SIMULATIONS / TESTS

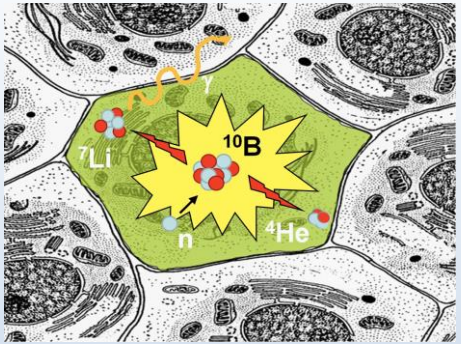
CIBLE TOURNANTE SOLIDE

Responsables Scientifiques : V.GHETTA, D.SANTOS
Equipe technique : JF.MURAZ, **J.GIRAUD**, J.MARPAUD, M.CHALA, M. FORLINO

Plan de la présentation

- Contexte : BNCT - Boron Neutron Capture Therapy
- Simulations
- Expériences

BNCT - Boron Neutron Capture Therapy



→→ Détruire la cellule cancéreuse de l'intérieur par les fragments hadroniques (^{4}He, ^{7}Li) provenant de la capture neutronique par le ^{10}B

Isotope naturel du Bore fixé sur les cellules cancéreuses

$$^{10}B + n_{th} \rightarrow [^{11}B]^{*}$$

$$[^{11}B]^{*} \xrightarrow{6\,\%} {}^{4}He + {}^{7}Li \quad (2{,}79\ MeV)$$

$$[^{11}B]^{*} \xrightarrow{94\,\%} {}^{4}He + {}^{7}Li \quad (2{,}31\ MeV) + \gamma \quad 0{,}48\ MeV$$

Étapes de la BNCT :

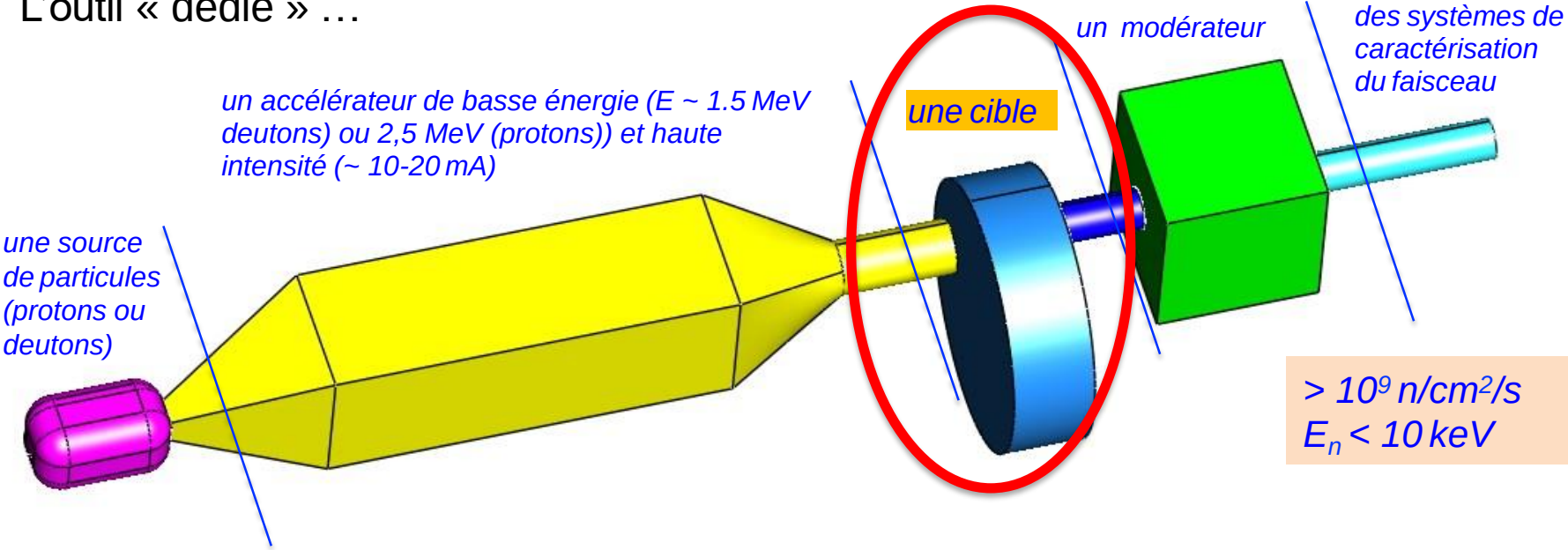
i) Absorption du ^{10}B par les cellules de la tumeur

ii) Irradiation de la zone par un flux important de neutrons épithermiques (0,1 eV – 10 keV)

iii) Fragmentation du ^{11}B donnant une particule alpha et un ^{7}Li (5–8 µm) à faible parcours

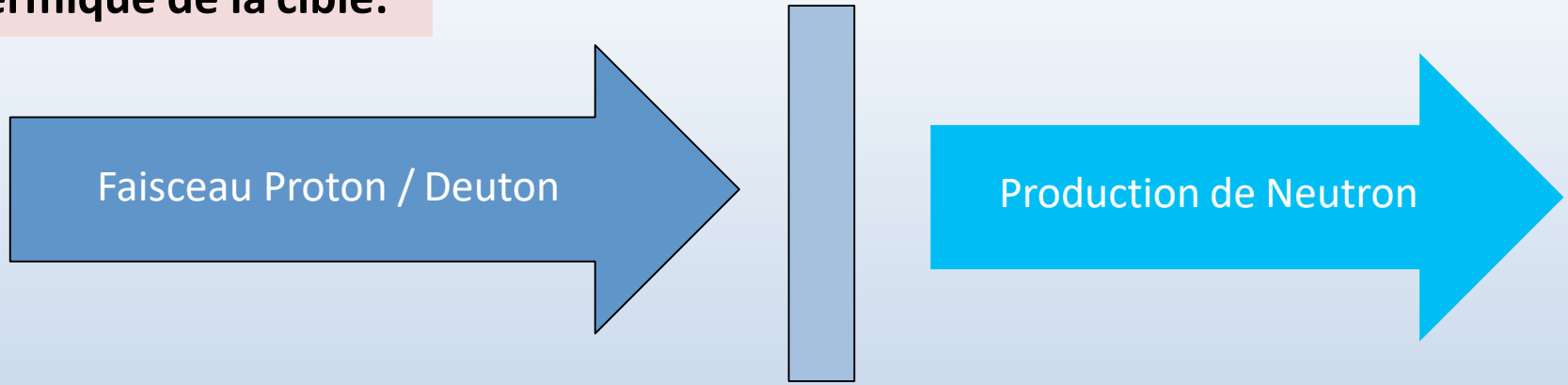
Production de faisceau neutron au flux nécessaire est problématique :

L'outil « dédié » …



$> 10^9$ n/cm²/s
$E_n < 10$ keV

Thermique de la cible:

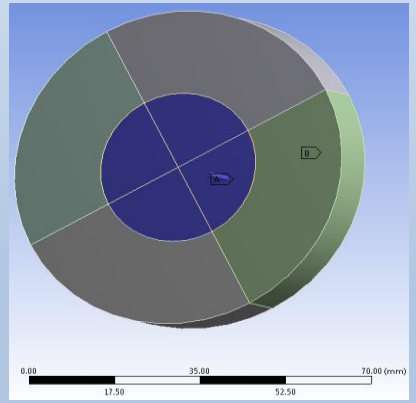


Cible (8 micron de Béryllium) et son support (disque graphite)

La difficulté réside dans les ordres de grandeurs nécessaires pour la NCT :

Puissance de 30 kW /Diamètre du faisceau : 35 mm (3KW/cm^2

Exemple : Échauffement d'un disque de cuivre fixe de 10 mm d'épaisseur refroidi avec de l'eau auquel on impose une puissance de 50 kW sur un diamètre de 35 mm. ***La cible est fondue en 5 seconde environ.***



→ **Nécessité de trouver des solutions thermiques**

Cible diamètre 1000 mm:

Matériau de Cible : film béryllium (Tf : 1287°C)

Température maximale film Be inférieure à 850°c (sinon formation de Be 2C)

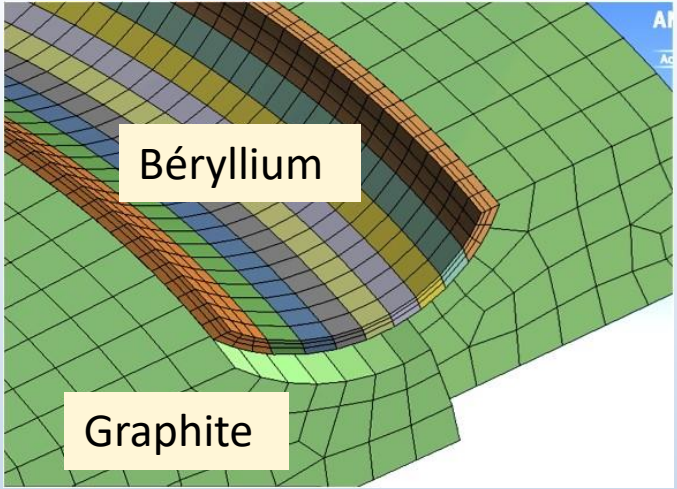
Support de cible : graphite Grafstar XTJ10 (conduction 100 W/m.K)

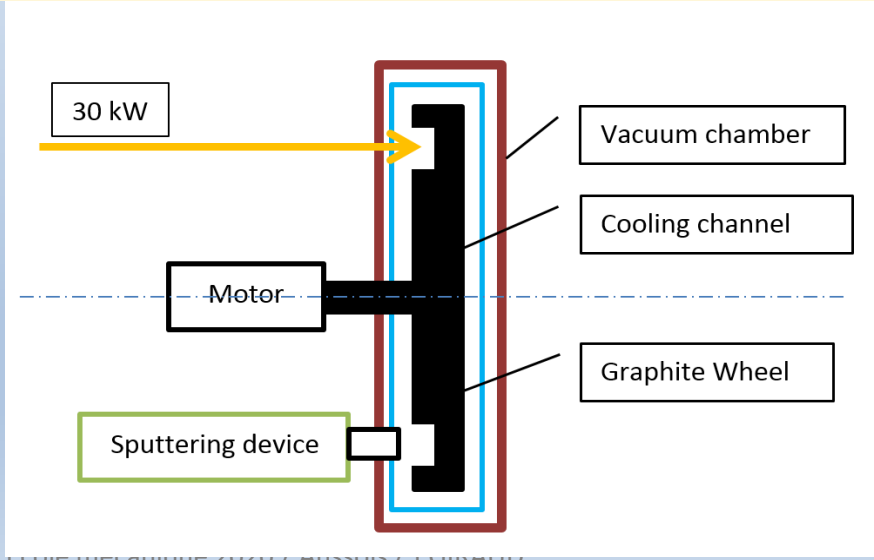
Diamètre du support : 1000 mm / vitesse rotation : 1 tr/s

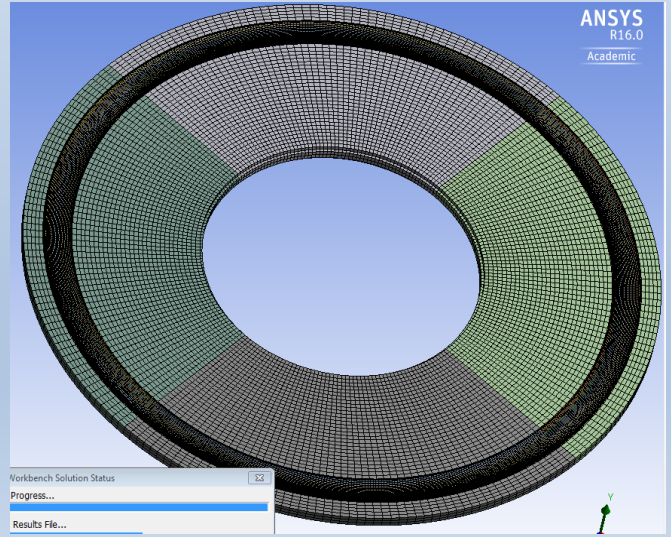
Gamme de puissance thermique : 30 kW Refroidissement par radiation.

Dépôt de puissance sur diamètre 30 mm.

régénération du film de béryllium.







Prototype cible diamètre 350 mm pour tests thermiques :

Données de conception:

- Température maximale 850°c.
- Disque graphite (couche de Be négligée dans les simulations).
- Puissance 3 kW.
- Diamètre faisceau : 11 mm.
- Diamètre impact faisceau : 300 mm

Type de calculs :

Thermique : conduction / rayonnement surface à surface.

1 : Modèle axisymétrique 2D:

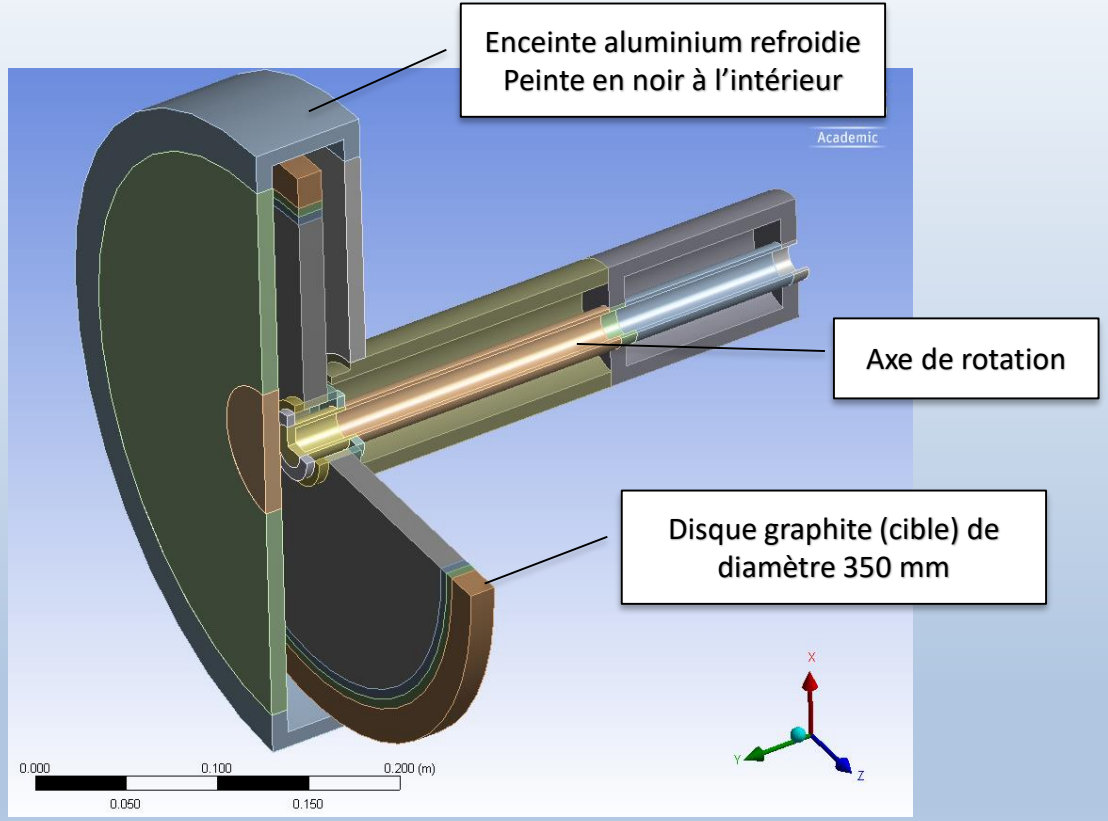
- Hypothèse de vitesse rotation infinie.
- Petits modèles pour itérations multiples sur la géométrie.
- Calcul stationnaires
- Calculs rapides : 15 minutes

2 : Modèle 3D:

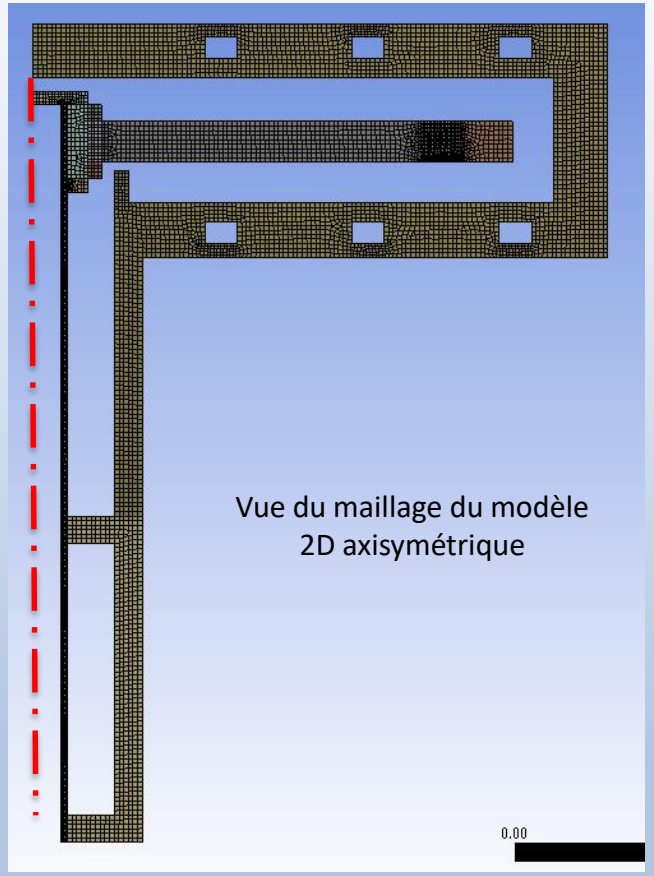
- Vitesse de rotation réaliste.
- Disque graphite en 3D.
- Calcul transitoire pour avoir le pic de température lors du passage du faisceau.
- Calculs longs : 24 heures

Application de la méthode du groupe de travail (GANIL / IPNO / CENBG).

Modèle 2D axisymétrique :



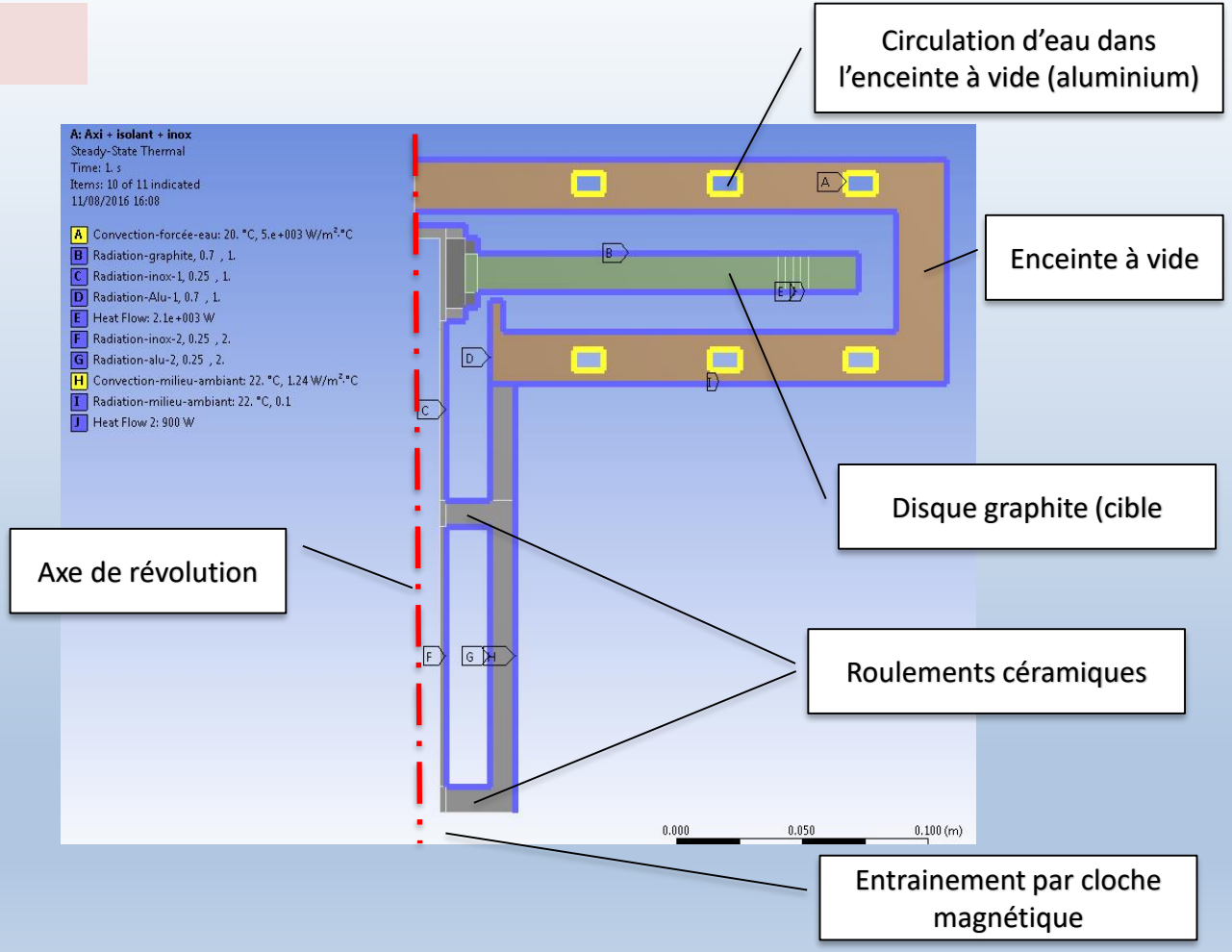
Modèle de cible pour test thermique



Modèle 2D axisymétrique :

Résumé du modèle :

- Enceinte aluminium refroidie dans la masse par circulation d'eau (h = 500 W/m².K).
- Disque graphite (diamètre 300 mm / épaisseur 15 mm).
- Puissance du faisceau appliqué sur la surface du graphite.
- Radiation mutuelle entre le disque graphite (0.7) et l'enceinte peinte en noir (0.5).
- Convection naturelle (1.2 w/m²K) et radiation ambiante (0.1).



Modèle 2D axisymétrique stationnaire :

Paramètres pour pb de radiations mutuelle axisymétrique:

1°) Augementer le nombre de division Axisymétrique afin d'améliorer le bilan thermique

- Steady-State Thermal (A5)
  - Initial Temperature
  - Analysis Settings
  - Heat Flow

Details of "Analysis Settings"

Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Radiosity Controls	
Radiosity Solver	Program Controlled
Flux Convergence	1.e-004
Maximum Iteration	1000.
Solver Tolerance	1.e-007 W/mm²
Over Relaxation	0.1
View Factor Method	Hidden
Number of Zones	200.
Axisymmetry Divisions	180.

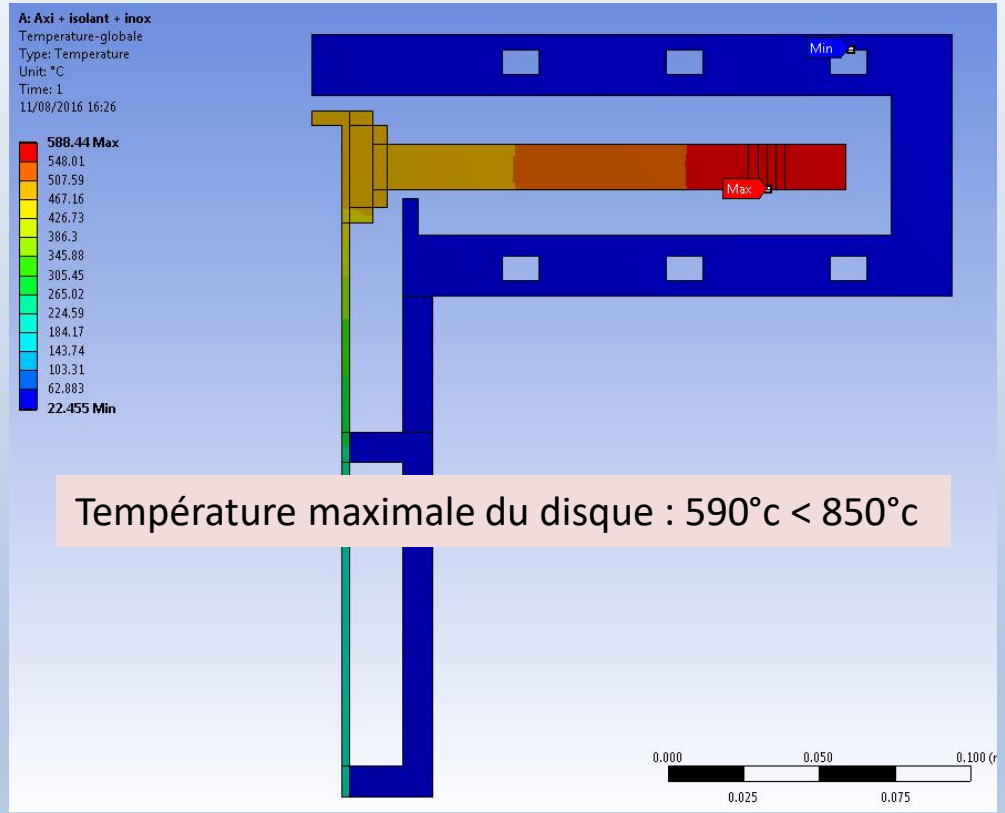
90 est le maximum.

2°) Faire un calcul incrémental pour améliorer les résultats quand on choisi l'option "enclose perfect"

Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	On
Define By	Substeps
Initial Substeps	10.
Minimum Substeps	10.
Maximum Substeps	20.

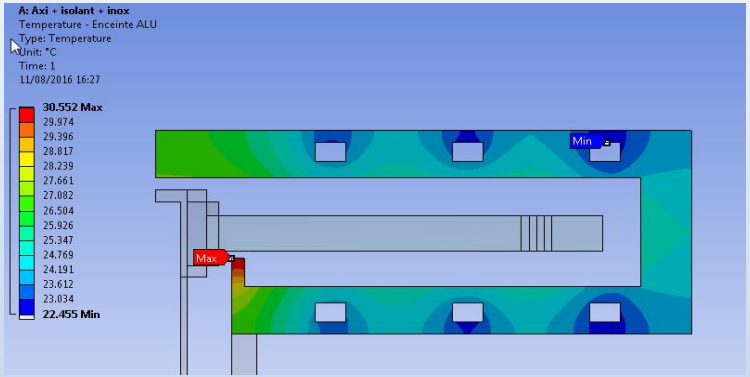
Script :

```
autots,on                          ! User turned on automatic time stepping
nsub,100,200,100,OFF               ! NSUBST, NSBSTP, NSBMX, NSBMN, Carry
RADOPT,,0.0001,0,1000,0.0001,0.1
V2DOPT,1,90,0,200                  ! V2DOPT, GEOM, NDIV (max 90), HIDOPT, NZONE 200 à 1000 maxi
```



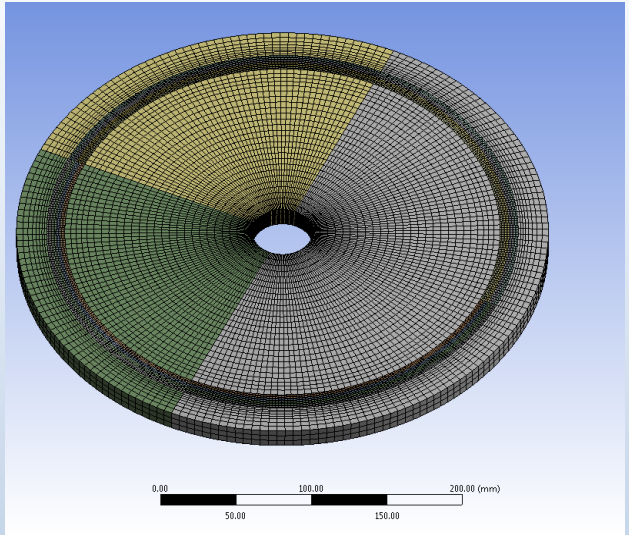
Température maximale du disque : 590°c < 850°c

Modèle 3D transitoire :



2D : Température de l'enceinte 30°c environ

Modèle 3D disque graphite uniquement rayonnement vers température fixe (200°c)



Ceci résulte dans tous les cas d'une discrétisation spatiale inappropriée au voisinage de la frontière attaquée. Des considérations physiques simples montrent que la profondeur de pénétration δ (couche limite thermique de conduction) normale à une paroi attaquée s'écrit :

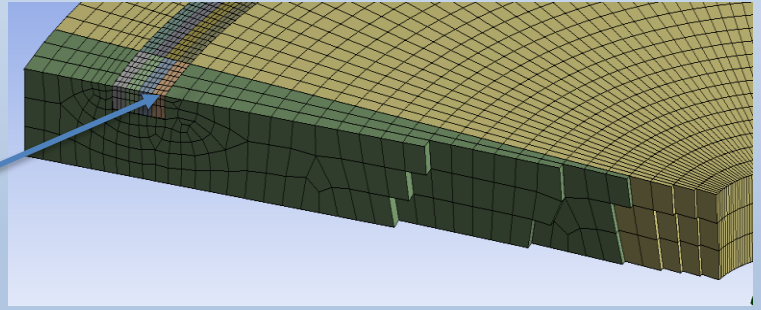
$$\delta = K\sqrt{\beta t}$$

⇒ Entre des températures calculées inférieures aux températures initiales, au début du calcul.

où K désigne un facteur numérique compris entre 2 et 4, tenant compte du type de condition limite (température ou flux) et de la forme de la sollicitation (rampe, échelon,...) ;

β est la diffusivité thermique ($\lambda/\rho c$) à la paroi ;

t le temps écoulé depuis l'apparition de la sollicitation.



Statistics	
Nodes	66544
Elements	49792
Mesh Metric	None

Calcul de la taille de la première maille sous le chargement en puissance

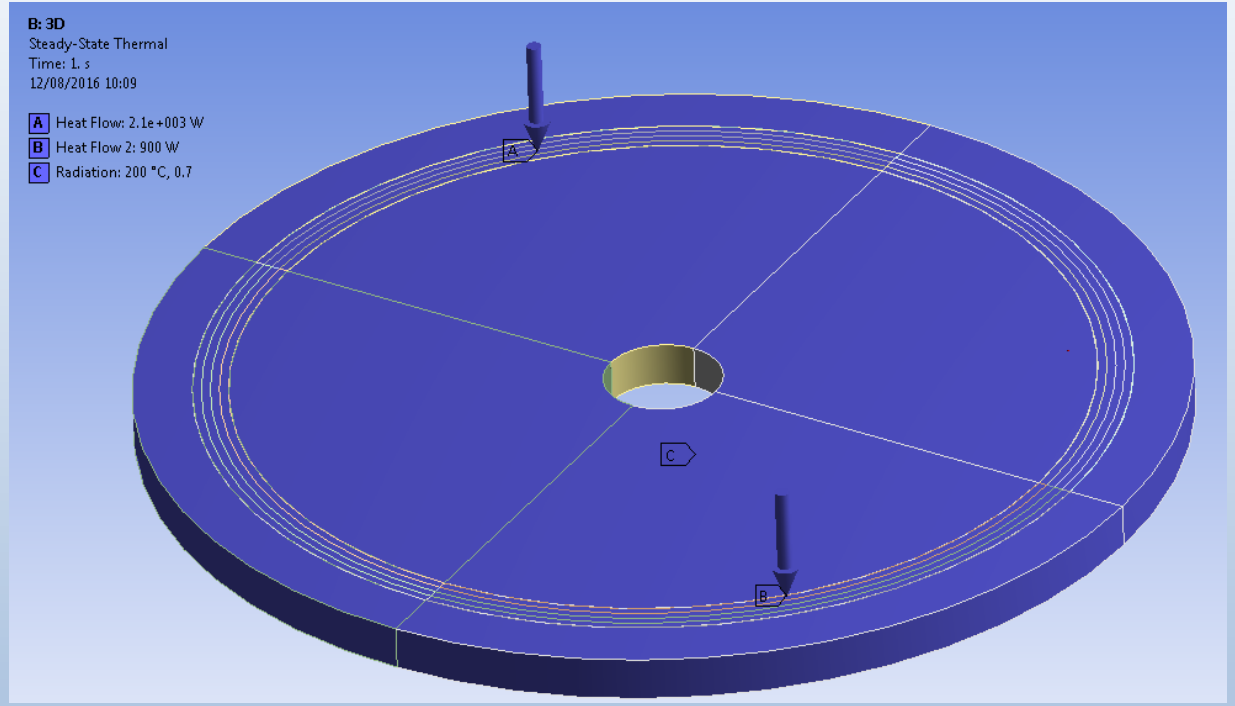
Modèle 3D transitoire :

Vitesse de rotation 200 RPM

Méthode de calcul :

Le chargement en puissance est déplacé toute les 0.00382 s (premier step stationnaire avec chargement distribué)

First element size determination	
Conduction (w/m.k)	100
Density (Kg/m3)	1750
Specific heat (J/(Kg.°c)	1172
Diffusivité (m²/s)	4.88E-05
Diamètre impact (mm)	300
Vitesse de rotation (tr/min)	200
Prérimètre (mm)	942.5
Largeur du faisceau dans la simulation (mm)	12.0
Nombre de secteurs	78.5
Vitesse rotation (tr/s)	3.33333
Temps pour faire un tour (s)	0.30
Temps pour parcourir le diamètre du fasceau (mm)	0.00382
Pas de temps (s)	0.00382
Facteur numérique	2
Taille première maille (mm)	0.86



Modèle et conditions aux limites

Modèle 3D transitoire :

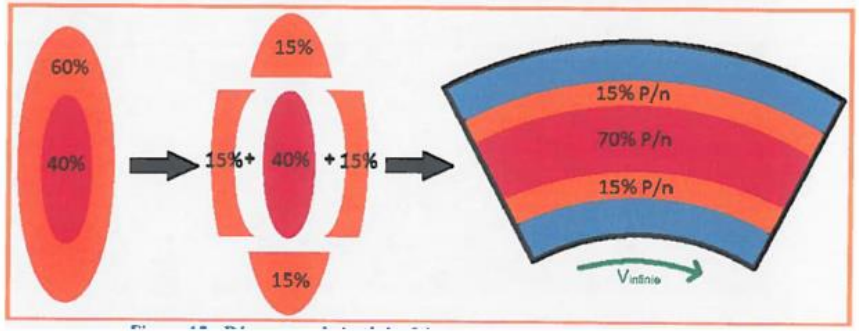
Méthode de calcul :

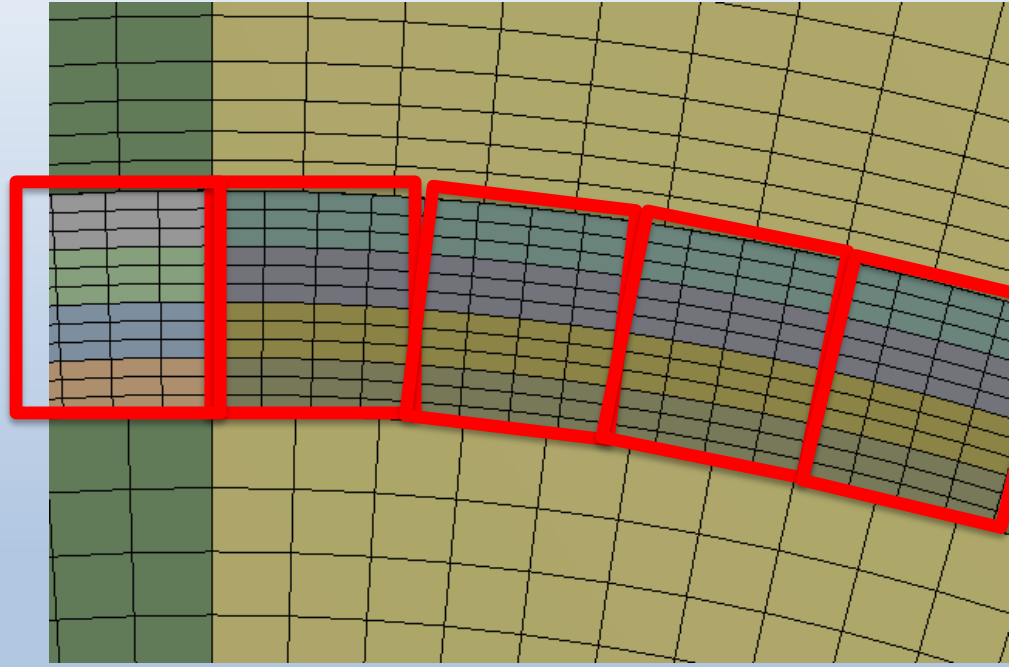
- Maillage fixe.
- Chargement successif des éléments par sélection

3.1 Hypothèses :

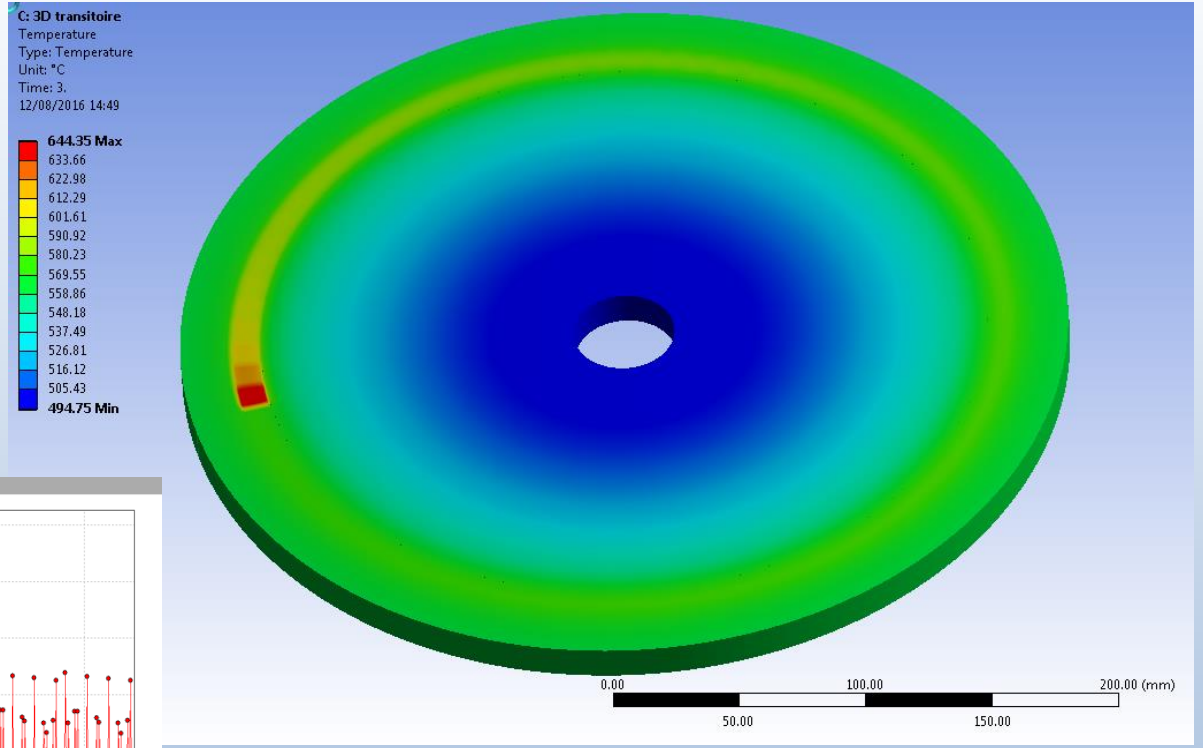
- Dépôt de puissance surfacique.
- Profil du faisceau : Gaussienne avec largeur à mi-hauteur 2 sigma => simplification =>

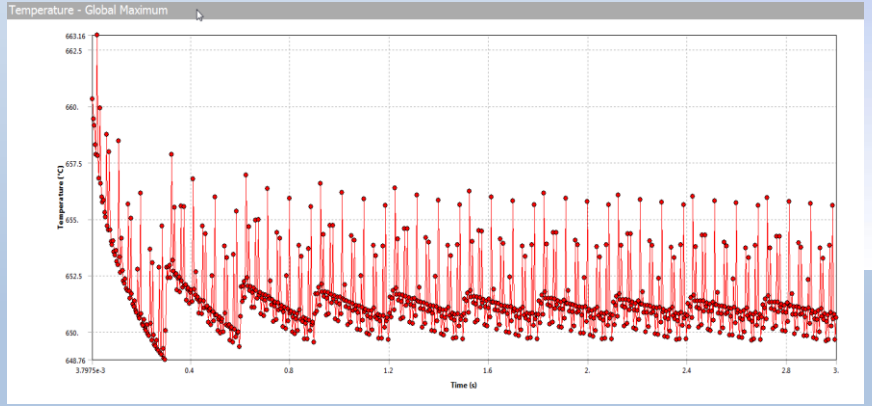
Zone : 0 – 3 mm => 70 % de la puissance.
Zone : 3 – 6 mm => 30 % de la puissance.





Modèle 3D transitoire :

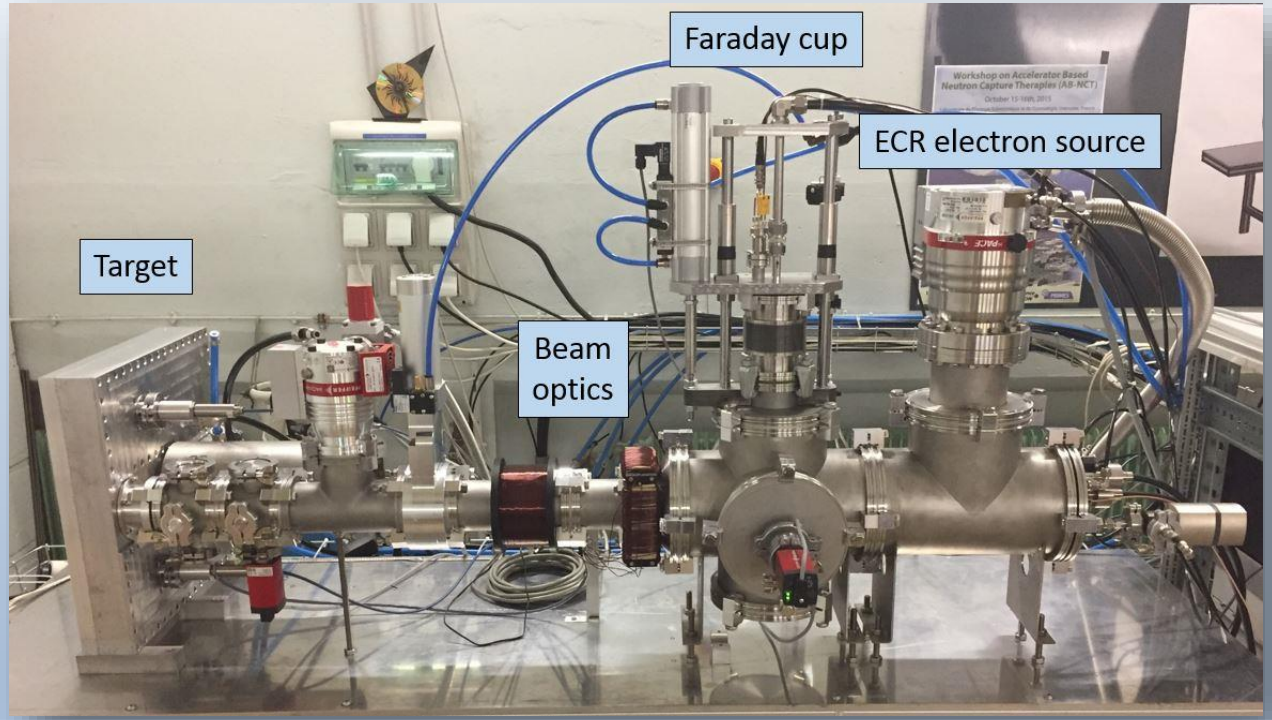




Température maximale du disque : 645°c (590°c 2D Axi) < 850°c

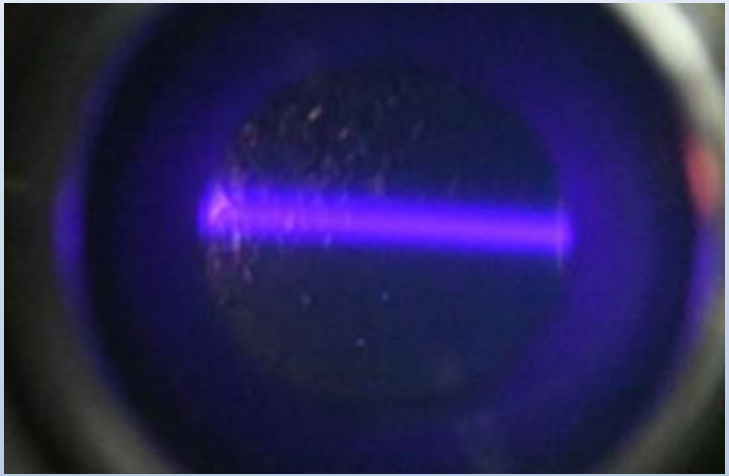
Température la plus haute dans le modèle pour un calcul sur 10 tours

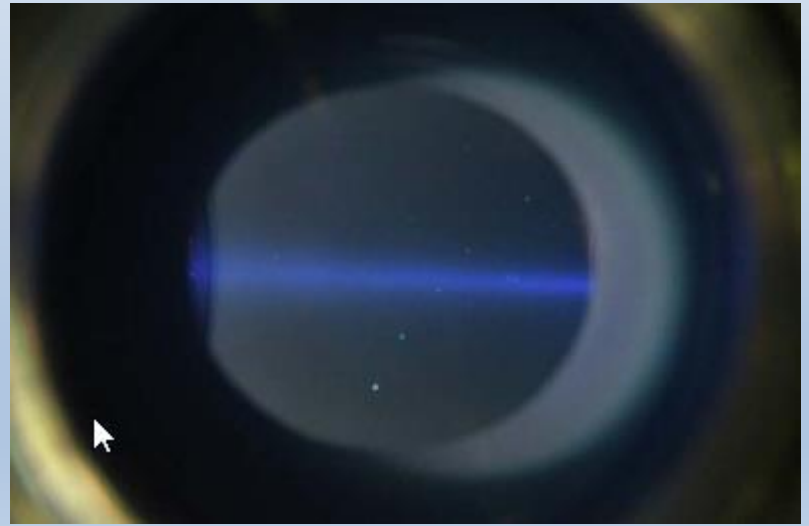
Ligne de test thermique: vue globale



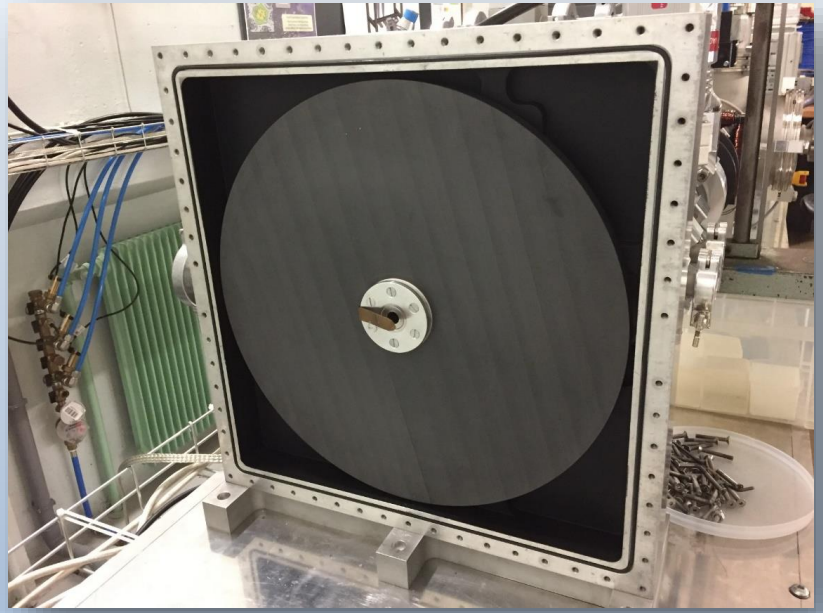
Vue de la ligne de test thermique : Faisceau électron : 3kW sur une surface de 1 cm²

Image du faisceau d'électron => mesure de la forme du faisceau par caméra + traitement d'image.

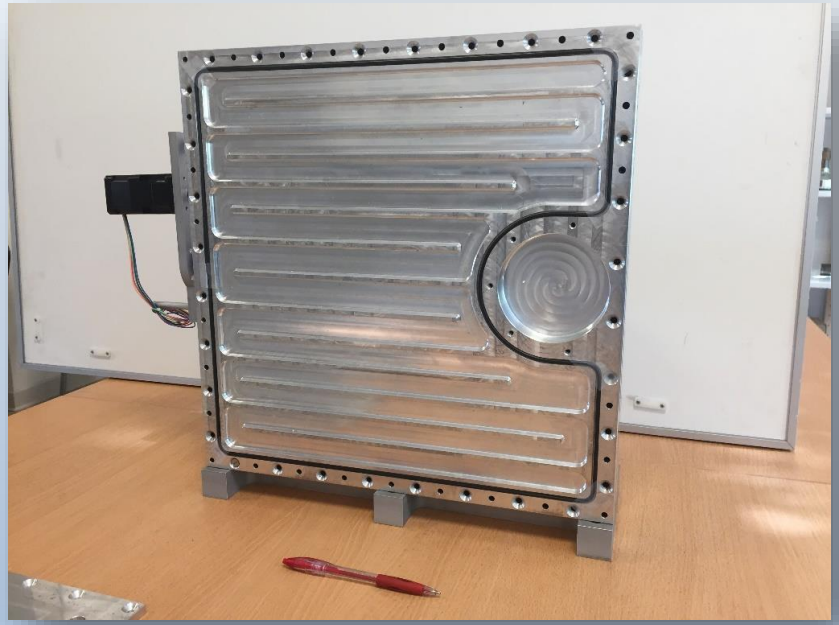




Ligne de test thermique: détail de la cible

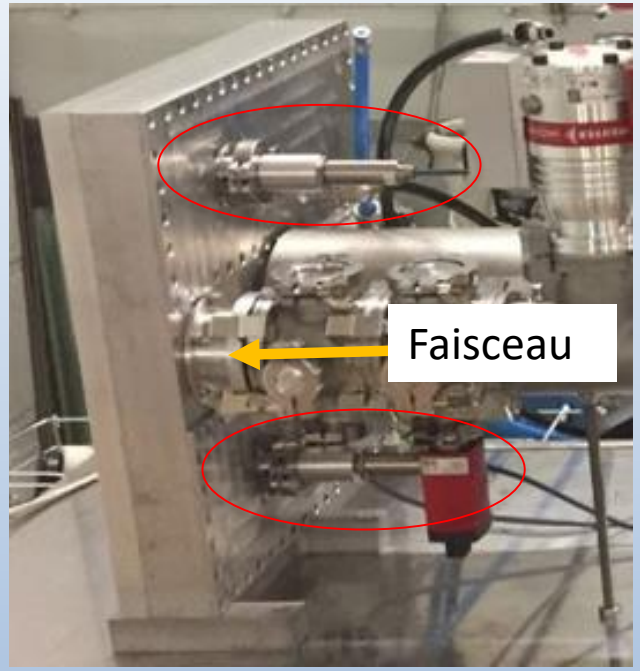


Vue de la roue en graphite



Vue de la circulation d'eau

Ligne de test thermique: vue et caractéristiques des pyromètres

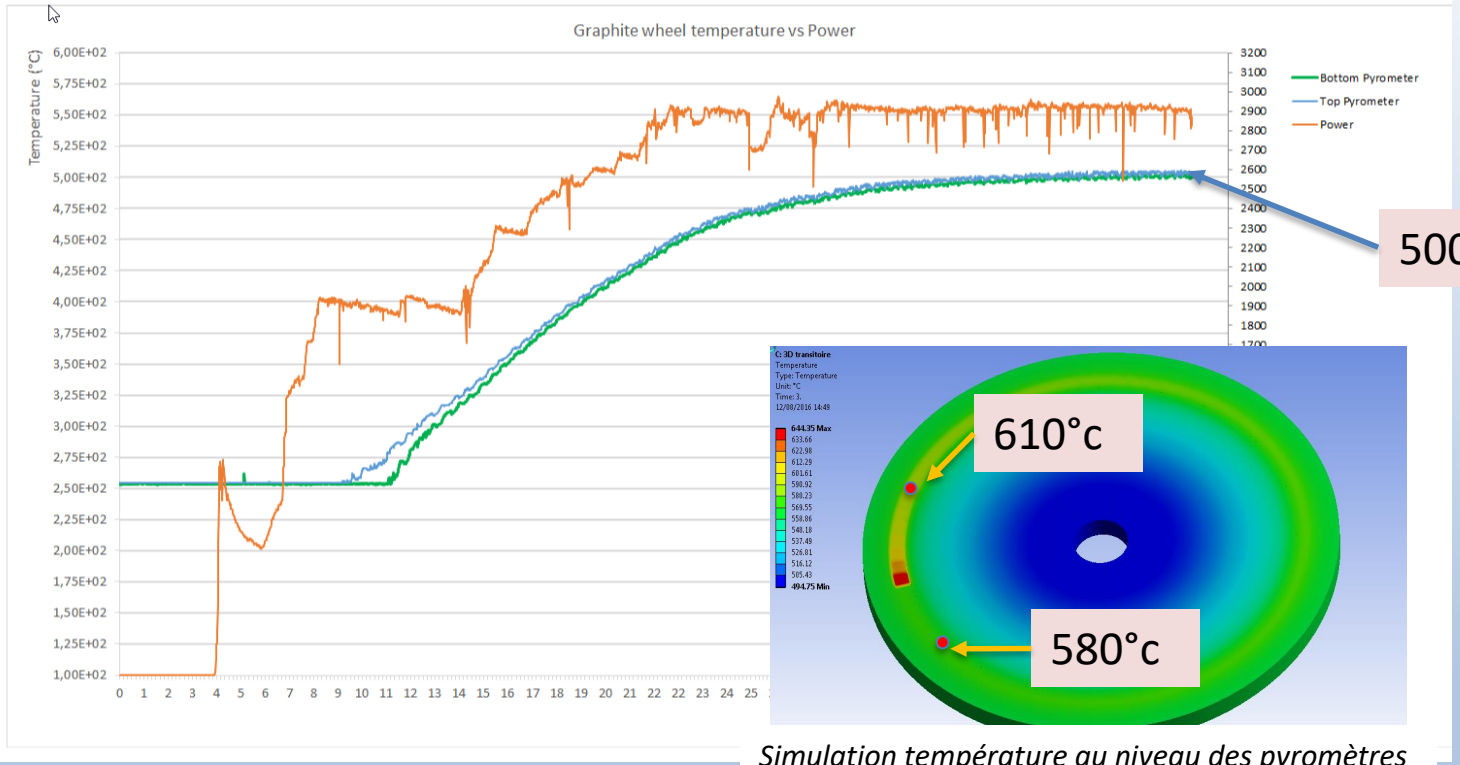


Vue des pyromètre montés sur la cible.
Emissivité programmée : 0.9

Raytec RAYMI3100 2MSF1 CB3
Plage de température : 250°c => 1400°c

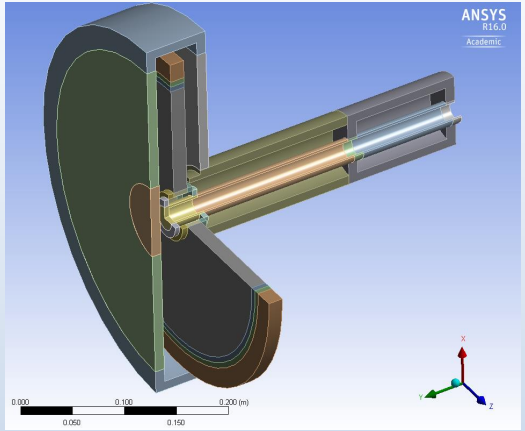
Ligne de test thermique:

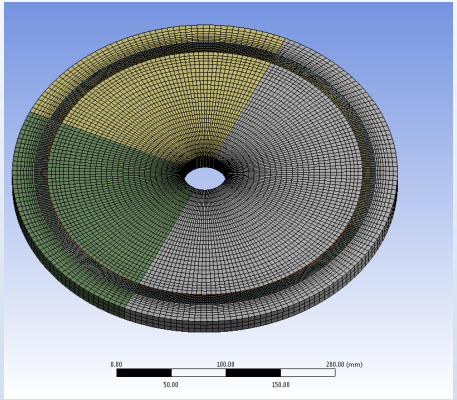
Puissance 2.9 kW

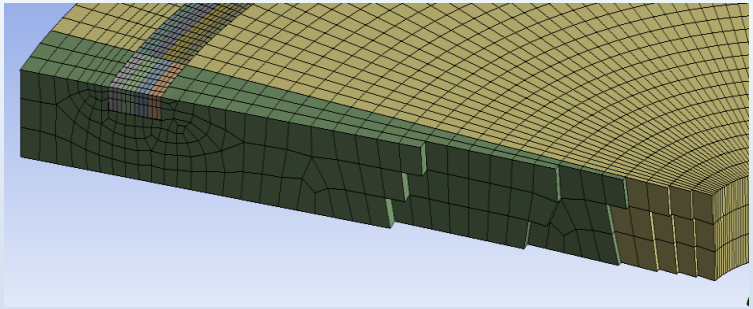


Simulation température au niveau des pyromètres

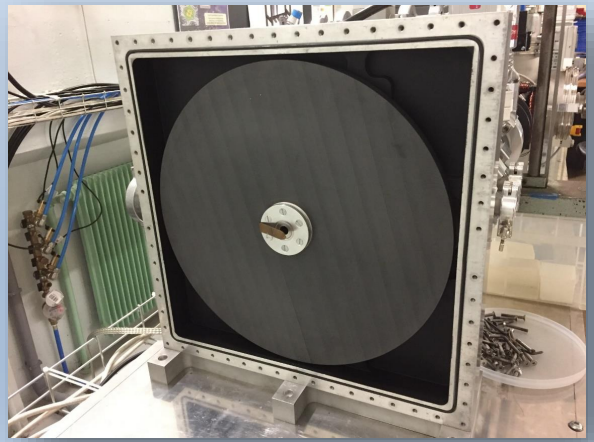
Mesure de la température °c (gauche) / puissance W (droite)

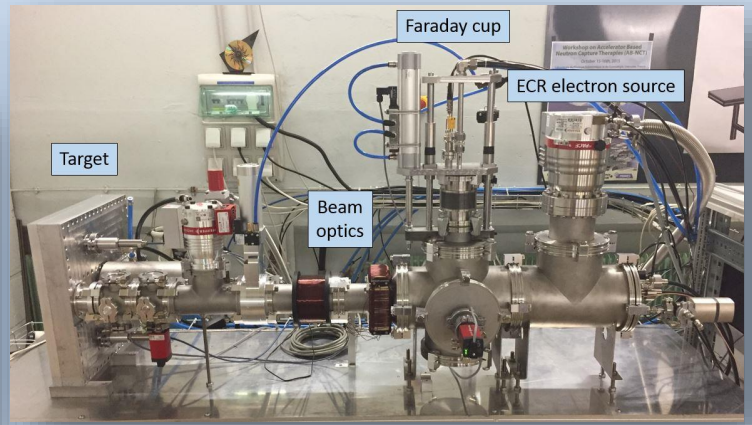

ANSYS
R16.0
Academic
0.000
0.100
0.200 (m)
0.050
0.150


0.00
100.00
200.00 (mm)
50.00
150.00



Merci




Faraday cup
ECR electron source
Target
Beam
optics