



# Techniques de contrôles non destructifs

*Jean-Michel DALIN*

*TS-MME-MM*

TS Workshop Archamps, 4 au 6 mai 2004



# *Les contrôles non destructifs (CND)*

*Méthodes de contrôle applicables sans dégradation des pièces explorées.*

- le ressuage : *défauts débouchants*
- la magnétoscopie: *défauts débouchants ou sousjacents*
- le contrôle par courants de Foucault: *défauts internes dans les faibles épaisseurs*

## *- le contrôle par Ultrasons:*

*défauts internes dans les épaisseurs faibles ou fortes.*

## *-la radiographie:*

*défauts internes à des profondeurs limités*



## 1) Le contrôle par ultrasons:

- théorie des ondes ultrasonores
- pratique du contrôle
- limites de la méthode
- exemples d'application

## 2) La radiographie industrielle:

- les rayons ionisants
- appareils de radiographie X et  $\gamma$
- les isotopes utilisés
- les tirs et les radiogrammes
- évolutions techniques de la radiographie

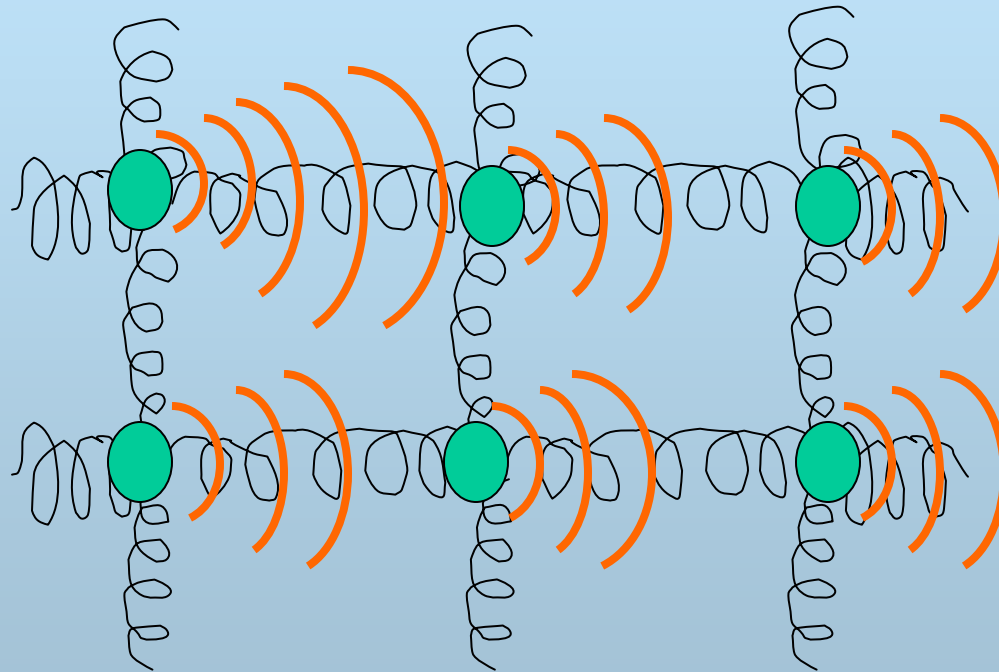
## 3) Conclusion:

- complémentarité des 2 méthodes
- évolution des CND au sein du département: qualification du personnel.



# 1) le contrôle par ultrasons

## *Les ondes ultrasonores*

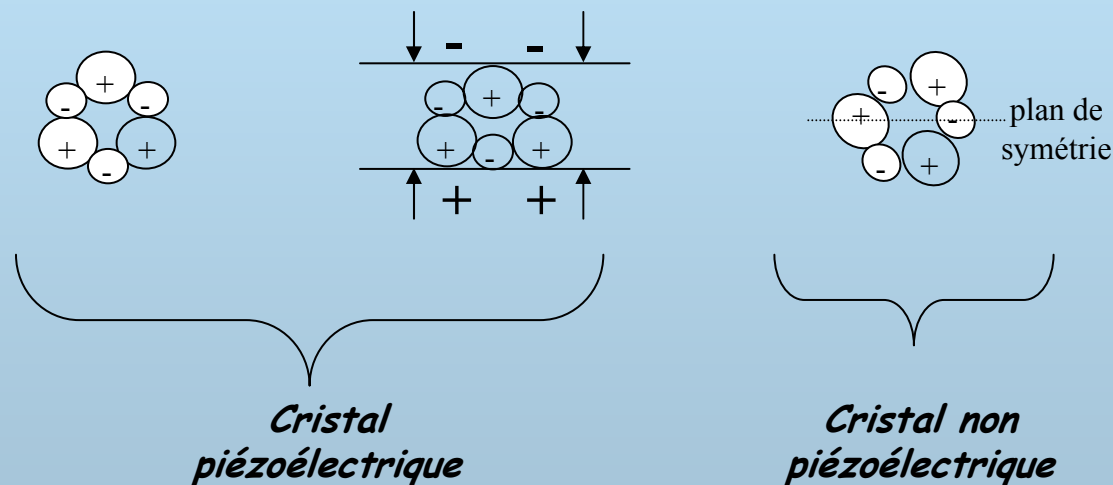


*Ce sont des vibrations transmises d'un atome à son voisin. La distance et la vitesse de propagation de l'onde dépendent du milieu dans lequel elle se propage.*

# La piézoélectricité

(P et J Curie, 1880)

*Propriété de certains matériaux de se déformer sous l'effet d'une décharge électrique à cause de l'asymétrie électrique des atomes le constituant. Si on envoie des pulsations électriques alternées à une pastille piézoélectrique, elle se met à vibrer.*



*Inversement, en recevant une vibration, la pastille transmet une décharge électrique*

**elle est donc émettrice et réceptrice d'ondes ultrasonores.**

*Sonar sous marin 1918 P Langevin,  
industrie, médecine, 1945*



# *Quelques matériaux piézoélectriques*

(ou ferroélectriques rendus piézoélectriques  
par traitement thermiques sous champ électrique)

- le **QUARTZ** (si la taille du cristal est bien orientée),
- le **SULFATE DE LITHIUM**,
- la **TOURMALINE Z**,
- le **NIOBATE DE LITHIUM**,
- le **NIOBATE DE POTASSIUM** et de **SODIUM**,
- le **TITANATE DE BARYUM**,
- le **P.Z.T.**

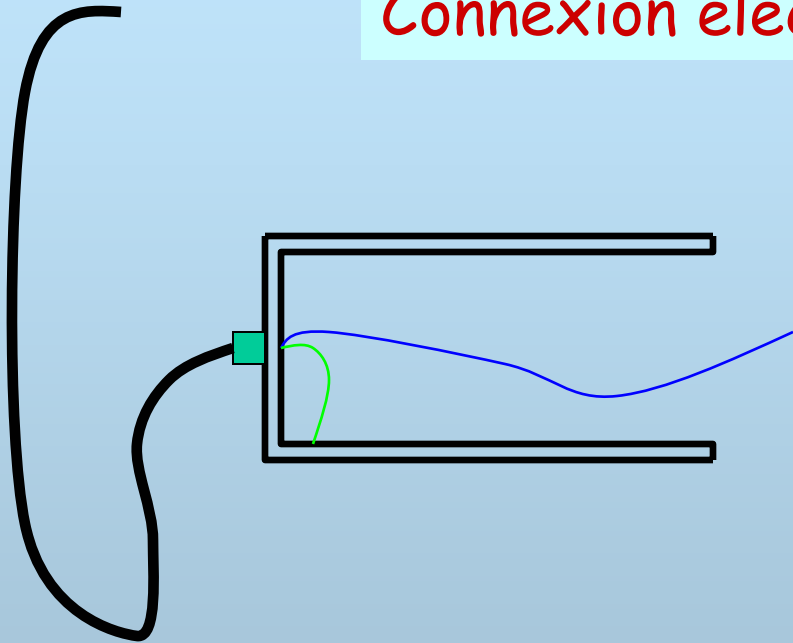


# *Pratique du contrôle*

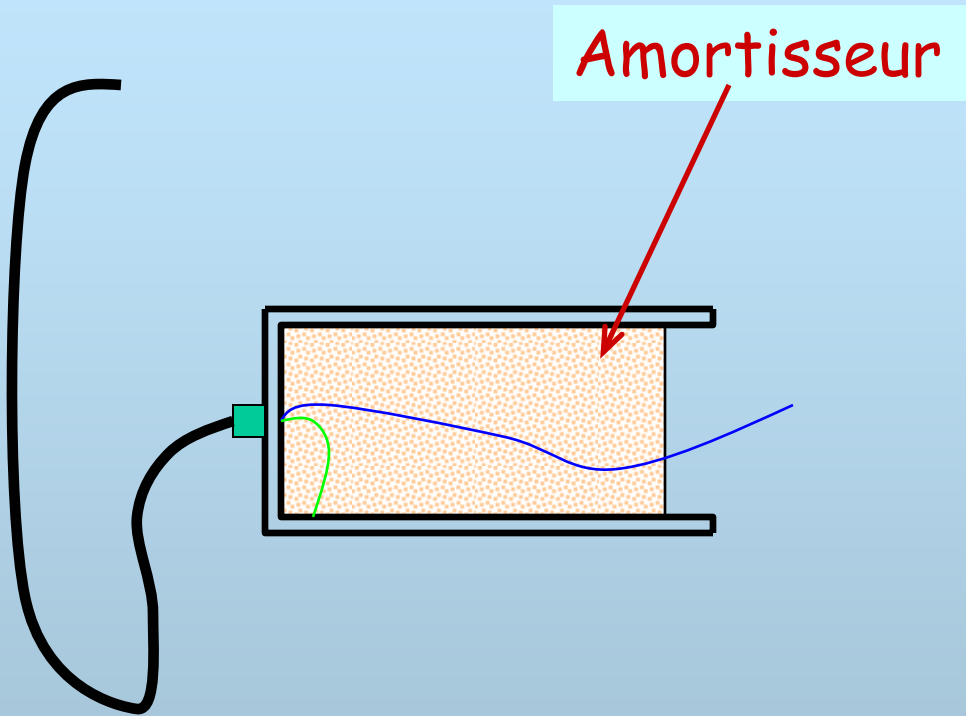




## Connexion électrique du boîtier

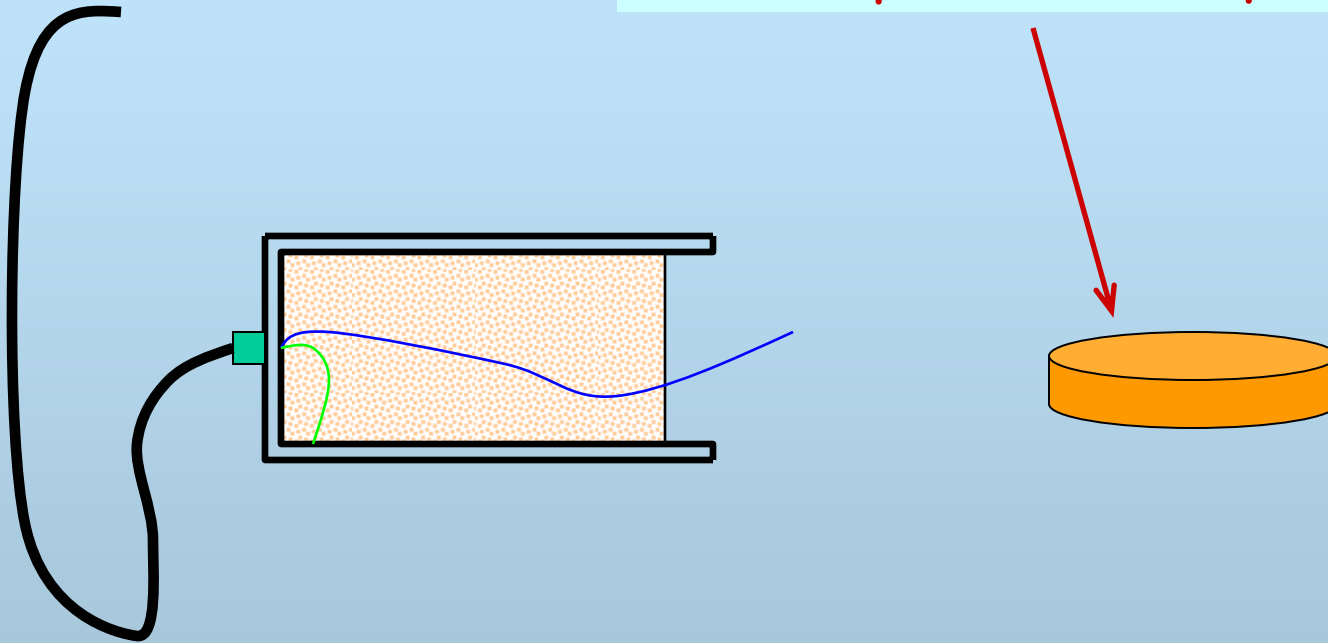


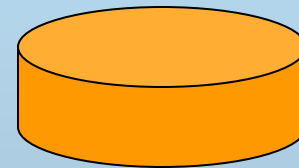
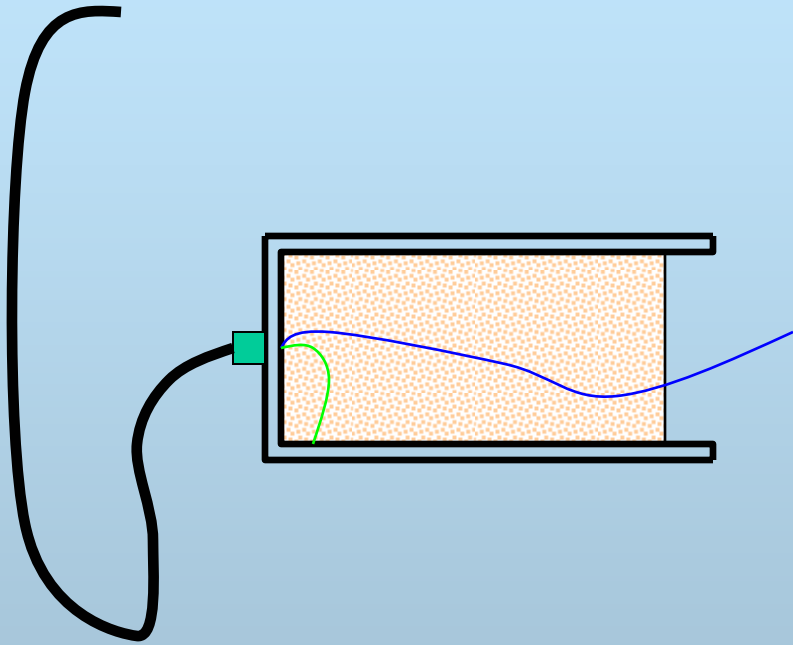




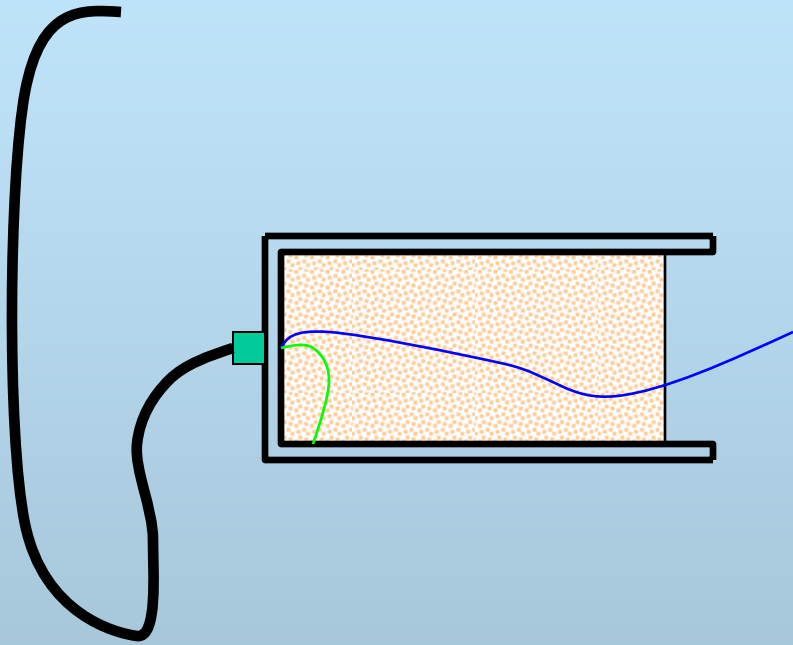


## Pastille piézoélectrique

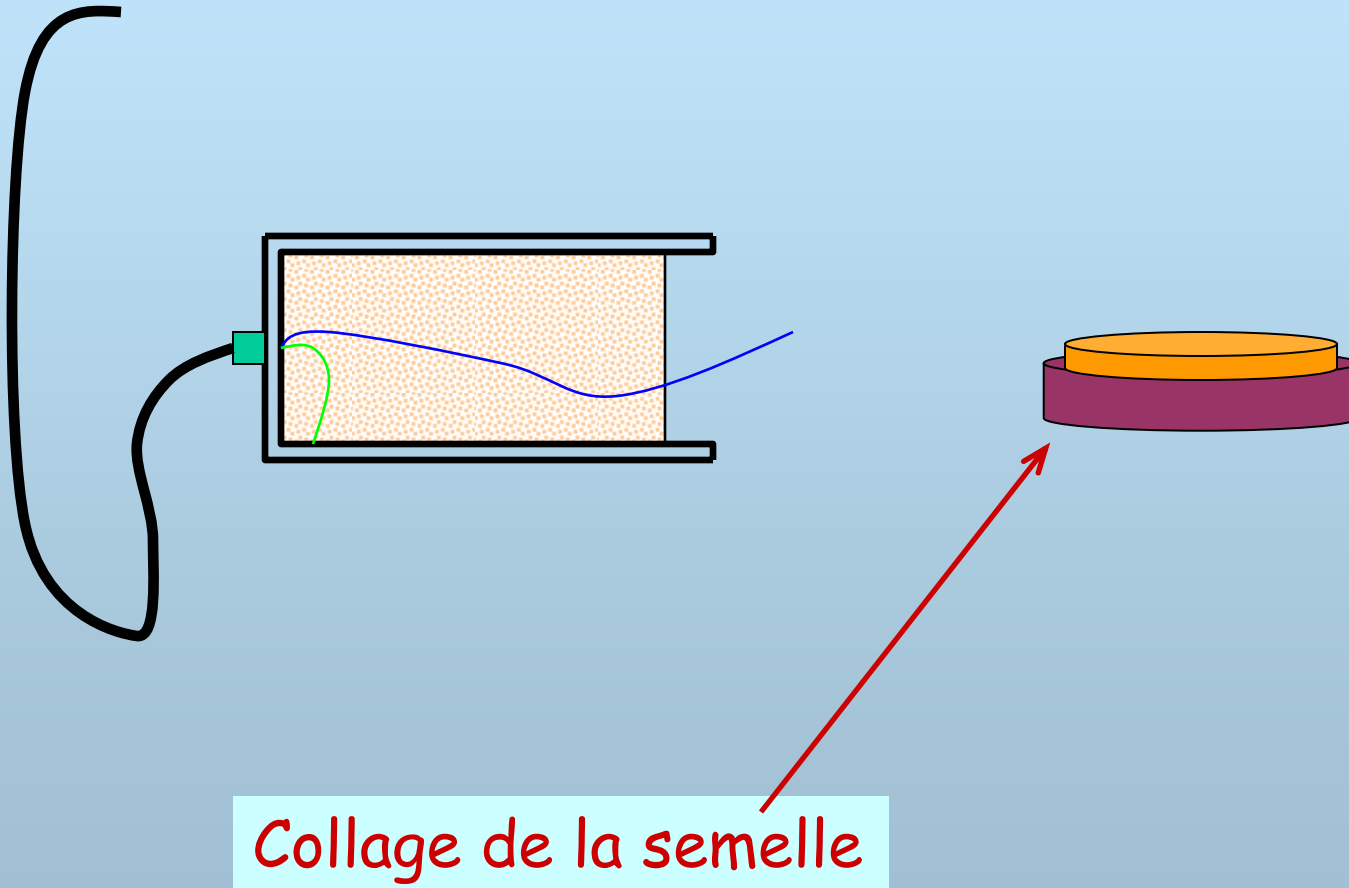




$$F = \frac{C}{2e}$$

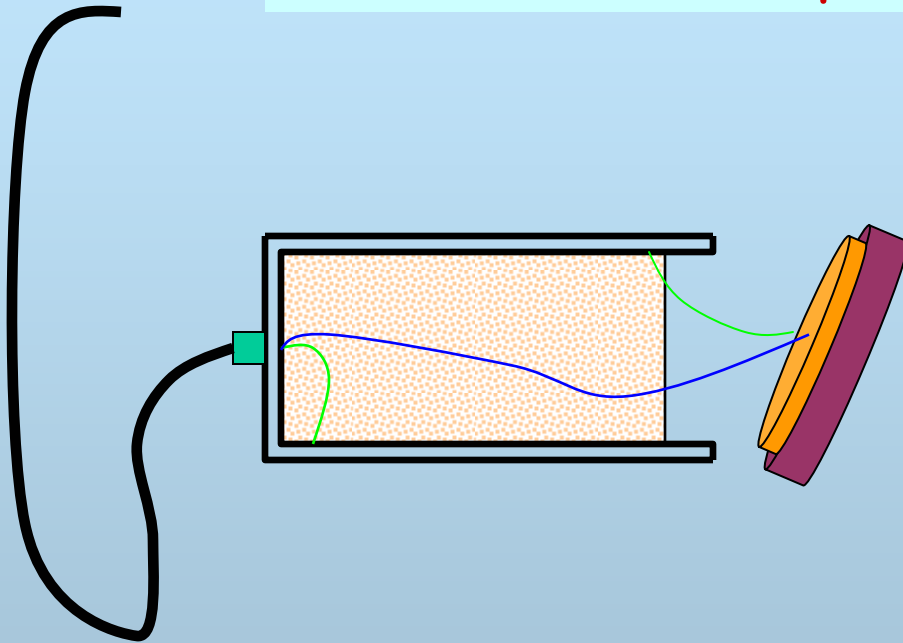


$$F = \frac{C}{2e}$$



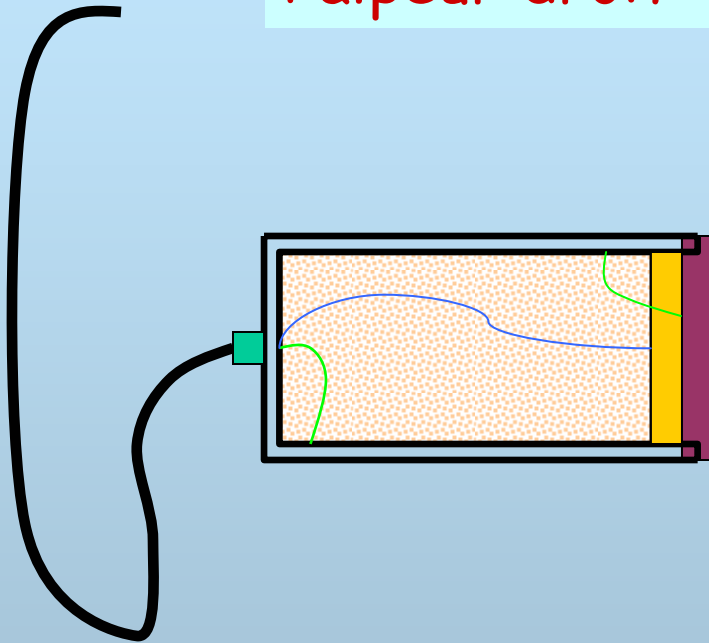


## Connexion électrique de la pastille



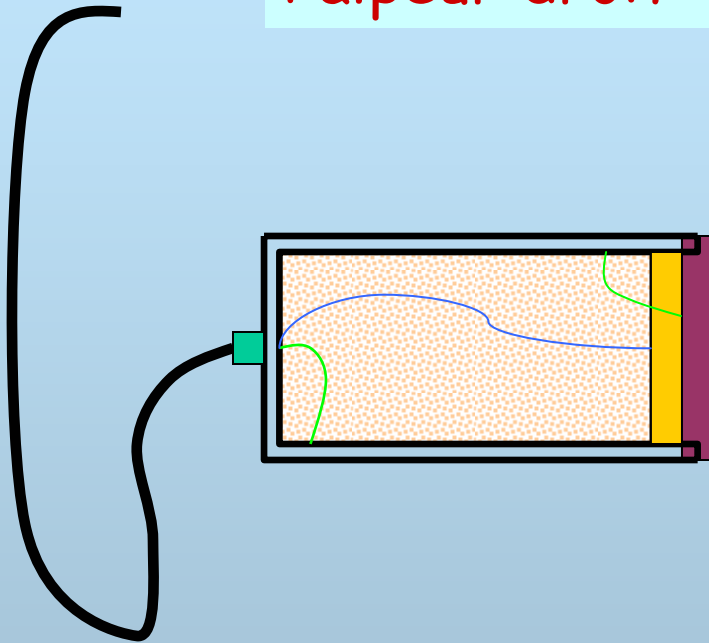


## Palpeur droit

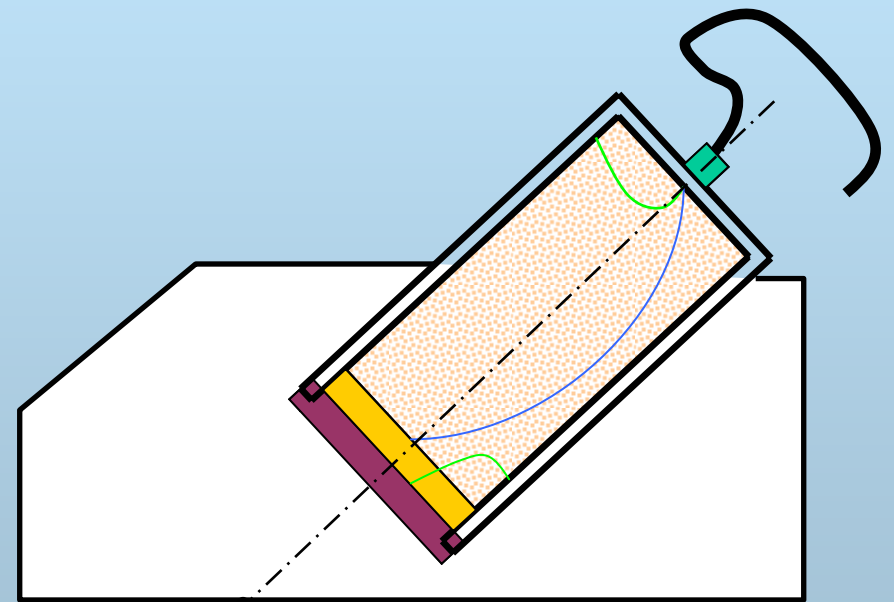




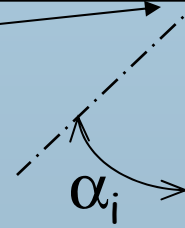
Palpeur droit



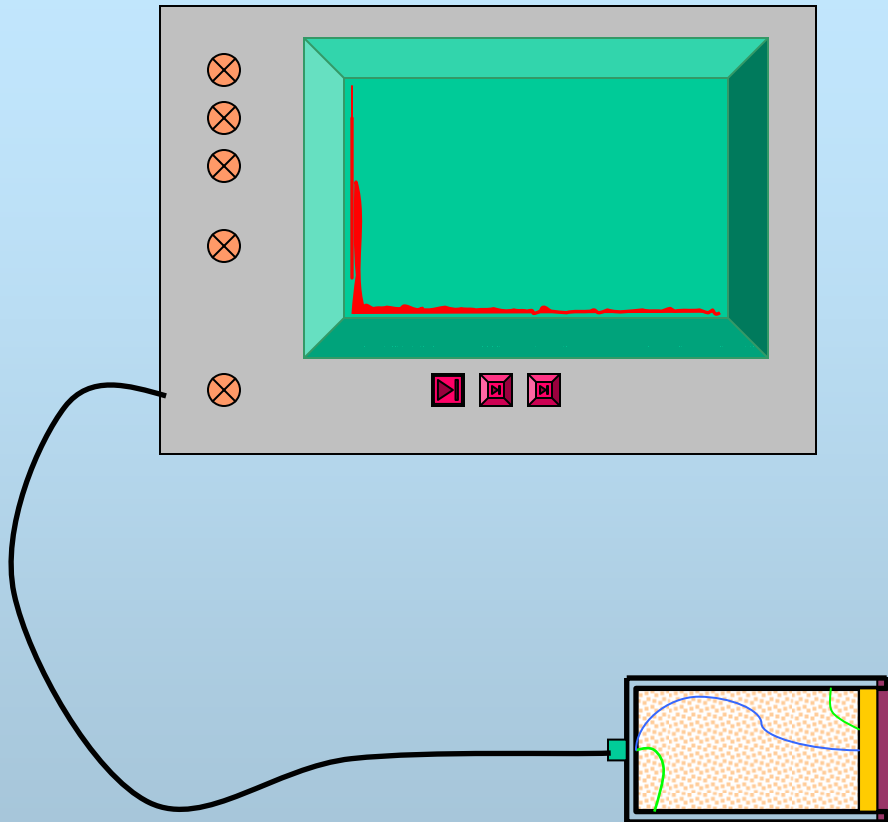
Palpeur d'angle



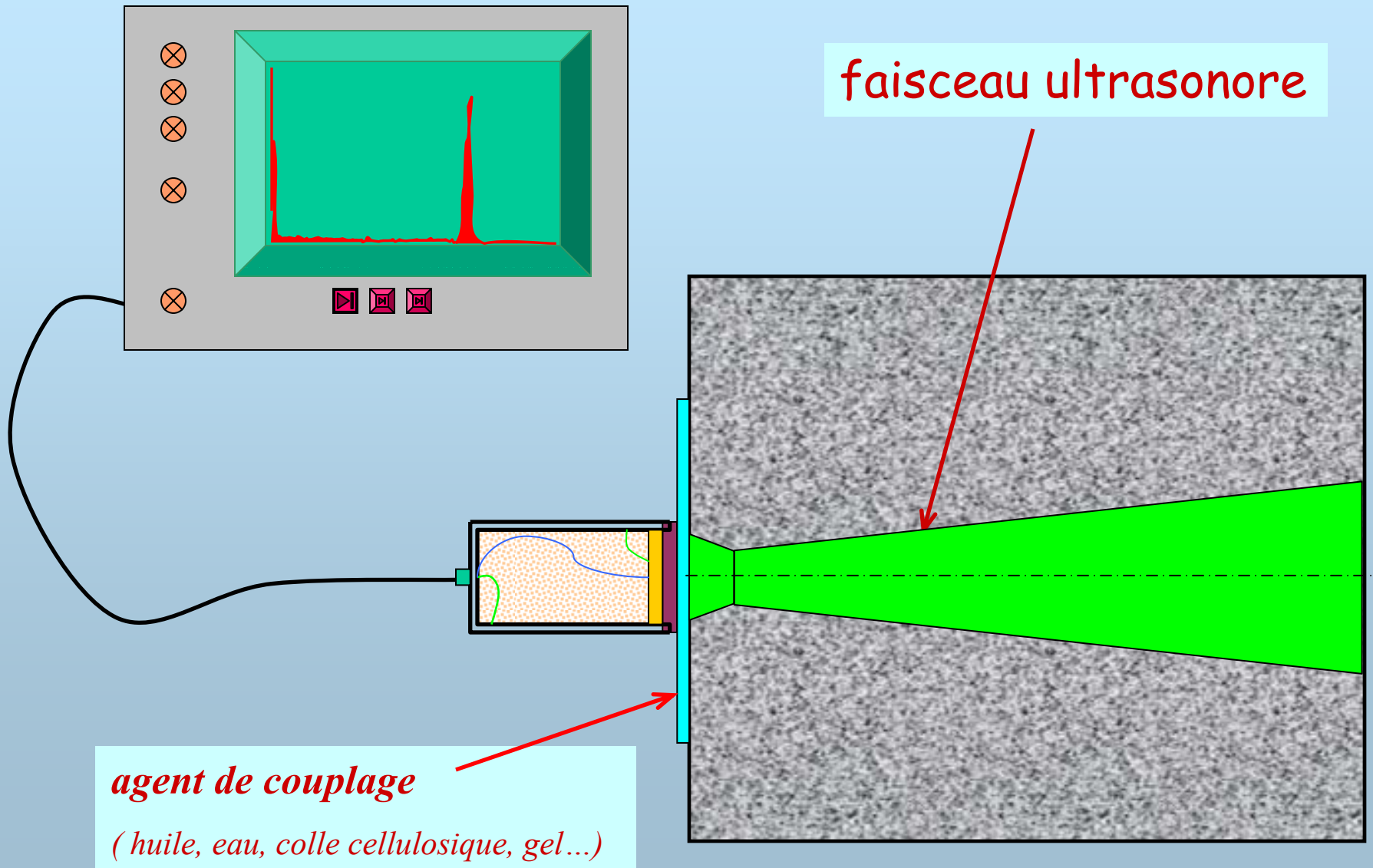
Point d'émergence

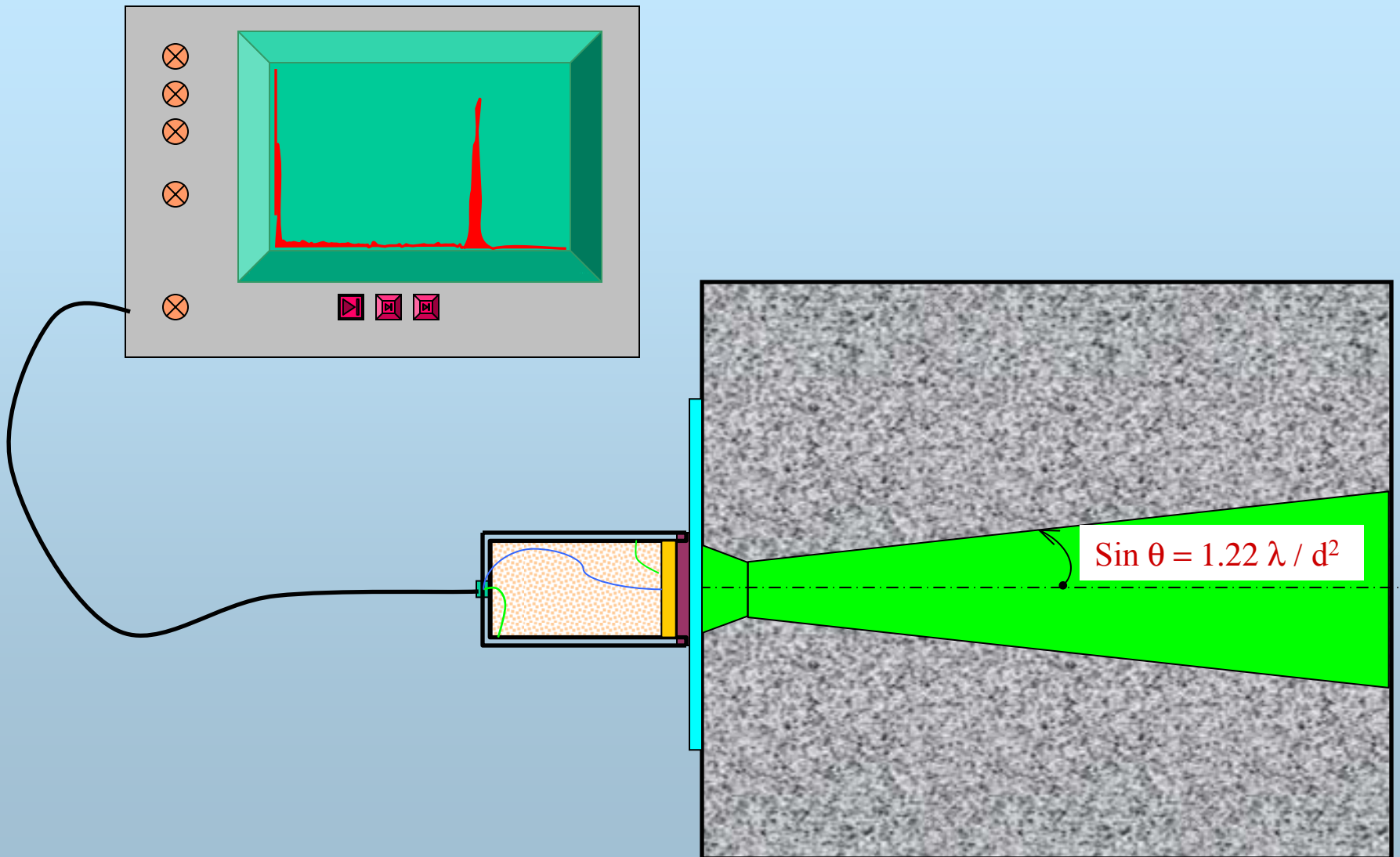


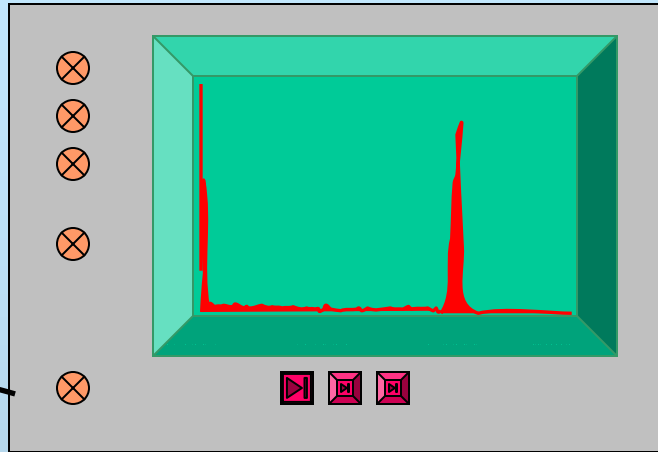




Connexion palpeur / oscilloscope + générateur d'impulsions

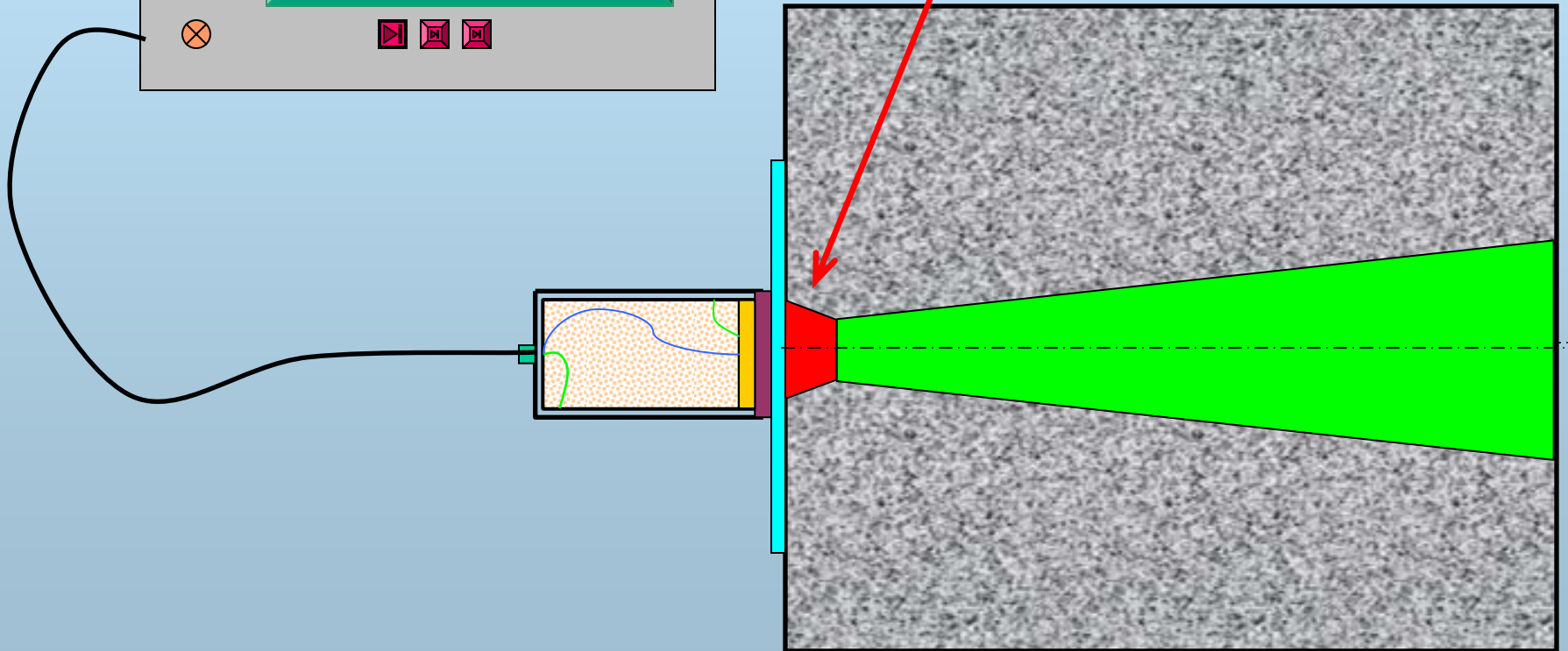


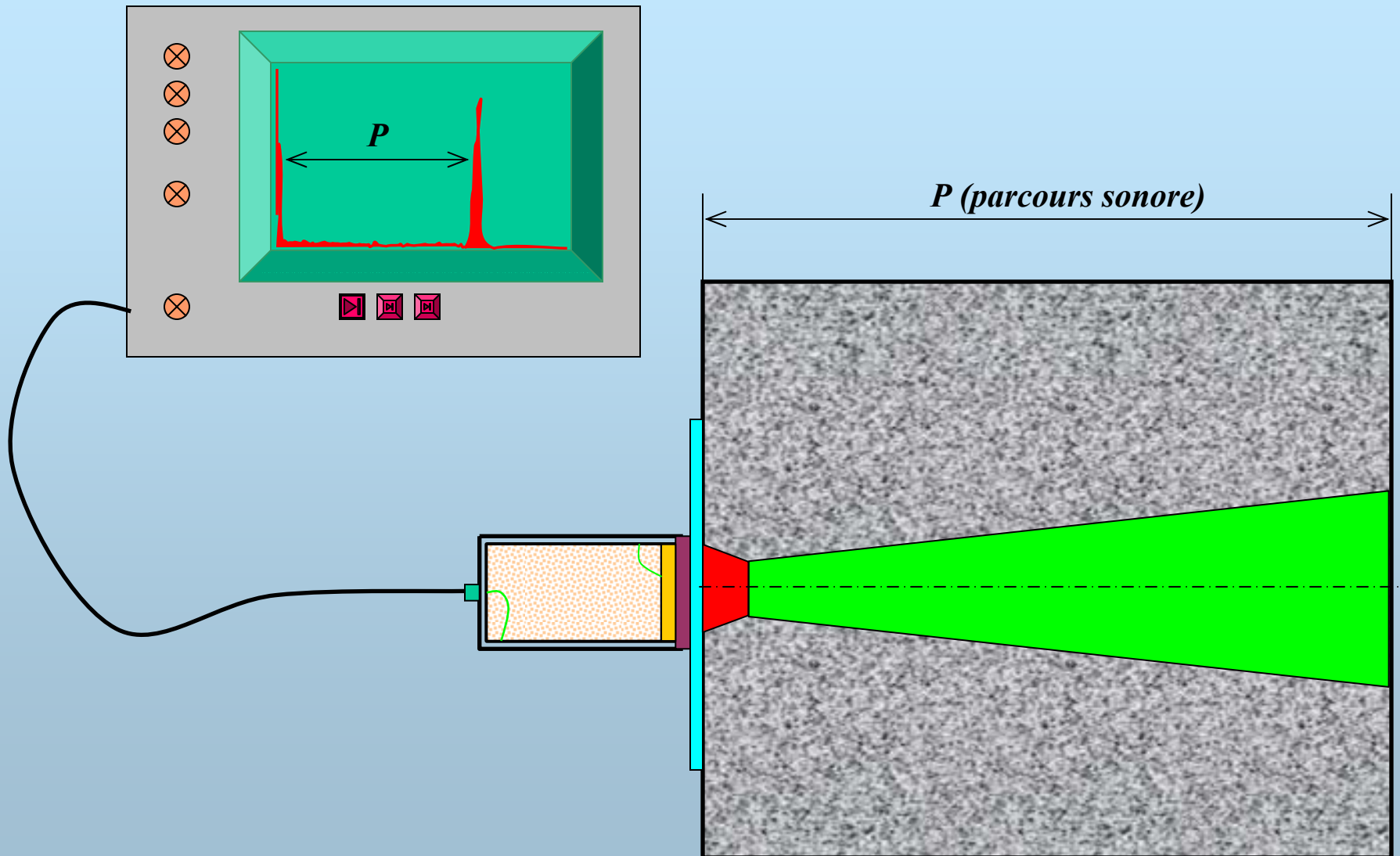


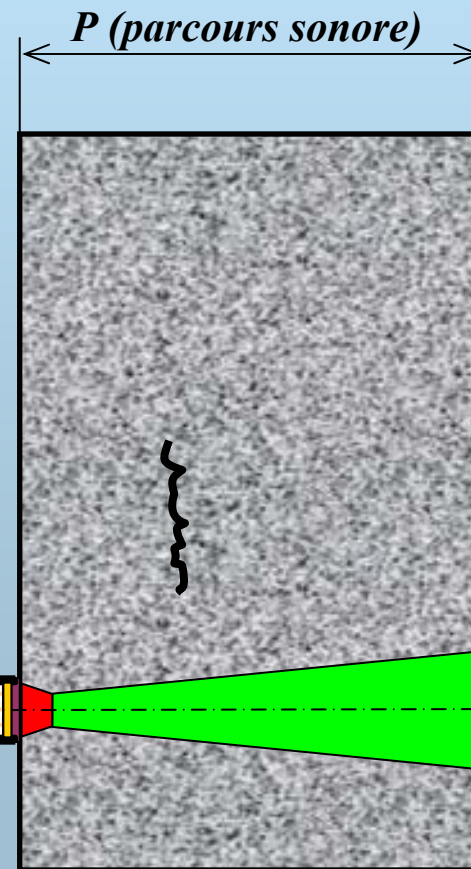
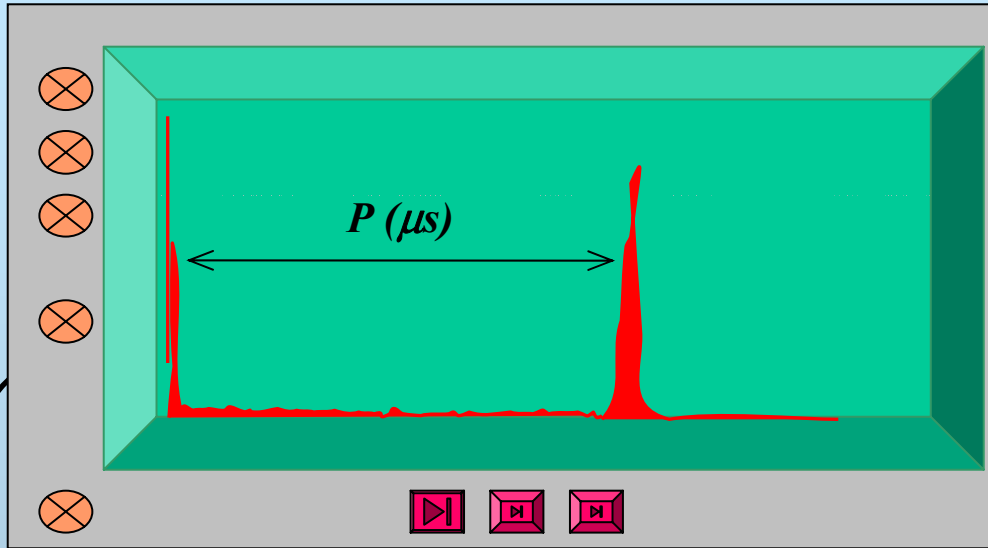


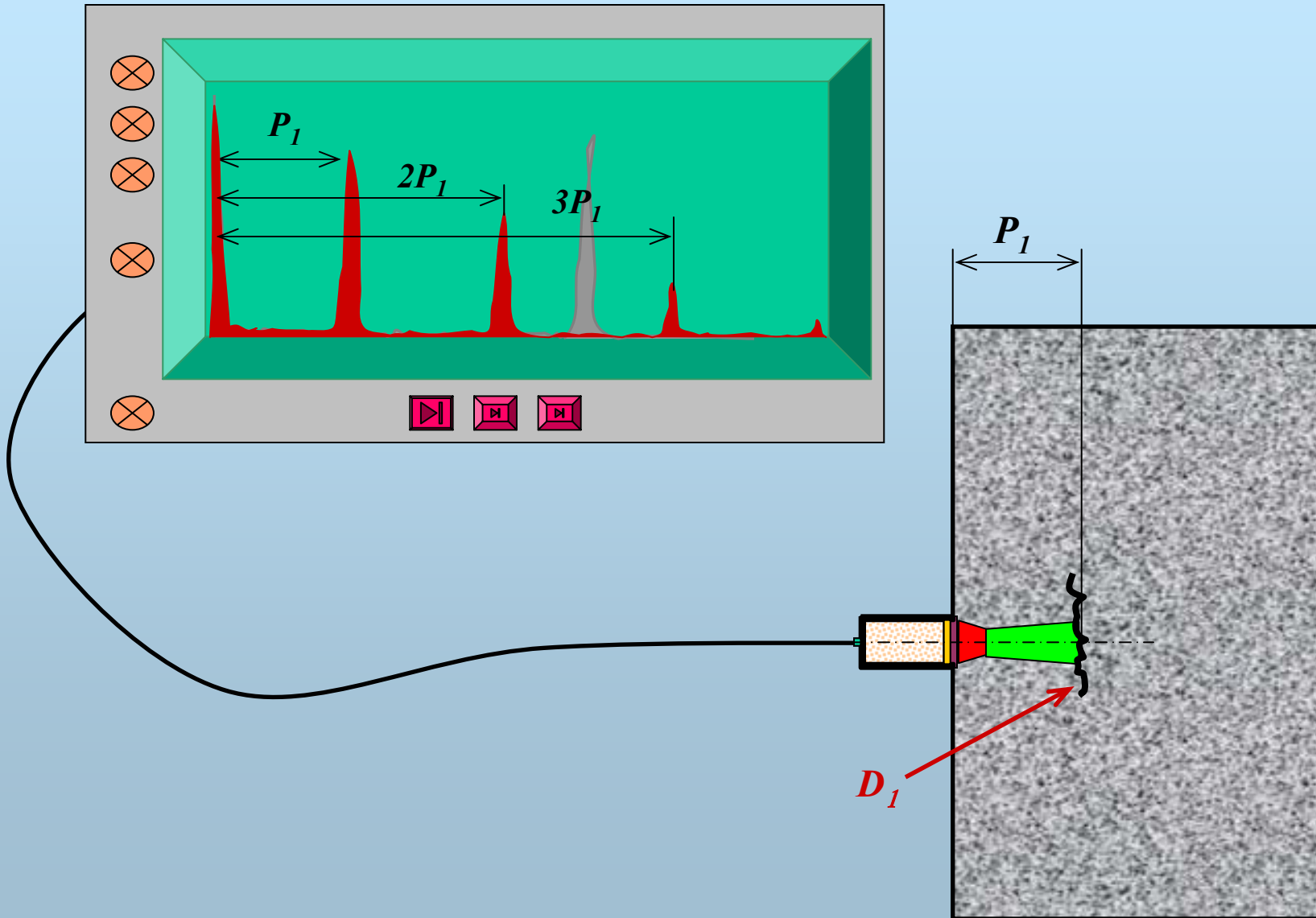
*Zone morte*

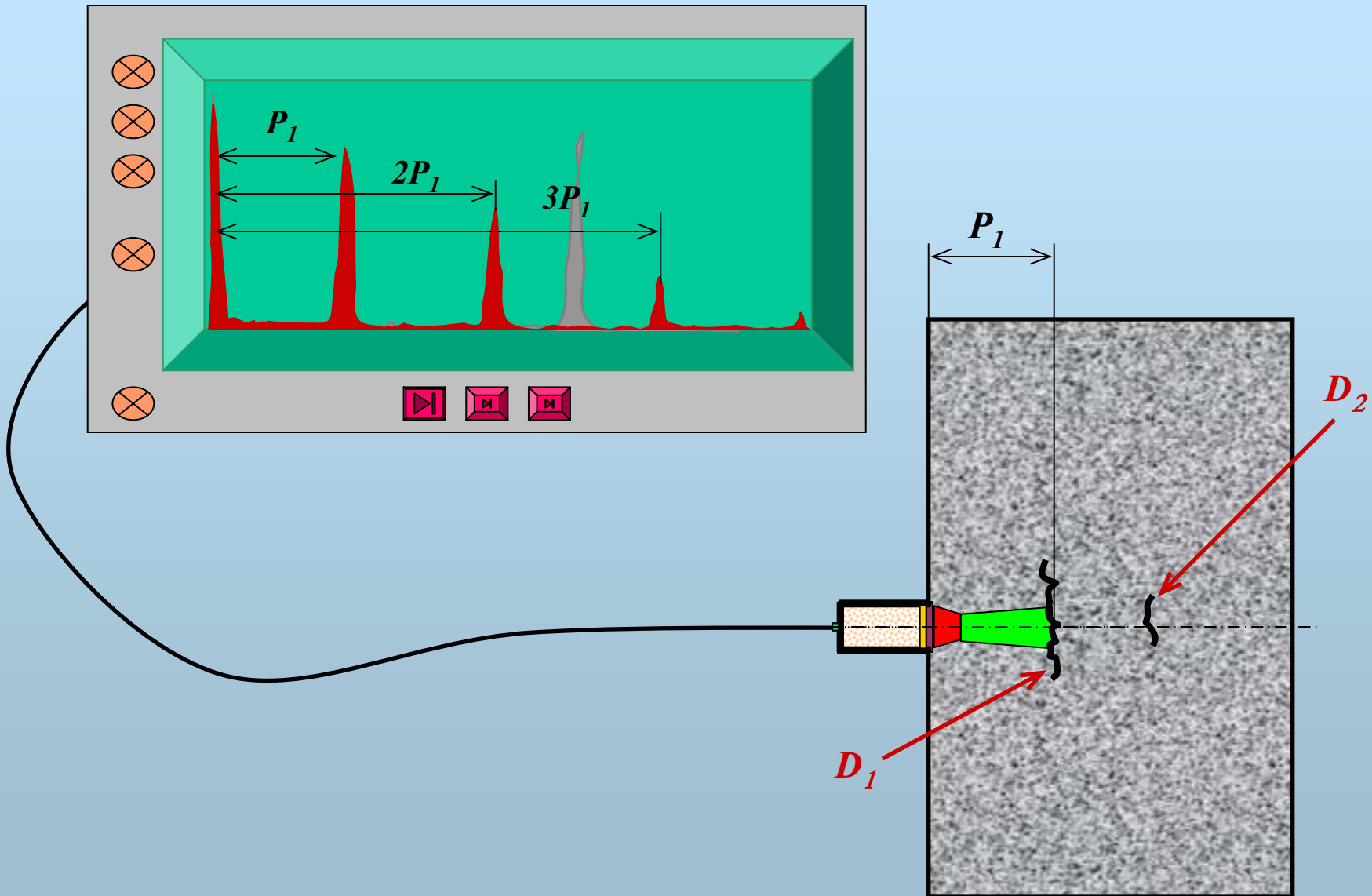
$$n = \frac{D^2}{4\lambda}$$



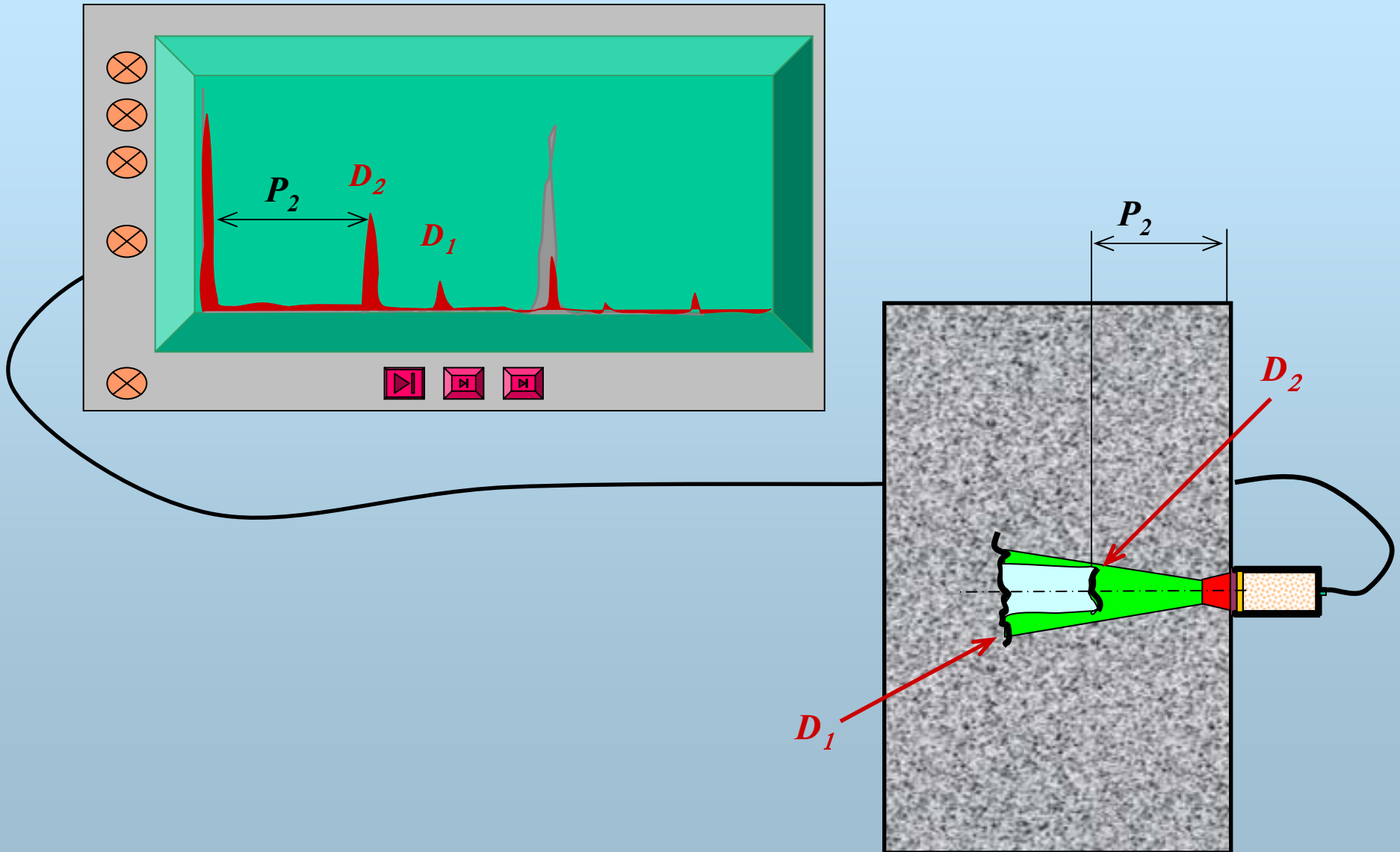


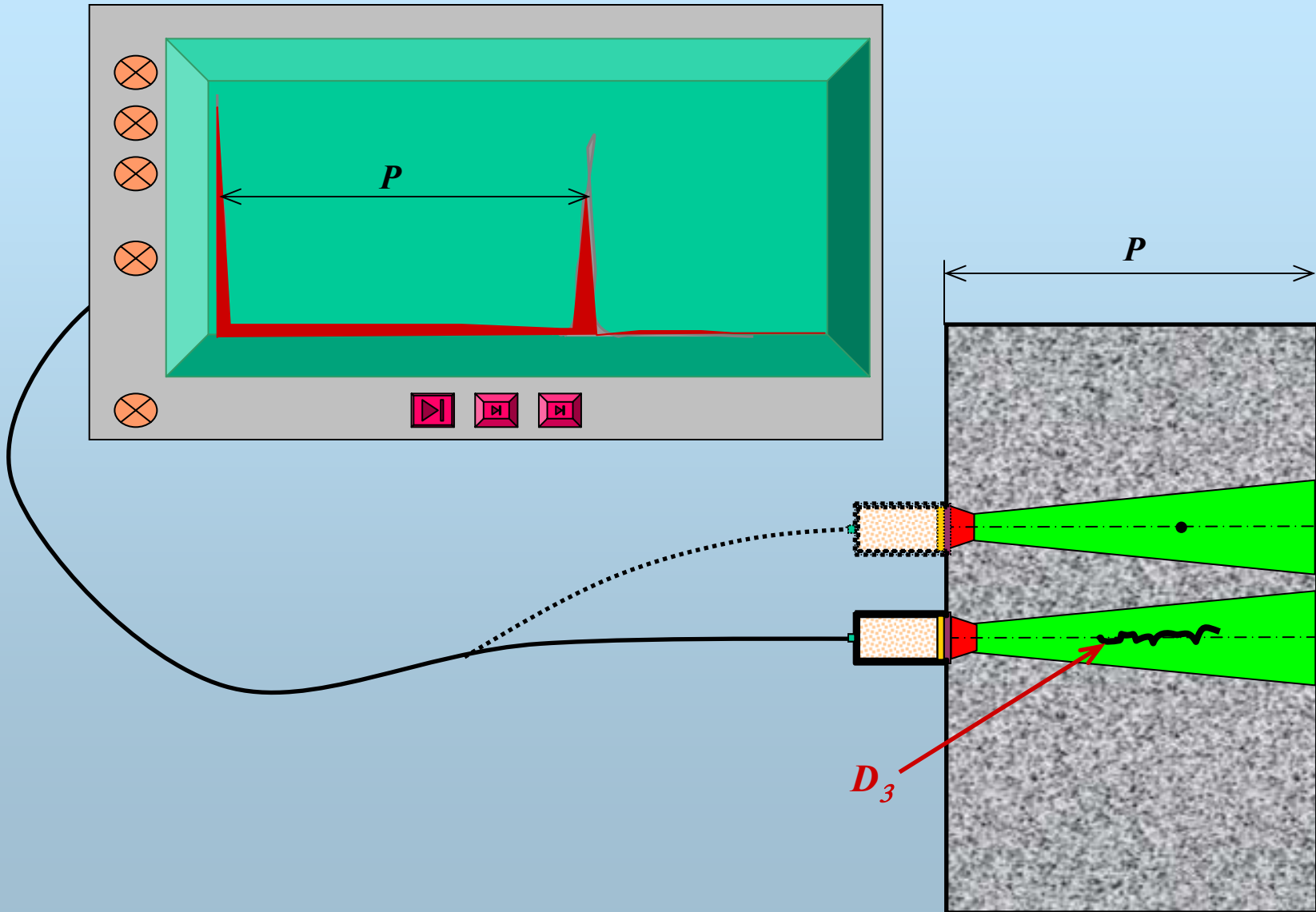


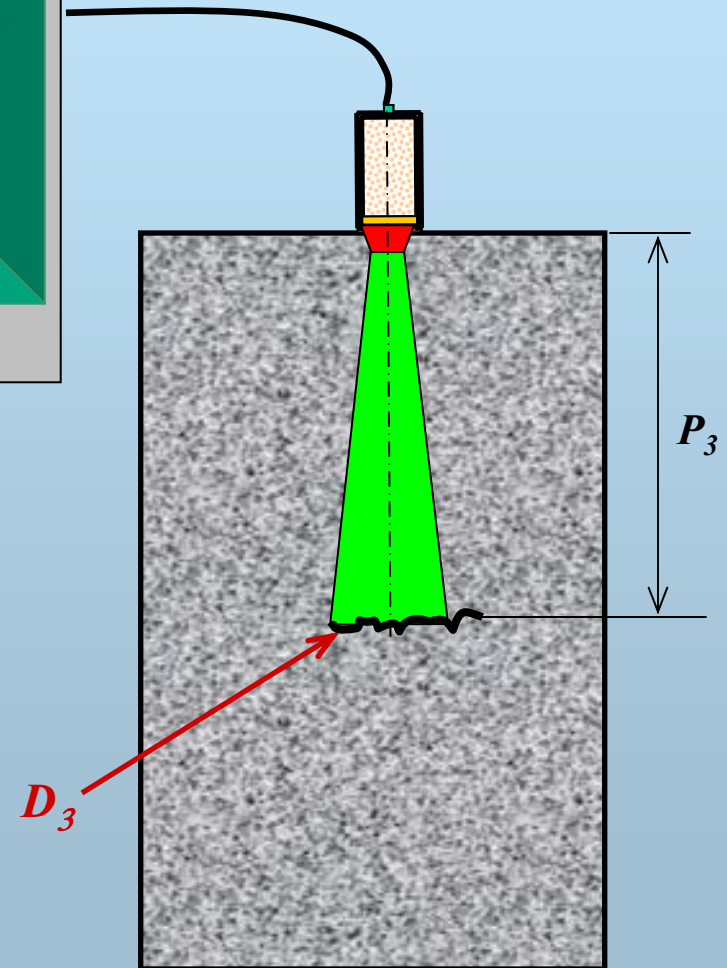
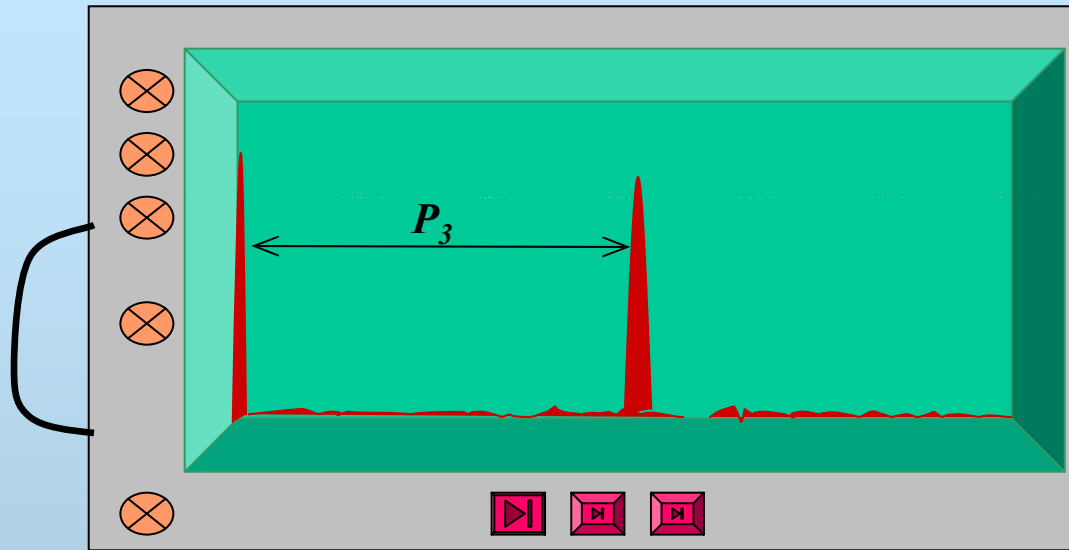


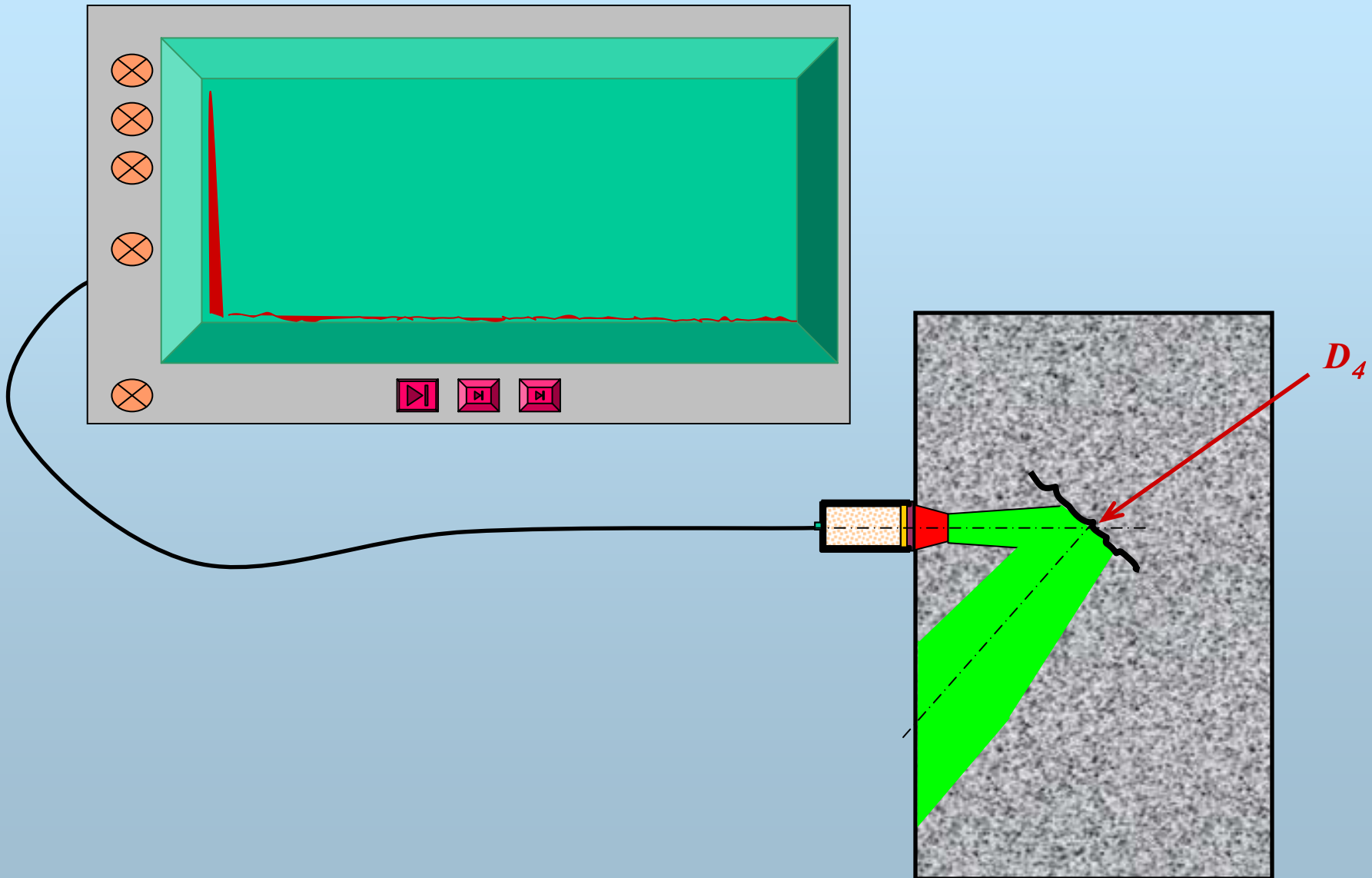


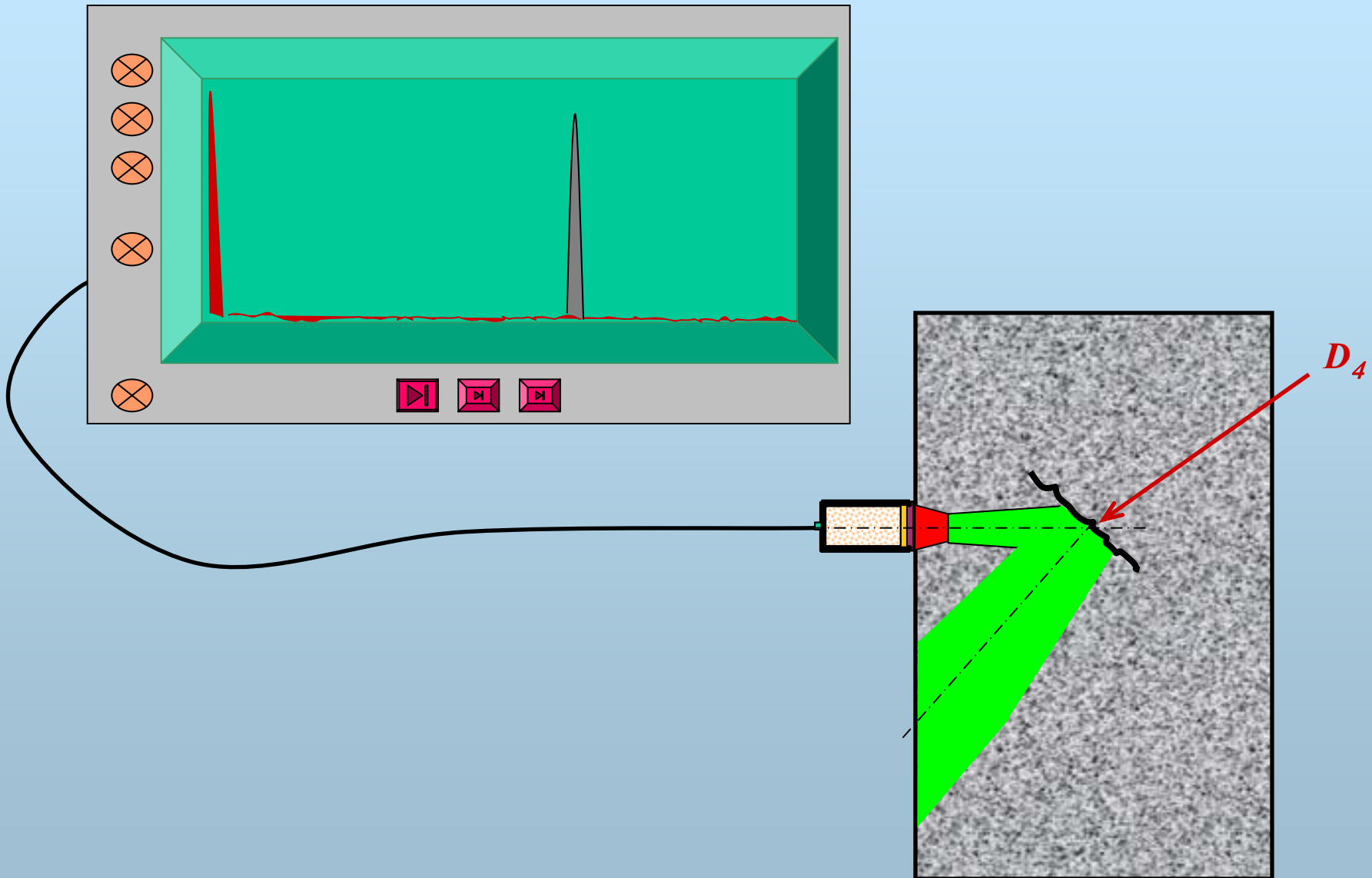


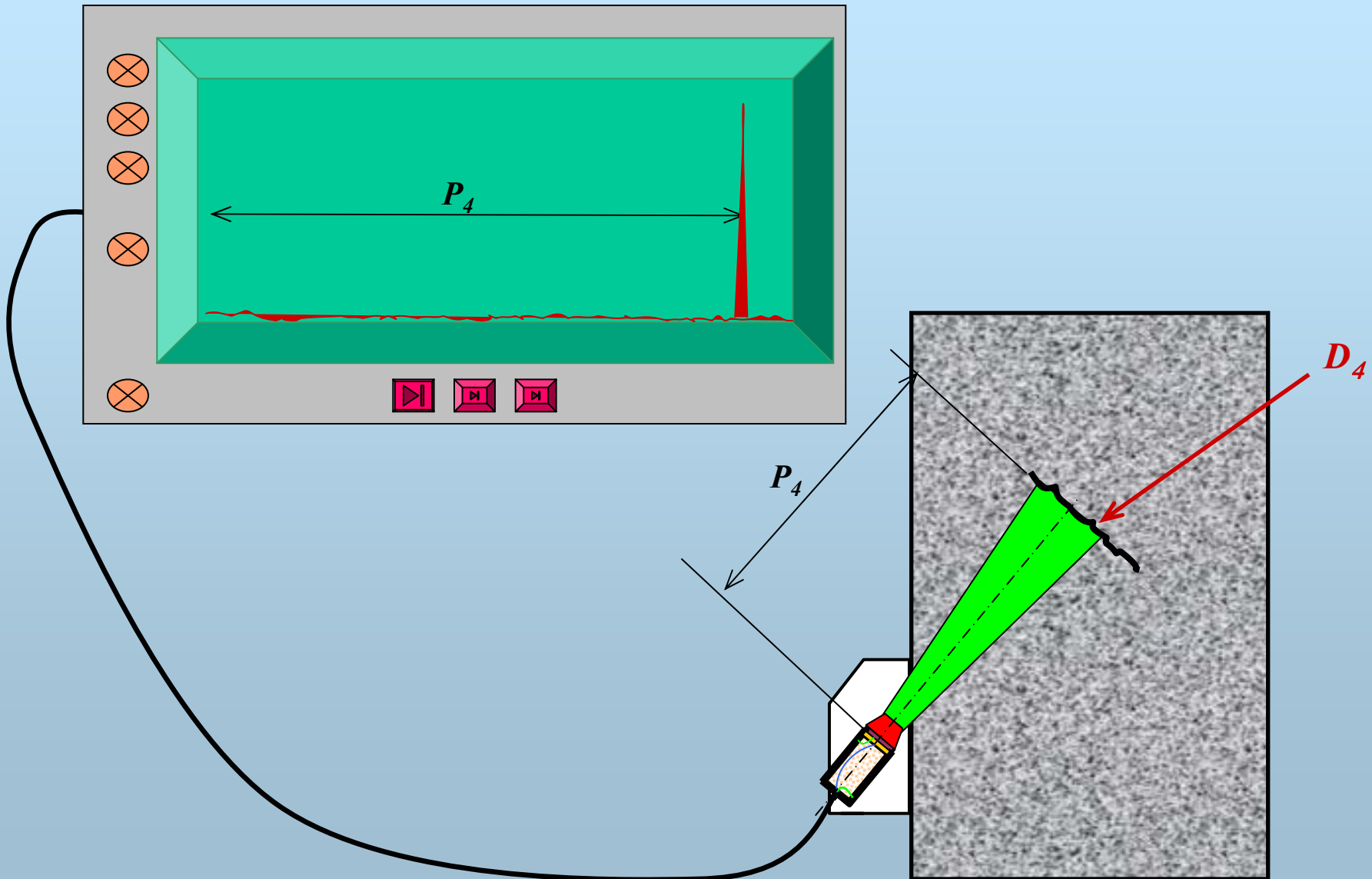


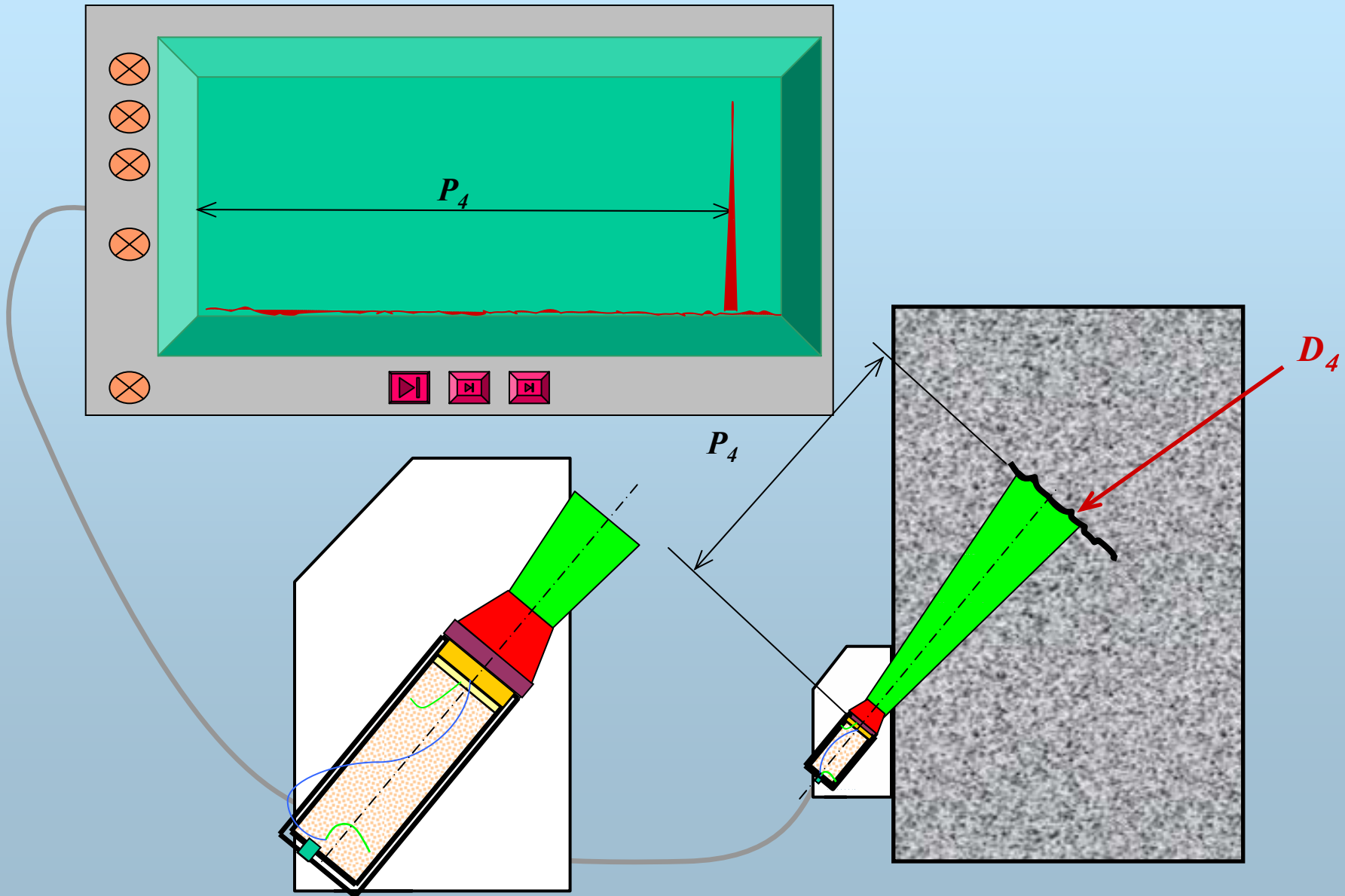


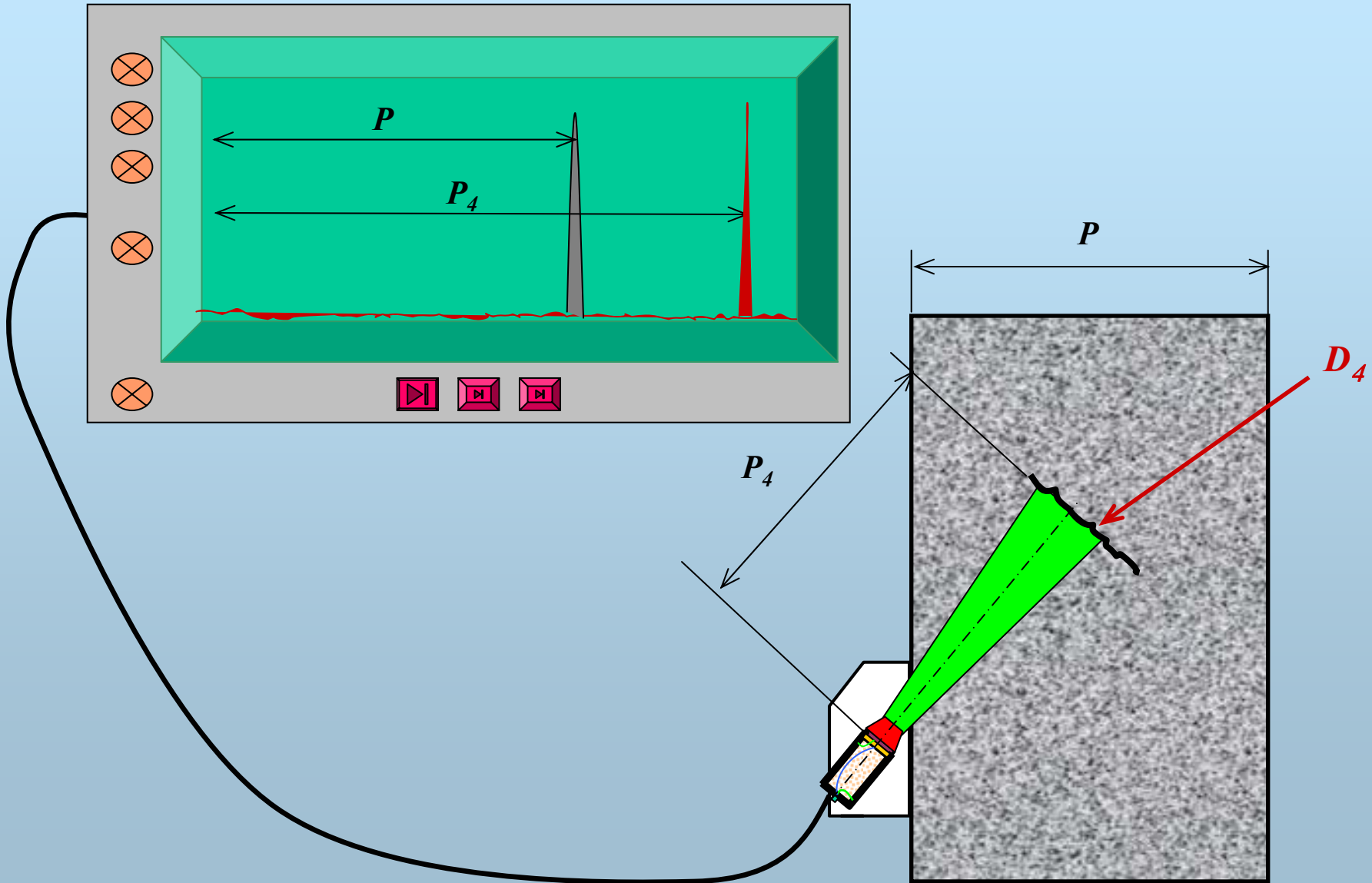




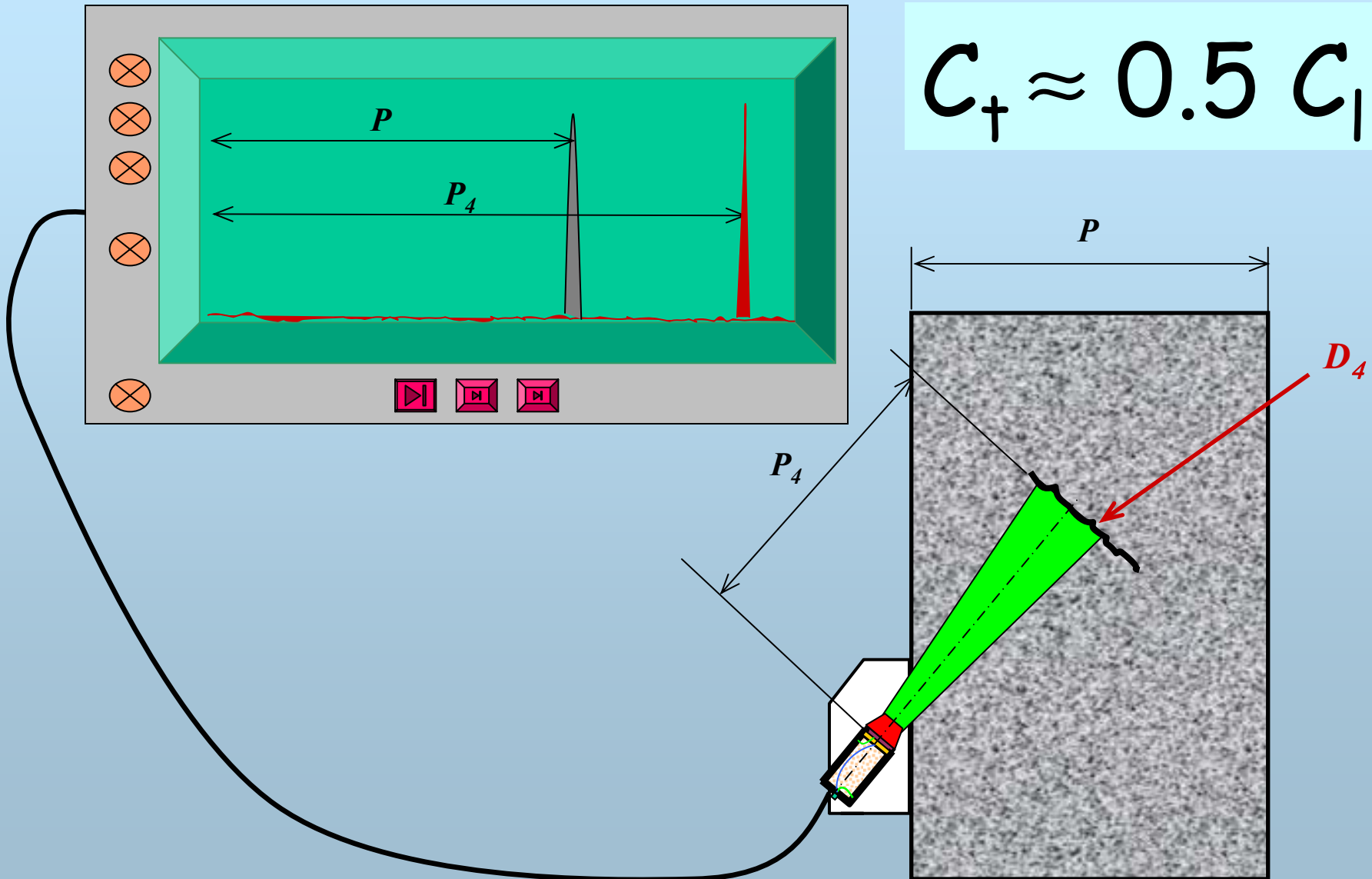






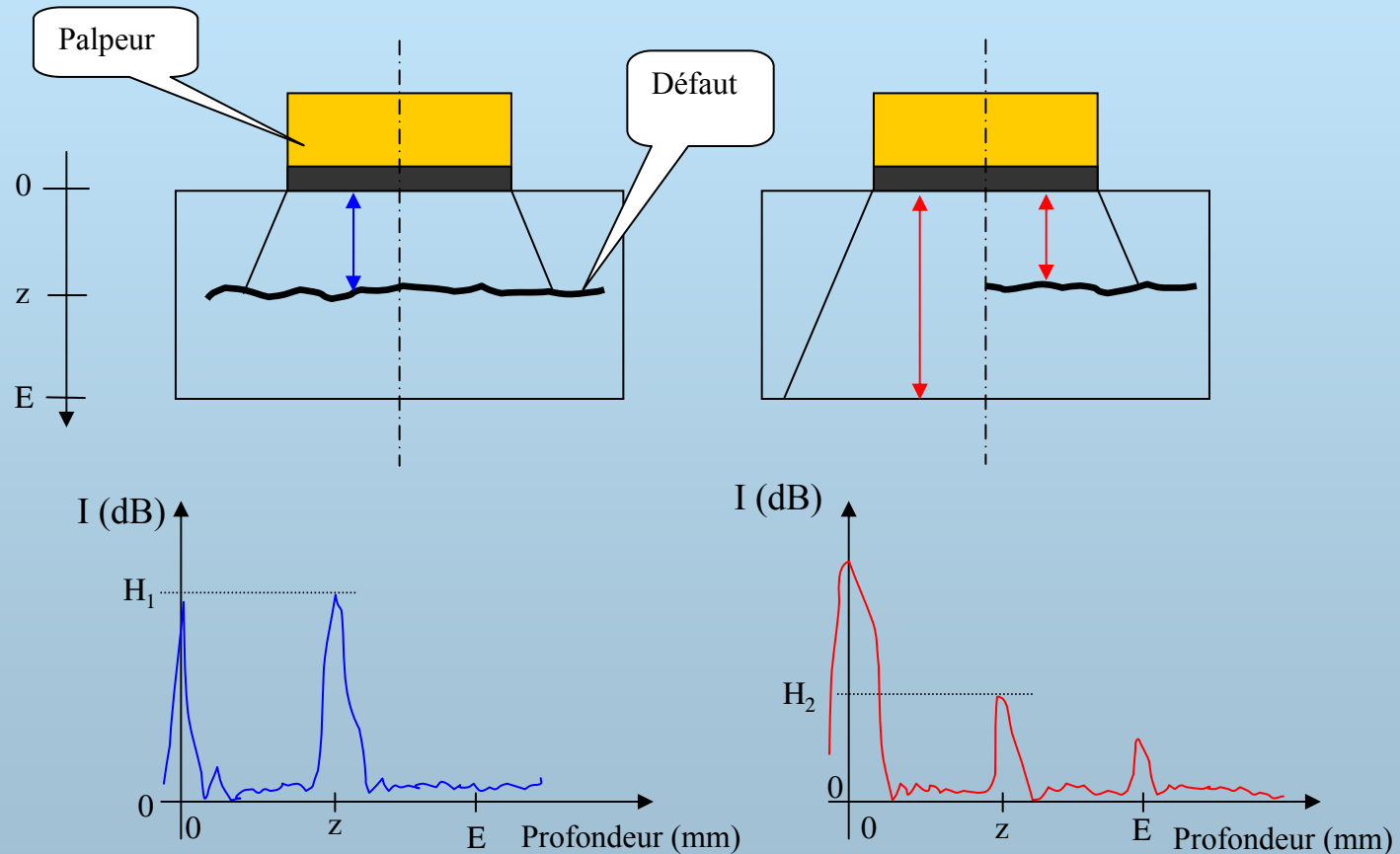






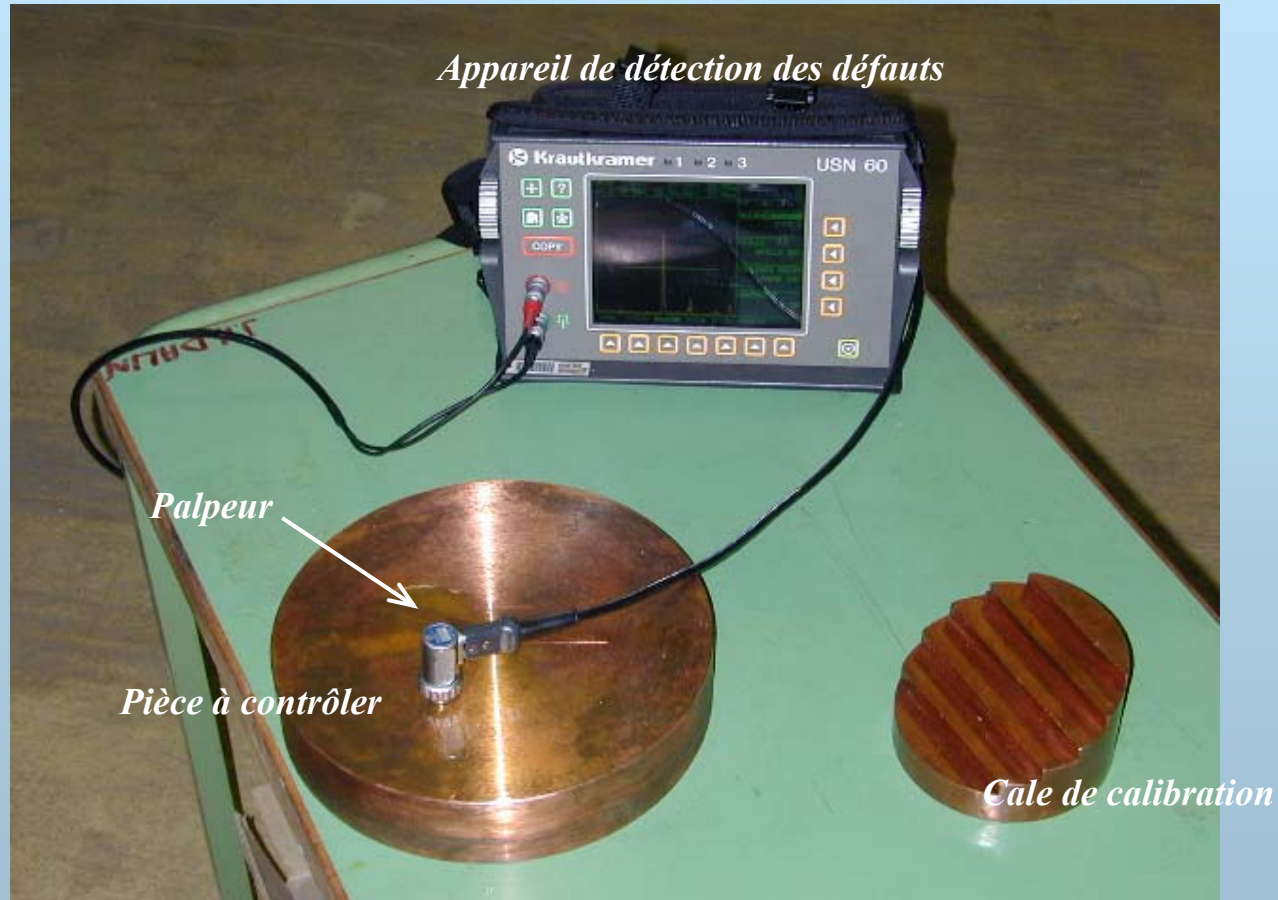


## Dimensionnement des défauts: méthode à -6 dB



$$H_2 = H_1 - 6 \text{ dB}$$

## *Appareillage de contrôle par contact*



*Le contrôle par ultrason demande une calibration rigoureuse du palpeur.*



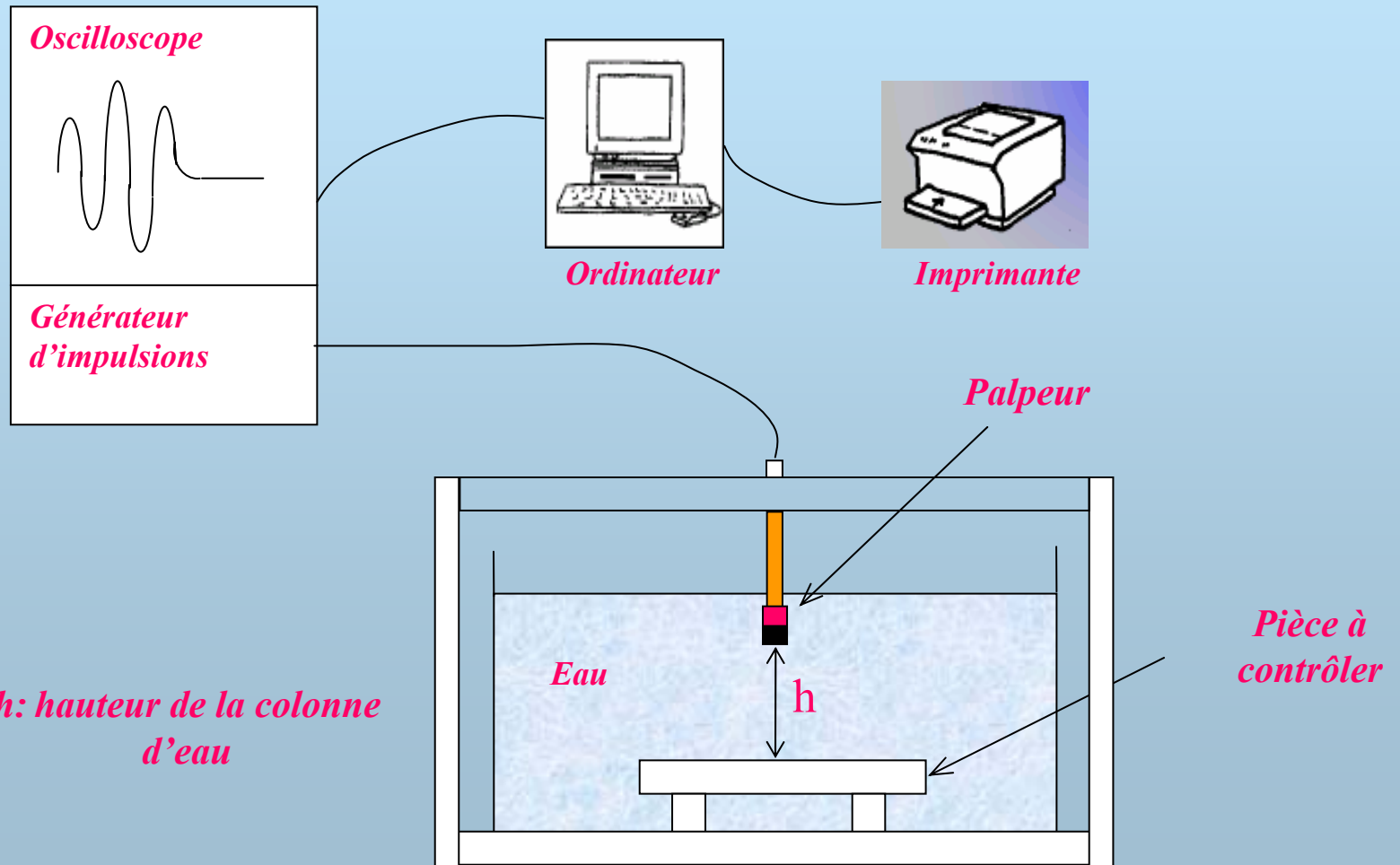
*« Girder » des pieds d'ATLAS*



*Structure de soutien pour ALICE*

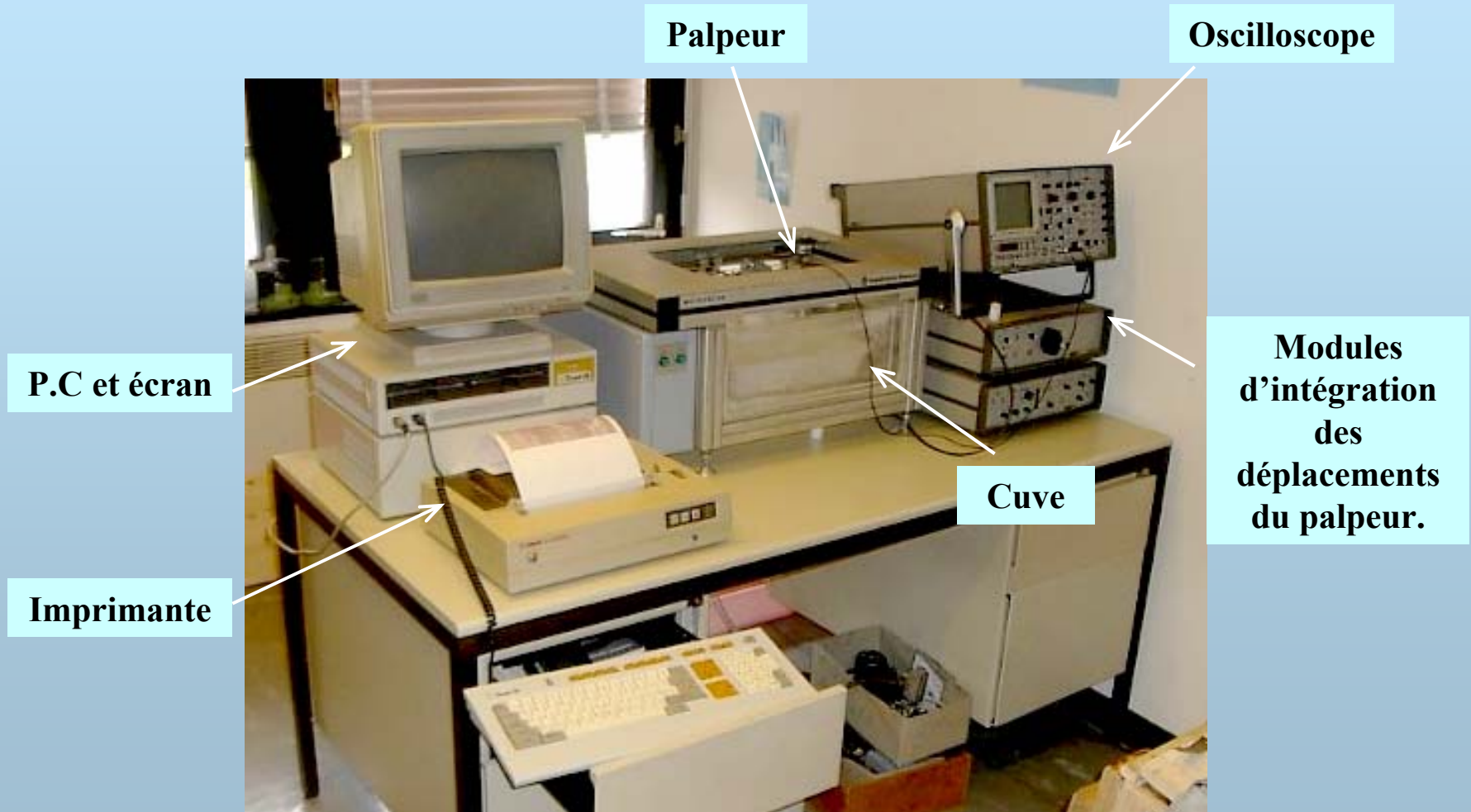


## Contrôle automatique en immersion



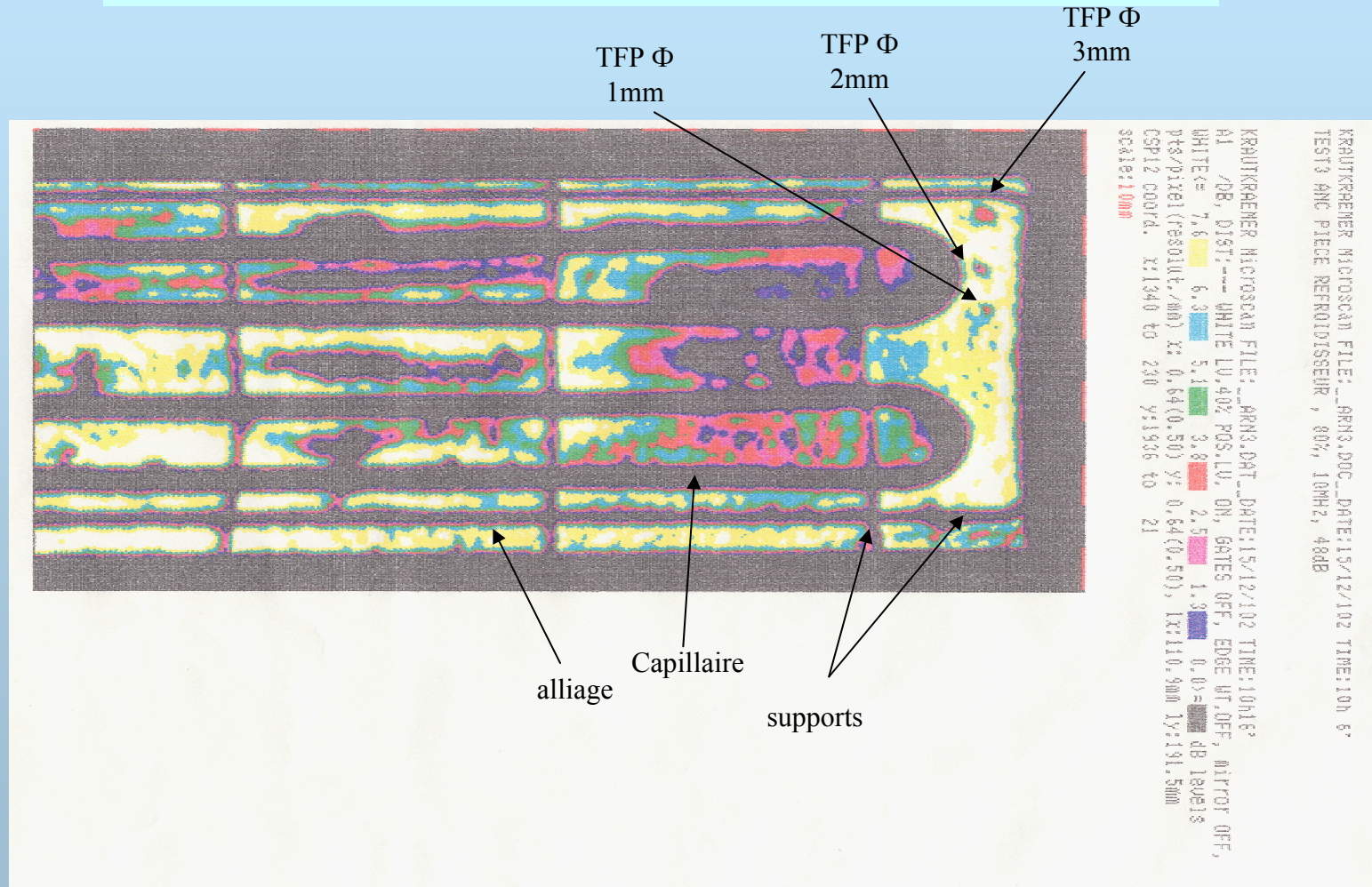


## *Contrôle en immersion: cuve de laboratoire*





# Radiateurs pour détecteur ECAL (CMS)





## *2) La radiographie industrielle*

Clichés d'objets obtenus par rayon X ou Gamma,

Permet de mettre en évidence les défauts internes de pièces ou d'assemblages jusqu'à une épaisseur de l'ordre de 150 mm d'acier,

Nécessite l'accès aux 2 faces de la pièce à contrôler,

Est soumise à une législation très stricte de sécurité,

Demande des appareillages parfois lourds et encombrants (X),

Est un moyen de contrôle rapide et pas forcément coûteux.





## *Propriétés des radiations ionisantes:*

- Obtenues lorsque des électrons d'énergie élevée (100 eV à 100 MeV) entrent en collision avec une cible métallique (RONTGEN, 1895, rayons X) ou par désintégration des noyaux d'isotopes (bombardement neutronique artificiel, rayons  $\gamma$ ),
- Ce sont des radiations électromagnétiques comme la lumière, la chaleur ou les ondes radio,
- Longueur d'onde:  $10^{-12}$  m (X),  $10^{-13}$  à  $10^{-15}$  m ( $\gamma$ ),
- Invisibles,
- Se propagent en lignes droites à la vitesse de la lumière,



Ils traversent la matière et sont partiellement absorbés au cours de la transmission. La diminution relative de l'intensité ( $I_0 - I$ ) est liée à l'épaisseur et à la nature du matériau traversé, elle est donnée par la formule:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

$I$  = intensité du rayonnement transmis

$x$  = épaisseur traversée

$I_0$  = intensité du rayonnement incident

$\mu$  = coef. d'absorption linéaire = f (poids spécifique du matériau)

## Absorption et diffusion

Diffusion de Rayleigh: aux très faibles énergies, photon X diffusé par les  $e^-$  de l'atome sans libération d' $e^-$ . Photon X dévié conserve la même énergie.

### Effet photoélectrique

$E < 100 \text{ KeV}$

Expulsion d'un  $e^-$  appartenant à une couche interne de l'atome

### Effet Compton:

$100 \text{ KeV} < E < 10 \text{ MeV}$

Lors de l'interaction, une partie de l'énergie du photon incident est transférée à l'électron libre ou présentant une faible liaison de ses couches électroniques externes. Il est alors expulsé.

⇒ diffusion + diminution d'E

### Formation de paires:

E: à partir de 1.02 MeV

Le photon entrant en collision avec le noyau de l'atome entraîne la formation d'un électron ( $e^-$ ) et d'un positon ( $e^+$ )

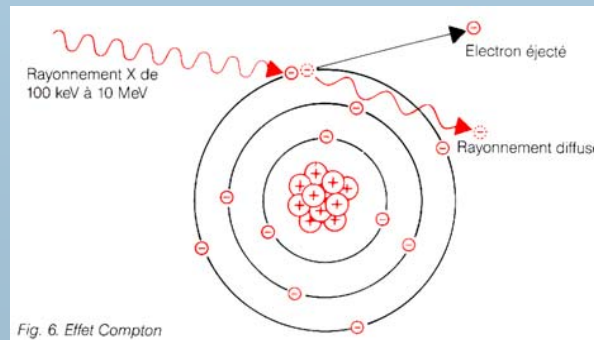
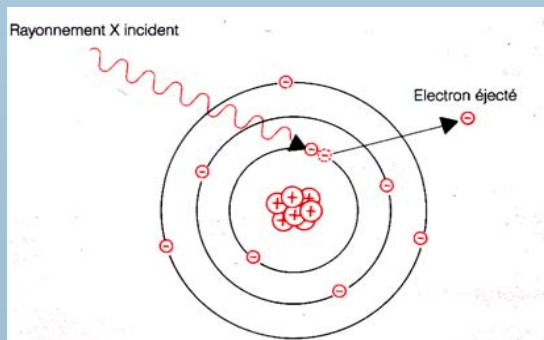


Fig. 6. Effet Compton

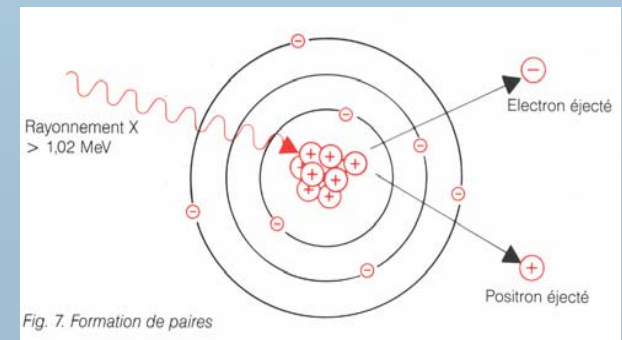


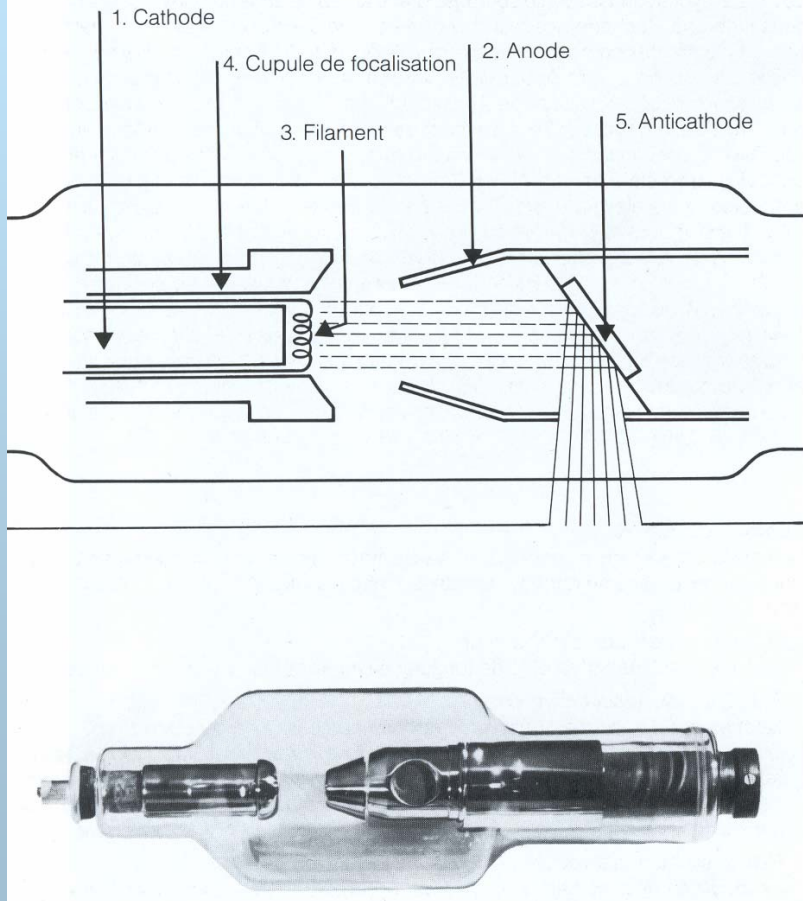
Fig. 7. Formation de paires

Ref.: Radiographie industrielle AGFA NDT, 1988

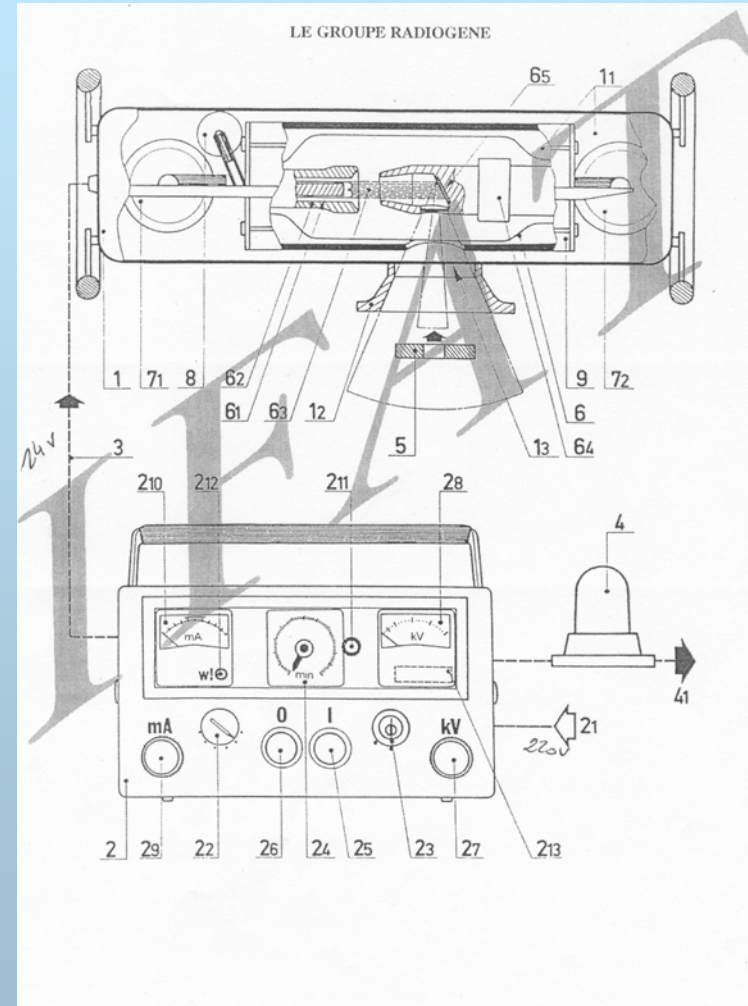


## Source de rayon X

Fig. 9. Tube à rayons X à ampoule de verre

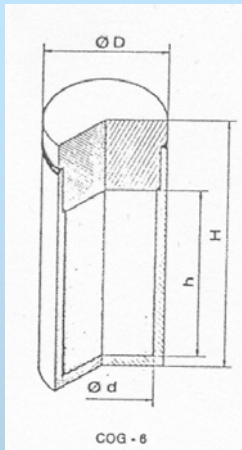


## Groupe radiogène





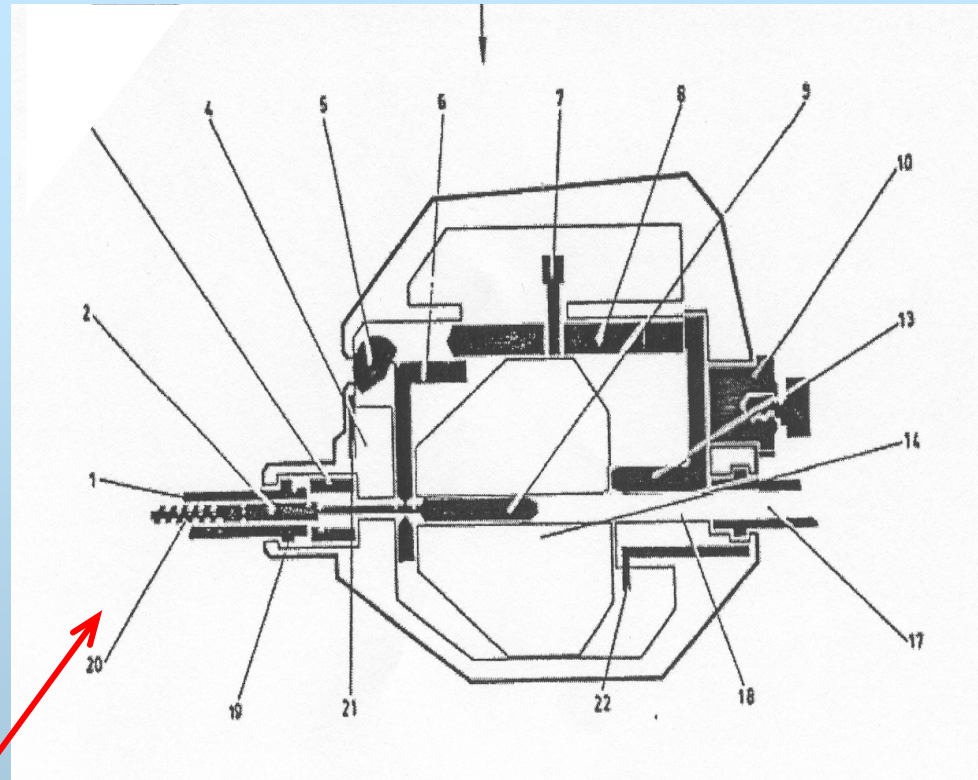
## Porte source, rayons $\gamma$



Dimensions fonction de la nature  
de la source

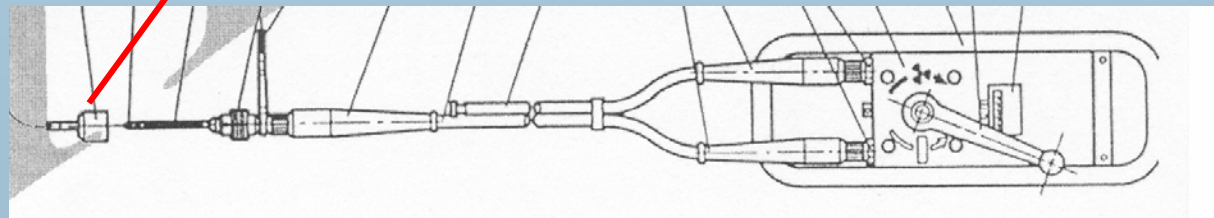
**d**: de 1 à 6 mm

**h**: de 0.5 à 9 mm



**GAM 80**

**Télécommande**





<i>Radio élément</i>	<i>Période</i>	<i>Energie (MeV)</i>	<i>Épaisseur de demi transmission (mm)</i>		
			<i>Béton</i>	<i>Acier</i>	<i>Plomb</i>
$^{60}\text{Co}$	5.3 ans	1.17 1.33	60	20	13
$^{192}\text{Ir}$	74 jours	0.206 0.308 0.316 0.468 0.484 0.588 0.605 0.613	40	12	4
$^{137}\text{Cs}$	30 ans	0.660	80	15	6
$^{170}\text{Tm}$	127 jours	0.084		1.5	0.13

Décroissance de l'activité:

$$A_t = A_0 / 2^{(t/T)}$$

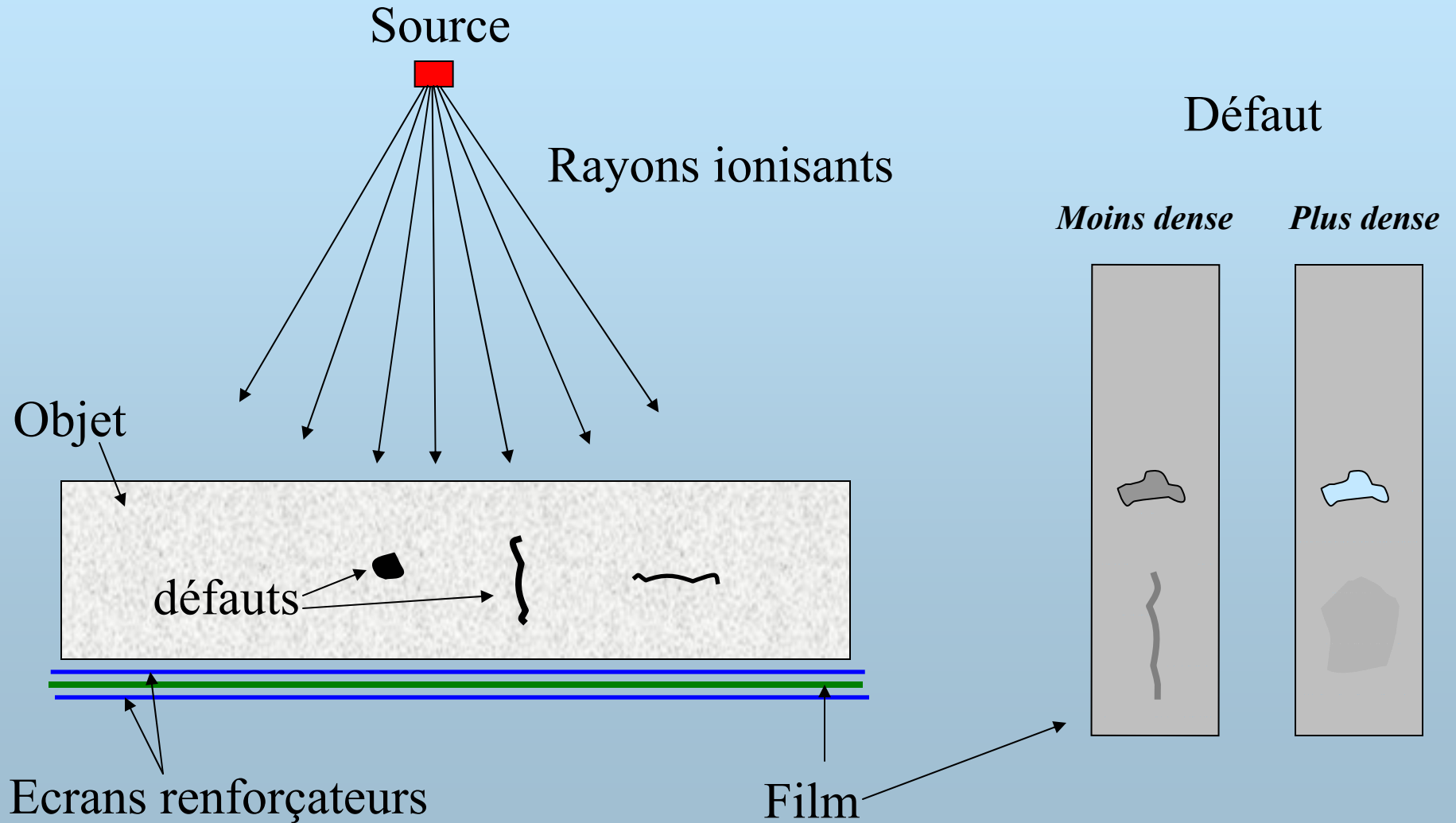
$A_t$  = activité au temps  $t$ ,  $A_0$  = activité initiale

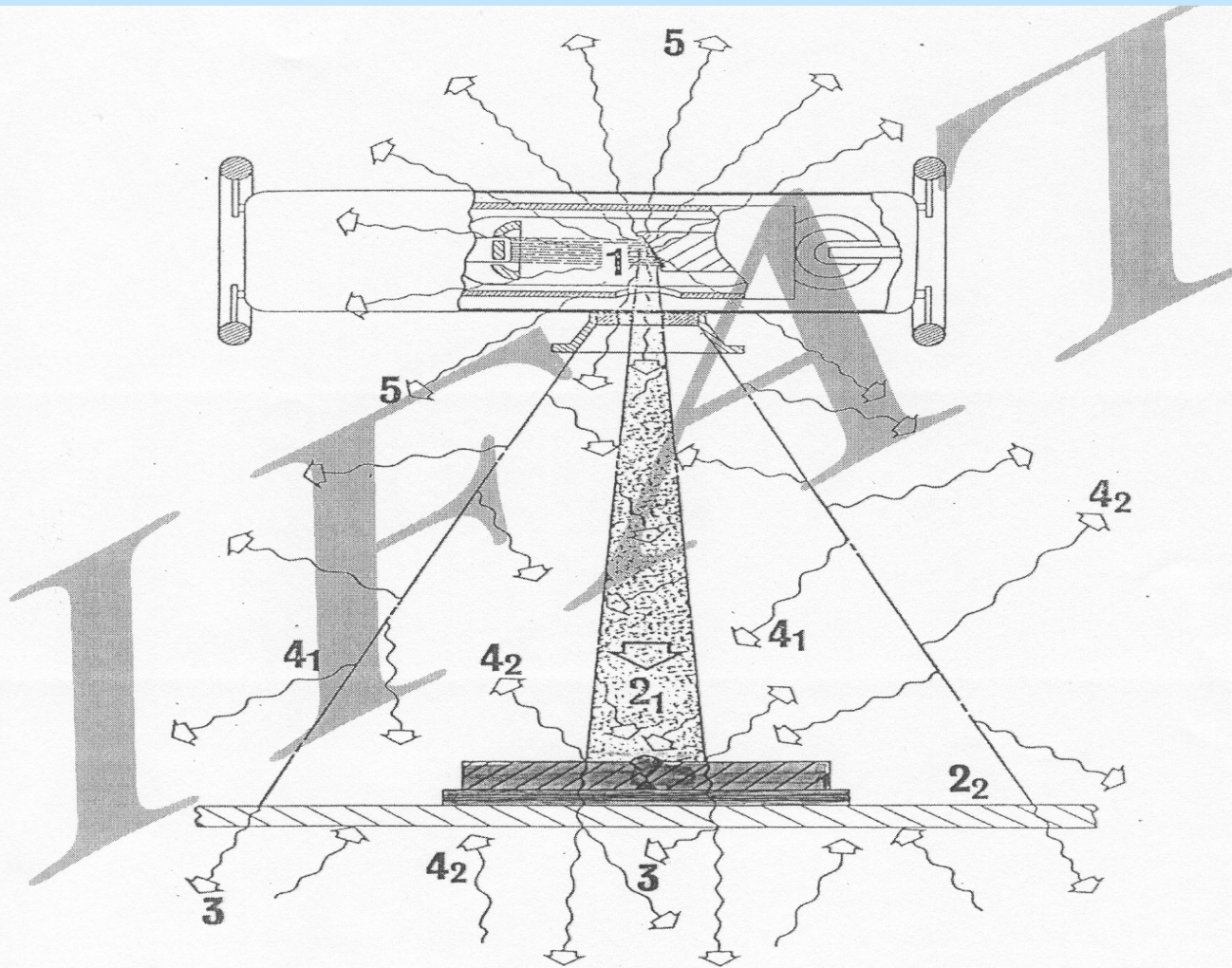
$T$  = période

$t$  = temps écoulé



# Principe d'un tir radiographique

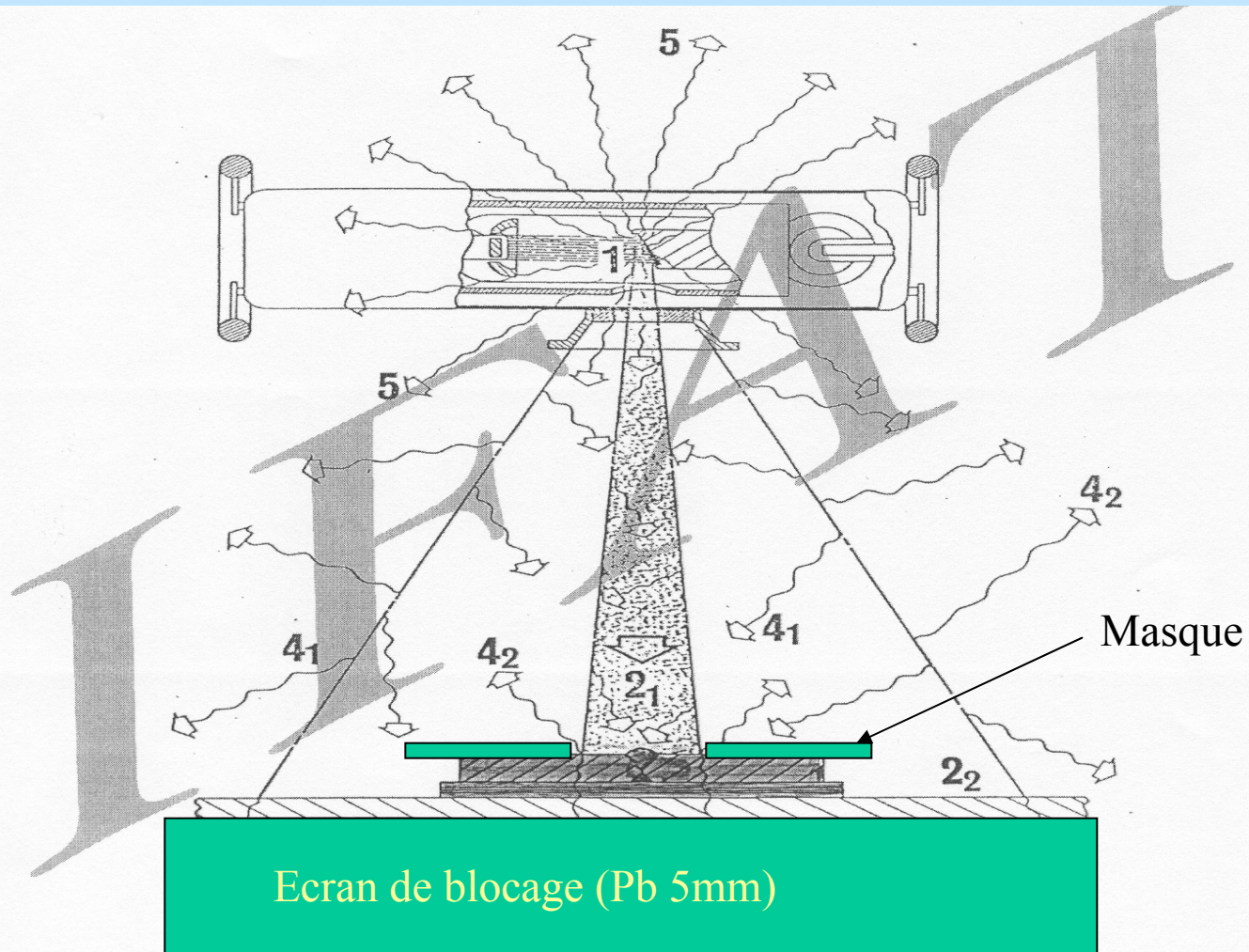




1 – Rayonnement primaire (anode)  
2.1 – Faisceau utile avec diaphragme  
2.2 – Faisceau utile avec collimateur

3 – Rayonnement résiduel  
4.1 – Rayonnement parasite diffusé  
4.2 – Rayonnement parasite rétrodiffusé  
5 – Rayonnement de fuite



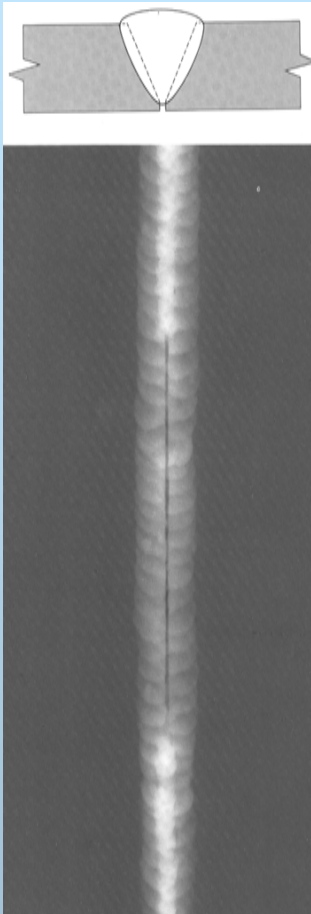


1 – Rayonnement primaire (anode)  
2.1 – Faisceau utile avec diaphragme  
2.2 – Faisceau utile avec collimateur

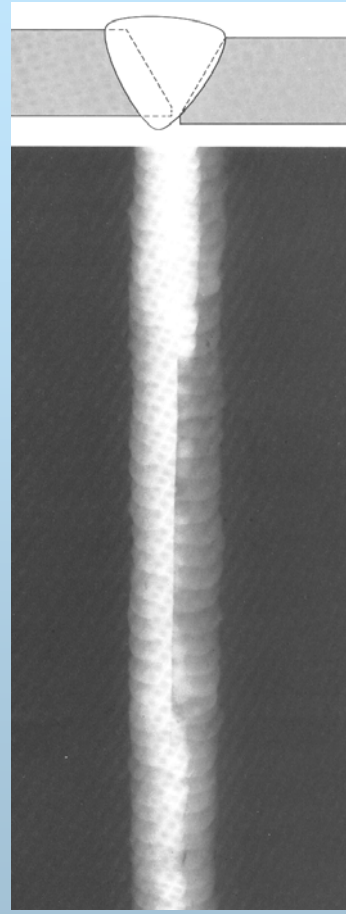
3 – Rayonnement résiduel  
4.1 – Rayonnement parasite diffusé  
4.2 – Rayonnement parasite rétrodiffusé  
5 – Rayonnement de fuite



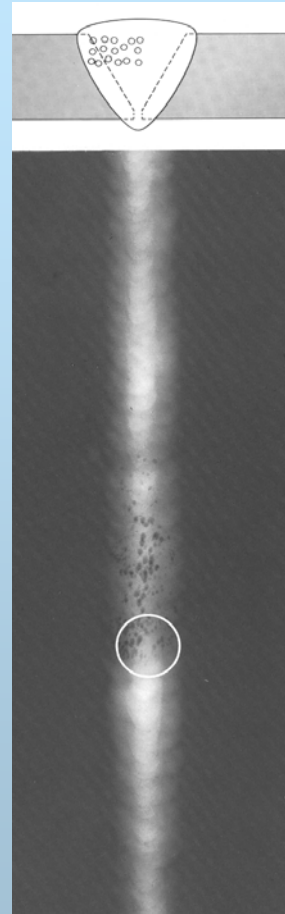
## *Clichés types de soudures*



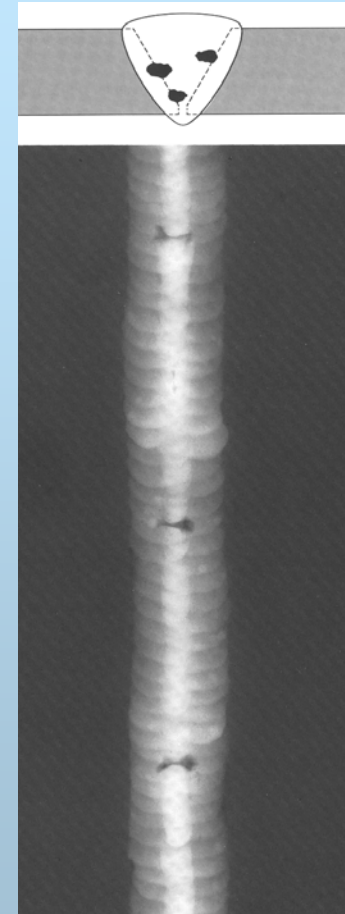
*Manque de pénétration*



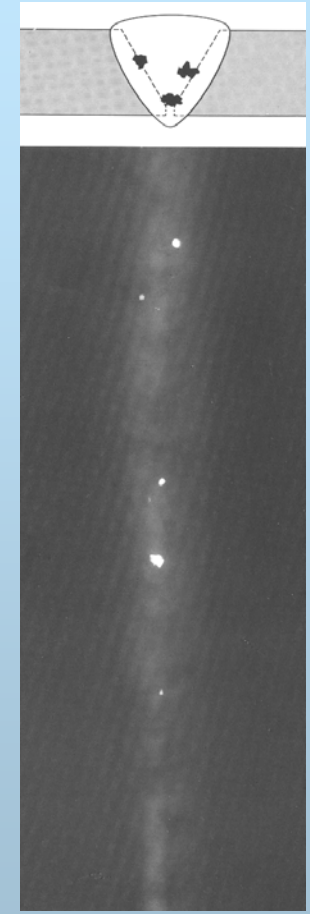
*Mauvais alignement des pièces et déport de la soudure*



*Nid de soufflures*



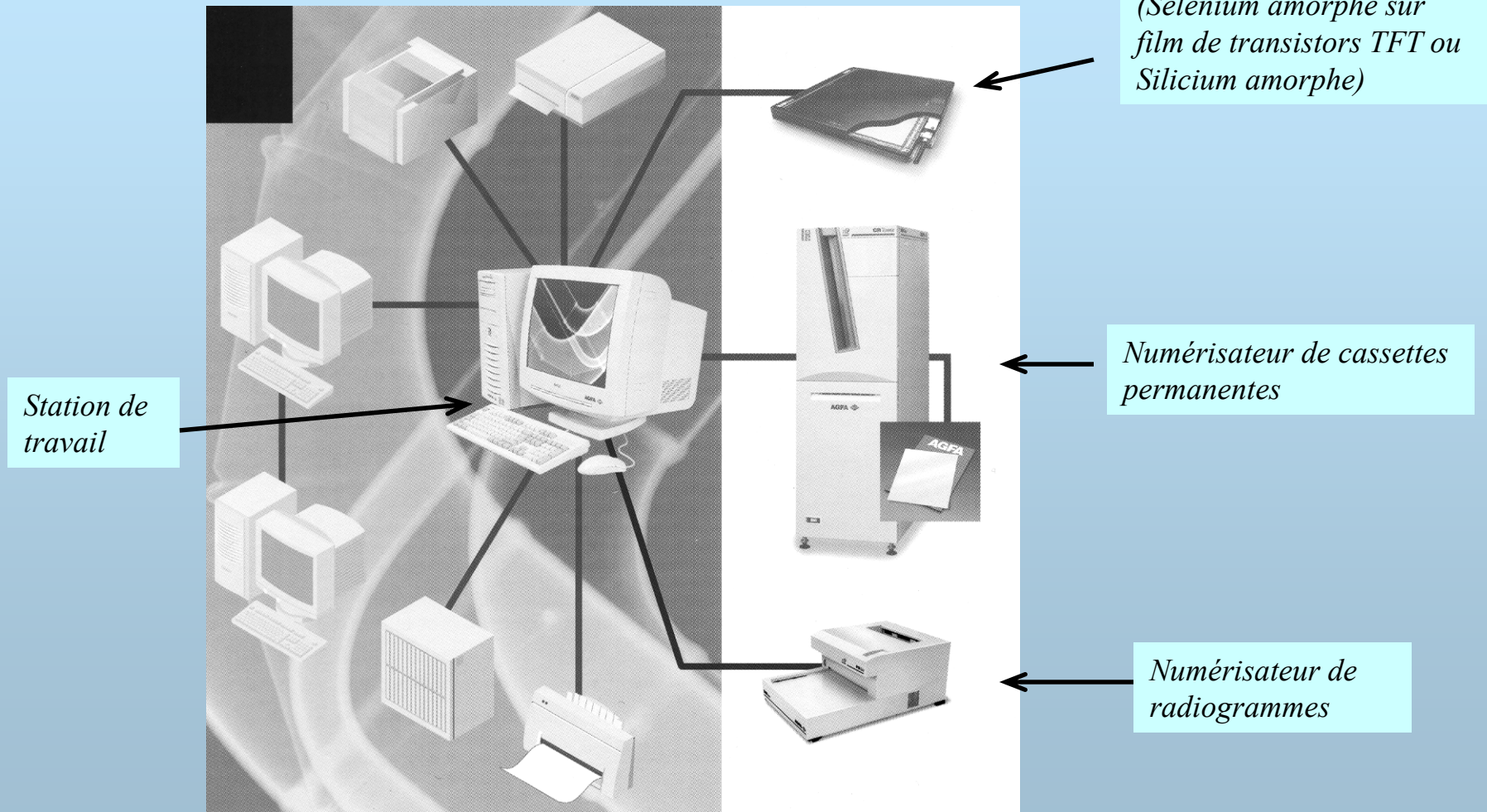
*Inclusions peu denses (laitier)*



*Inclusions denses (tungstène)*



## *Evolution de la radiographie*





## 3) Conclusion

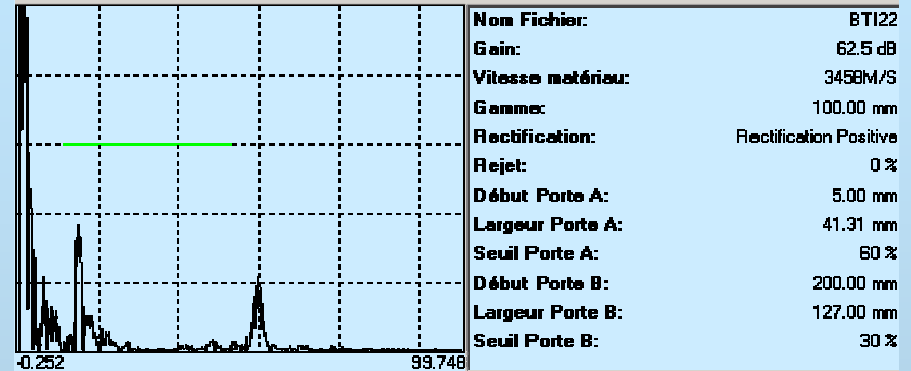
### Complémentarité des 2 méthodes

	<i>US</i>	<i>Radiographie</i>
Position du défaut dans l'épaisseur de la pièce	Oui	Non (sauf méthode par parallaxe)
Défauts parallèles à la face d'entrée du faisceau	Oui	Non
Défauts perpendiculaires à la face d'entrée du faisceau	Non	Oui
Cartographie	Demande un matériel spécifique	Aisé
Automatisation	Oui	Difficile

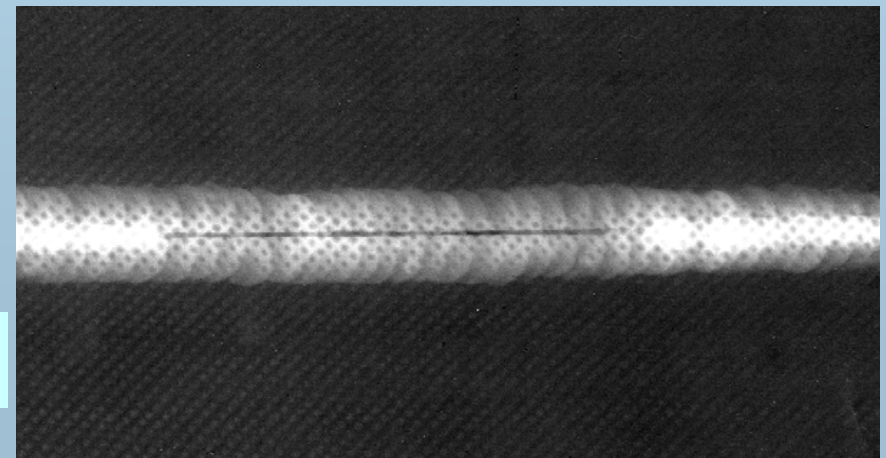


## Barrel Toroid integration 2 (ATLAS)

Contrôle par US: pièce conforme\*



*Echo of the most intense reflector of the whole inspection on the two types of weld, recorded for the rib to the vessel weld (at 5 dB more than the previous spectra): the signal is 9 dB lower than the reference level.*



Contrôle radio: pièce non-conforme\*

\* Critères d'acceptation: CODAP,  $z = 0,85$



## Qualification du personnel de contrôle

	Ultrasons	radiographie
Manipulation de l'appareillage	Aucune qualification requise	Certificat d'Aptitude à la Manipulation des Appareils de Radio Industrielle <b>C.A.M.A.R.I exigé</b>
Consignes à niveau 1 COFREND et Interprétation des résultats	Niv.2 COFREND	Niv.2 COFREND
Signature des rapports d'expertise et rédaction d'instructions de contrôle	Niv. 3 COFREND	Niv.3 COFREND