue selon les diamètres des particules(1). Or, c'est également au-dessous des 0,2 μ que les dangers d'inhalation sont les plus grands. De plus, des mesures réalisées à ALBUQUERQUE montrent que, lors d'une découpe plasma de plaques d'acier contaminées (2), (3), la majorité de l'activité transmise par aérosols est portée par la fraction ultra-fine de ceux-ci. Des essais effectués à l'IDS (4), (5) de découpe plasma de pièces contaminées au ¹³⁷Cs ont confirmé que 80 % de l'activité était transmise par les particules de diamètre inférieur à 0,4 μ (figure 4).

Il importe donc de connaître les caractéristiques des émissions secondaires dues à la découpe à plasma d'arc. Pour cela, deux campagnes d'essais ont été effectuées :

- une première sous tente vinyle, avec un opérateur manuel,
- une seconde en cellule, par téléopération.

2.5.1. Mesures sous tente vinyle

Les essais sont faits dans une tente vinyle de $23,5 \text{ m}^3$ munie d'une simple porte vinyle, sous dépression de $0,5 \text{ mm CE}$, et sous un débit de ventilation de $540 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$.

Leur but était essentiellement de déterminer le volume émis selon la granulométrie, et l'efficacité des filtres et de la ventilation. Le montage utilisé est schématisé figure 5.

2.5.1.1. Résultats de granulométrie

Ils sont donnés par la figure 6.

. La totalité des particules en aérosols ont un diamètre inférieur au micron.

. Le bruit de fond fournit 10^5 particules par cm^3 , formant un total de $6,4 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^3/\text{m}^3$, d'où un diamètre moyen de particule de $20 \cdot 10^{-2} \mu$ (4 % d'entre elles ont un \emptyset supérieur à $0,2 \mu$).

. L'arc pilote multiplie les particules par 150, formant un volume total de $0,365 \text{ mm}^3/\text{m}^3$, d'où un diamètre moyen de seulement $3,5 \cdot 10^{-2} \mu$ (4 % d'entre elles ont un \emptyset supérieur à $0,7 \mu$).

. Enfin, la découpe engendre approximativement le même nombre de particules que l'arc pilote, mais d'un volume plus important, le volume total émis étant alors de $3 \text{ mm}^3/\text{m}^3$, soit 10 fois plus, donnant un \emptyset moyen double.

2.5.1.2. Efficacité des filtres en nombre de particules

Pour le circuit de filtration entier, l'efficacité du filtre électrostatique varie de 10 à 100 selon le \emptyset des particules, celle du filtre THE variant de 100 à 1000 (figure 7) :

Le nombre de particules par unité de volume est divisé par 2 entre l'opérateur et l'amont du préfiltre, puis par 18 en passant dans le filtre électrostatique, puis par 210 en passant dans le filtre THE, le coefficient d'épuration de l'ensemble étant de 3600.

2.5.2. Mesures faites à ELAN II B

Le but des essais effectués à ELAN II B, installation qui permettait la fabrication de sources radioactives, dont essentiellement du ^{137}Cs , était de caractériser les émissions secondaires et d'étudier le comportement des filtres.

Le schéma de l'installation est indiqué en figure 8.

Les expériences ont consisté à découper des éléments métalliques d'irradiation 1 à 4 $\cdot 10^{-3}$ Gyh $^{-1}$ en ^{137}Cs . Une buse de prélèvement des aérosols, en amont des préfiltres, était à 0,8 m de la pièce découpée.

Les points de mesure de l'activité étaient :

- le point 0, en cellule 705, cellule de travail où se trouvent les maîtres-télémanipulateurs des cellules 902, 903, 904 et 905 ;
- le point 1 en cellule 903 où a lieu la découpe ;
- le point 2, après passage dans des préfiltres ;
- le point 3, en amont des THE ;
- le point 4, dans la cheminée d'évacuation.

2.5.2.1. Résultats de granulométrie

Les mesures de répartition en dimensions des aérosols produits par la découpe par plasma d'arc, sont donnés en figure 9, et, comparées avec les résultats obtenus précédemment en IDS (figure 4), montrent que la proportion de très fines particules ($< 0,3 \mu$) a notablement diminué ; ce qui peut s'expliquer par la production d'aérosols provenant de la combustion de matières organiques (câbles électriques découpés simultanément).

En ce qui concerne la granulométrie des aérosols ultra fins ($< 0,3 \mu$), on peut, en supposant qu'il y a similitude entre les fonctions granulométriques en masse et les fonctions granulométriques en activité, et en constatant que la répartition en masse de CsCl dans les expériences faites à EL3 et la répartition de CsCl en activité dans les expériences faites à ELAN II B sont analogues, conclure que la granulométrie massique obtenue à EL3 est également la granulométrie en actif à ELAN II B.

La majeure partie de l'activité serait donc portée par des particules de diamètre voisin de $0,15 \mu$ (figure 6).

2.5.2.2. Résultats des mesures d'activité

La figure 10 donne les activités mesurées au repos, puis pendant la découpe. On observe que :

- l'activité de la cellule 905 (point 0) semble augmenter lors d'une découpe, tout en restant très inférieure à la CMA ($< 1/10000$)

- l'activité au repos de la cellule 903 est relativement élevée ;

- l'activité volumique dans la cheminée (point 4) est nettement inférieure à la CMA ($< 1/100$).

- le coefficient d'épuration des préfiltres n'a pu être réellement mesuré en raison de fuites de montage.

2.5.2.1. Résultats de granulométrie

Les mesures de répartition en dimensions des aérosols produits par la découpe par plasma d'arc, sont donnés en figure 9, et, comparées avec les résultats obtenus précédemment en IDS (figure 4), montrent que la proportion de très fines particules ($< 0,3 \mu$) a notablement diminué ; ce qui peut s'expliquer par la production d'aérosols provenant de la combustion de matières organiques (câbles électriques découpés simultanément).

En ce qui concerne la granulométrie des aérosols ultra fins ($< 0,3 \mu$), on peut, en supposant qu'il y a similitude entre les fonctions granulométriques en masse et les fonctions granulométriques en activité, et en constatant que la répartition en masse de CsCl dans les expériences faite à EL3 et la répartition de CsCl en activité dans les expériences faites à ELAN II B sont analogues, conclure que la granulométrie massique obtenue à EL3 est également la granulométrie en actif à ELAN II B.

La majeure partie de l'activité serait donc portée par des particules de diamètre voisin de $0,15 \mu$ (figure 6).

2.5.2.2. Résultats des mesures d'activité

La figure 10 donne les activités mesurées au repos, puis pendant la découpe. On observe que :

- l'activité de la cellule 905 (point 0) semble augmenter lors d'une découpe, tout en restant très inférieure à la CMA ($< 1/10000$)
- l'activité au repos de la cellule 903 est relativement élevée ;
- l'activité volumique dans la cheminée (point 4) est nettement inférieure à la CMA ($< 1/100$).
- le coefficient d'épuration des préfiltres n'a pu être réellement mesuré en raison de fuites de montage.

- le coefficient d'épuration des filtres THE est de l'ordre 10^5 lors de la découpe par arc plasma.

Au bout d'une heure de découpe, l'activité captée par ces filtres est de l'ordre de 0,1 Ci. L'utilisation de préfiltres efficaces à la source semble donc indispensable pour accroître la longévité des filtres THE.

- La presque totalité du ^{137}Cs évacué l'est sous forme d'aérosols, le rapport masse Cs gazeux/masse Cs aérosol étant moins de $2 \cdot 10^{-3}$ à 5 m de la source.

3. LA TELEOPERABILITE

Le matériel, tel qu'il est livré par le constructeur, est destiné à être utilisé manuellement. Son utilisation en milieu irradiant ou contaminé, et par téléopération nécessite donc un certain nombre d'aménagements.

3.1. Connexion et déconnexion des faisceaux

L'interface de connexion-déconnexion du faisceau d'arrivée des utilités (fluides - gaz- électricité) sur la torche, devra être optimisé pour faciliter les opérations de maintenance.

Les divers tubes et raccords seront réalisés en matériaux adaptés, résistants aux rayonnements.

3.2. Pilotage de la torche

3.2.1. Commande de la torche

Elle doit être reportée en amont, de manière à être actionnée à distance, de l'extérieur de la cellule de l'opérateur.

3.2.2. Moyens de vision

Ils devront s'affranchir de l'éblouissement produit par l'arc plasma, grâce à des filtres convenables interposés entre l'arc et l'oeil, ou entre l'arc et la caméra.

De plus, l'utilisation de moyens de suivi automatique du champ de la pince ("TELEWISE") pour la découpe dans les cellules ELAN II B facilite énormément la conduite de la torche.

3.2.3. Moyens d'assistance par ordinateur

La torche doit être convenablement disposée en distance et en orientation par rapport à la surface à découper, et l'avance de la torche doit être lente et régulière. Ces variables de commande sont difficiles à contrôler par téléopération, et ce d'autant plus que la vision est mauvaise. On pourra donc imaginer plusieurs aides, plus ou moins sophistiquées :

- Maintien de la distance tuyère-pièce, grâce à des capteurs de distance adaptés. L'utilisation d'informations prélevées sur le courant d'arc est un moyen ; des capteurs indépendants du courant d'arc donneront à coup sûr de meilleurs résultats.

- Maintien de la vitesse de déplacement par asservissement sur une trajectoire orthogonale à l'arc de la torche.

- Programmation de la trajectoire, en position et vitesse de la torche, par donnée de certains points clés de cette trajectoire, et de la nature de celle-ci (droite, cercle, etc.).

3.2.4. Maintenance

Les opérations de maintenance et de réparation de la torche devront s'effectuer en boîte à gants, après déconnexion du faisceau d'utilités. Il devra donc être prévu un système d'obturation automatique avant déconnexion des orifices d'arrivée de ces utilités.

Des préfiltres sont indispensables pour accroître la longévité des filtres absolus.

3.2.5. Risques d'incendie

Ils ne doivent pas être négligés :

- la cellule doit être maintenue en état de propreté en éliminant ou en protégeant tout ce qui peut s'enflammer ;
- les filtres doivent être protégés ;
- un poste fixe de lutte contre l'incendie (extincteur, lance karcher, poudre) doit être prévu ;
- un ou deux techniciens doivent assister l'opérateur pour surveiller les risques du feu.

3.2.6. Risque d'explosion

L'utilisation de l'hydrogène comme gaz plasmagène est prohibée en cellule en raison de ces risques.

3.2.7. Divers

Le groupe de refroidissement assurant la distribution d'eau dans la torche doit être implanté hors cellule, pour éviter sa contamination en cas d'incident.

4. CONCLUSION

L'expérience accumulée au CEA permet de conclure que :

- le procédé permet des vitesses et épaisseurs de découpe très supérieures aux moyens mécaniques traditionnels, pour un coût d'investissement et de fonctionnement relativement modéré ;
- il doit être utilisé en liaison avec ces moyens traditionnels ; par exemple, une disqueuse permettra de finir une coupe inaccessible à la torche, ou de nettoyer l'intérieur d'une coupe pour favoriser l'évacuation du métal en fusion ;
- les vitesses de coupe au plasma en téléopération sont actuellement 3 à 5 fois moindres que celles faites manuellement. Elles peuvent être très nettement accrues en utilisant des moyens d'assistance par ordinateur.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) HEPA Filter Testing by Single Optimal Intra-cavity laser particle counter - P. KRATEL
Séminaire sur la filtration absolue des aérosols (Aix-en-Provence 1976)
- (2) G. NEWTON, M. HOOVER, E. BARR, B. WONG, P. RITTER.
Aerosols from metal cutting techniques typical of decommissioning nuclear facilities - experimental system for collection and characterization (International Decommissioning Symposium - Seattle 1982).
- (3) M. HOOVER, G. NEWTON, E. BARR, B. WONG.
Aerosols from metal cutting techniques typical of decommissioning nuclear facilities - inhalation hazards and works protection.
(International Decommissioning Symposium - Seattle 1982).
- (4) A. KEREVER, G. PILOT.
Etude du comportement de l'aérosol de ¹³⁷Cs lors d'une opération de démantèlement. Rapport interne.
- (5) I. LE GARRERES, G. PILOT, M. POURPRIX.
Etude des émissions secondaires dues à des opérations de découpe par torche à arc plasma. Rapport interne, juillet 1984.

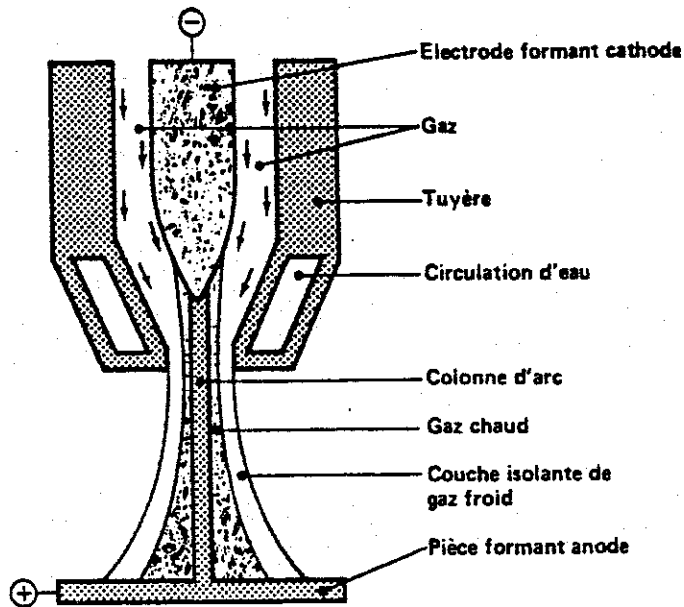


Figure 1: Schéma d'un plasma
à arc transféré.

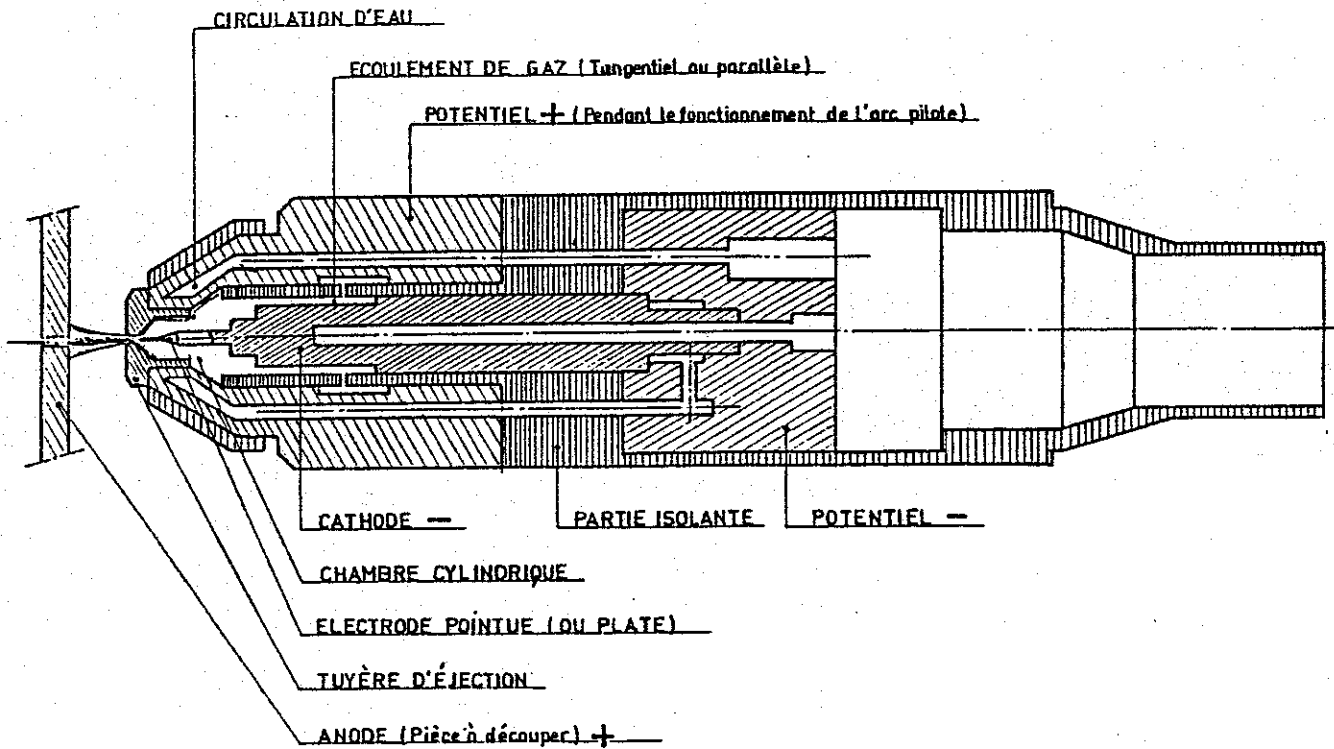


Figure 2. TORCHE CPM 200 (SAF)

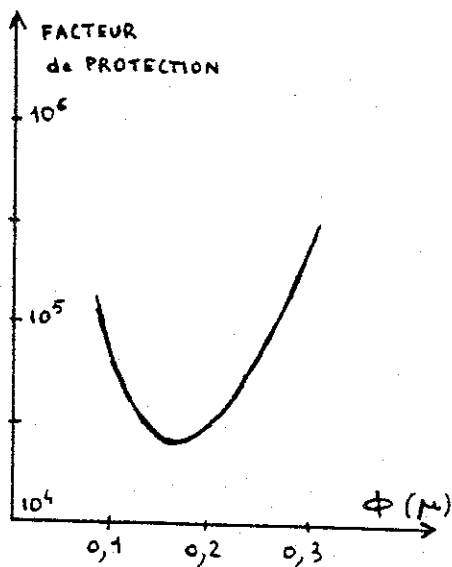


figure 3 Facteur de protection
selon le diamètre des particules

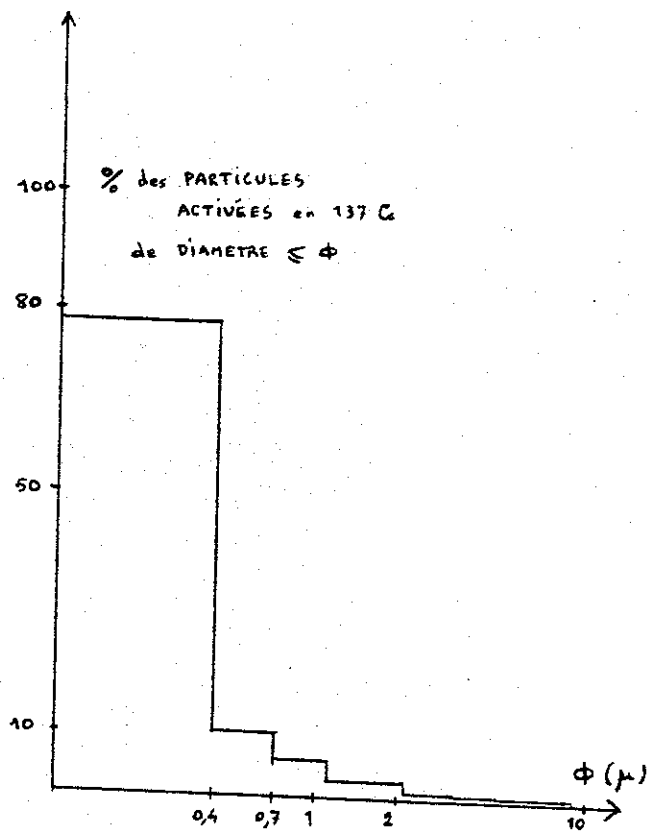


figure 4. Granulométrie. Découpe plasma à 105

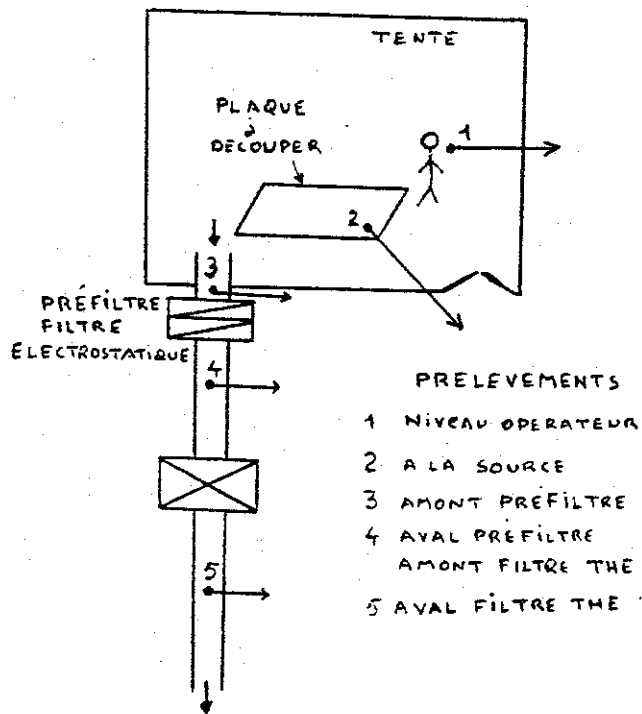


Figure 5 : Schéma de l'expérimentation
sous tente vinyle

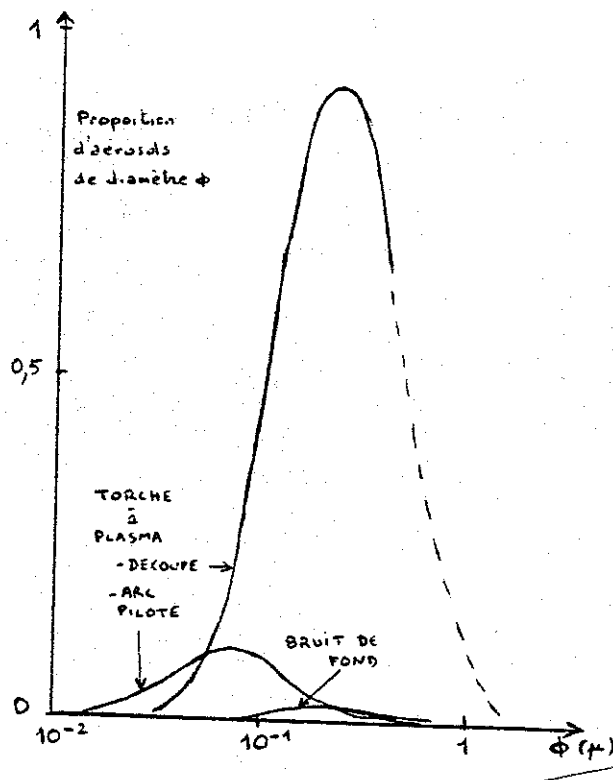


Figure 6 . Proportion d'aérosols selon le diamètre.

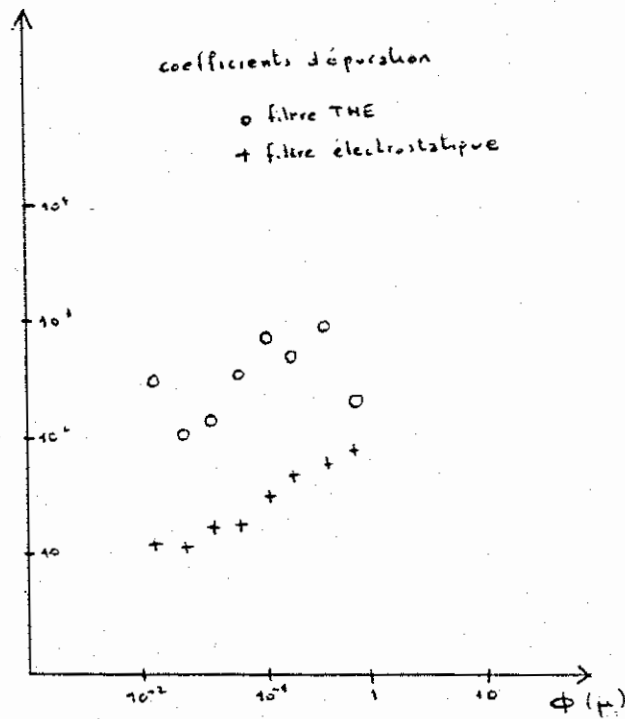


Figure 7 : Coefficients d'épuration selon le diamètre ϕ

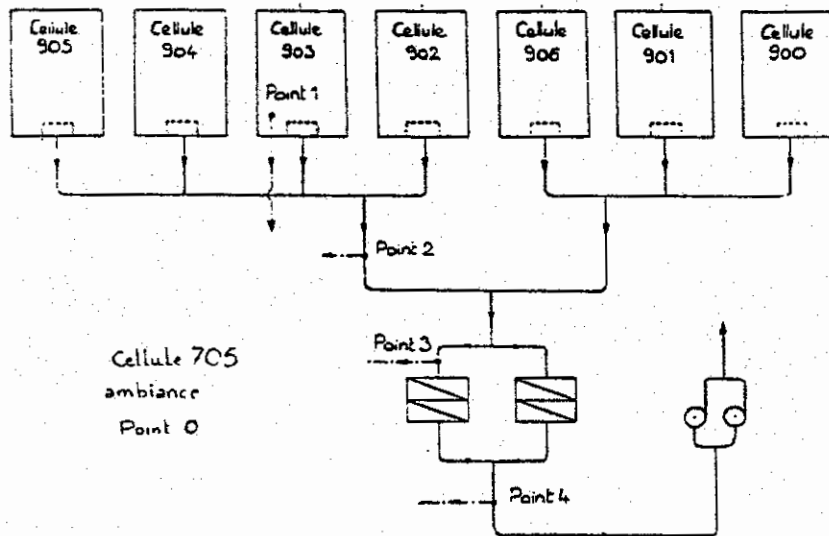


Figure 8 : Schéma d'expérimentation à ELAN II B

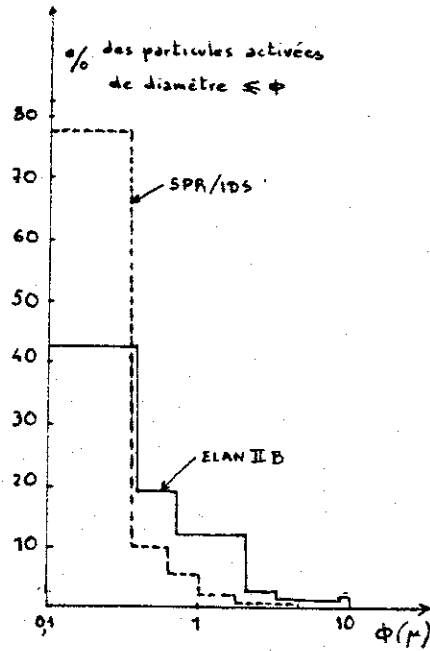


fig. 9 : Répartition de l'activité en ^{137}Cs
en fonction du diamètre des particules.

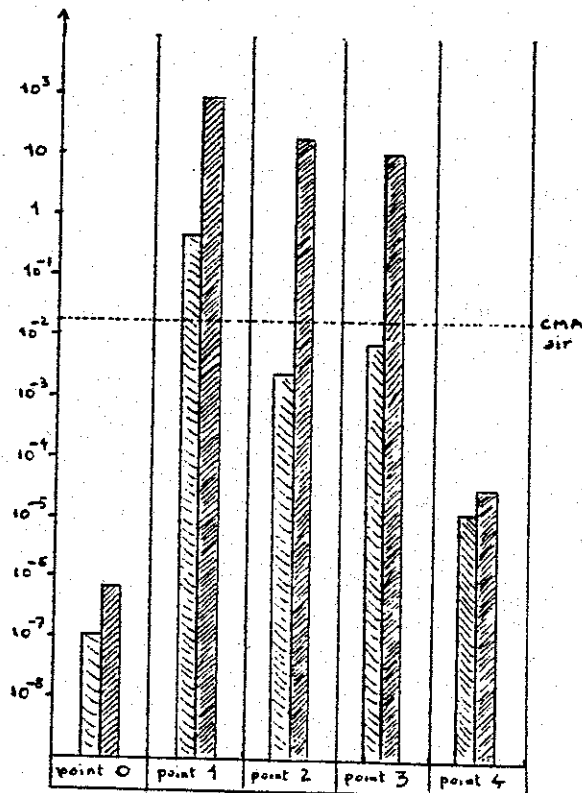


fig. 10 Activités volumiques en $\mu\text{Ci m}^{-3}$
 au repos
 en découpe plasma
 à ELAN II B