

Présentation des ateliers

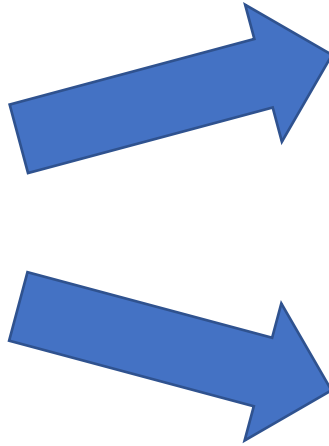
Et si c'était vous ?

Réflexions en groupes, regards critiques et optimisations d'un montage sous vide

Pascal Morfin

Déroulement des ateliers

On n'a pas souvent l'occasion de se rencontrer

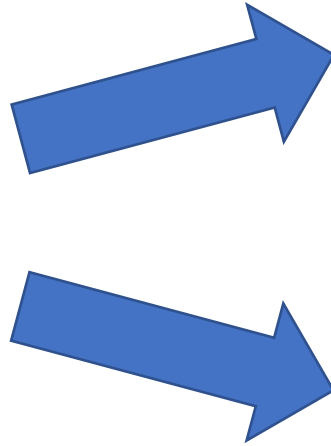


Découvrir d'autres membres du RTVide

Echanger avec des personnes que l'on ne connaît pas

Déroulement des ateliers

On n'a pas souvent l'occasion de se rencontrer



Découvrir d'autres membres du RTVide

Echanger avec des personnes que l'on ne connaît pas

Réfléchir, ensemble, autour d'un montage sous vide

Divisés en groupes de 15 personnes dont 2 animateurs

Pour que ça marche, tout le monde doit participer et interagir

Le challenge

Inventer un système

- Fonctionnant sous vide
- On chauffe
- On refroidit
- *Et pourquoi pas d'autres choses ?*

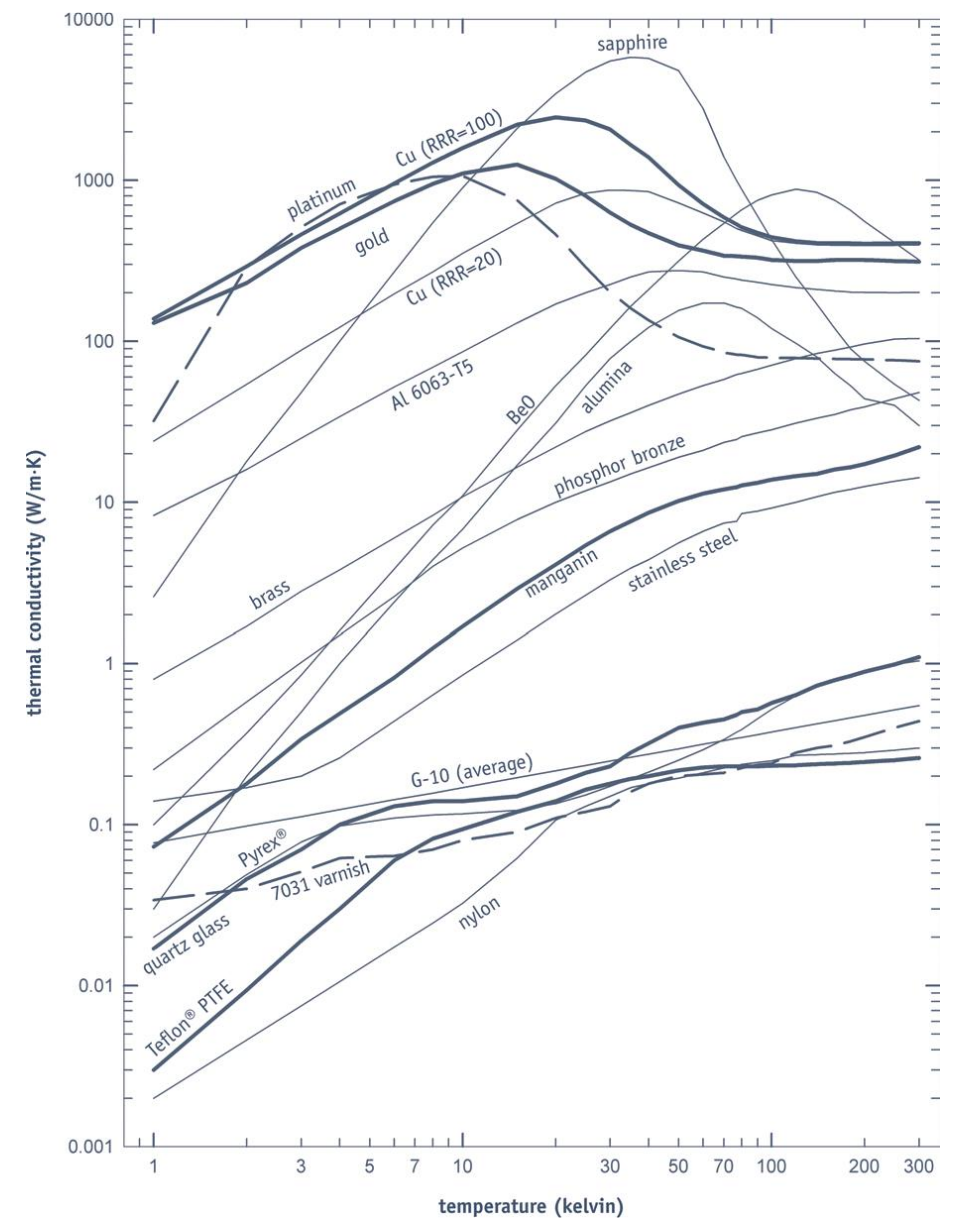
Le challenge

Inventer un système

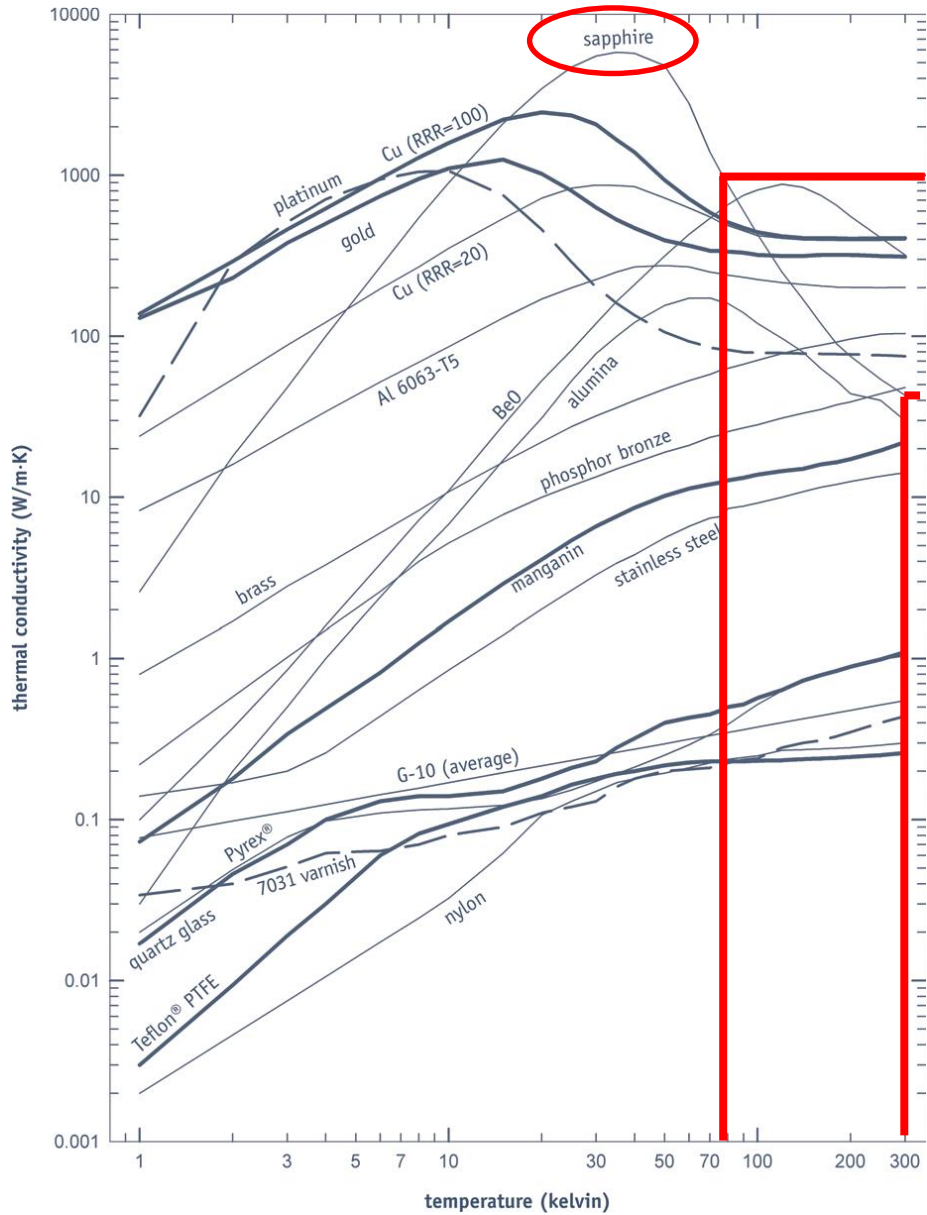
- Fonctionnant sous vide
- On chauffe
- On refroidit
- *Et pourquoi pas d'autres choses ?*



Mettre en avant une propriété thermique d'un matériau



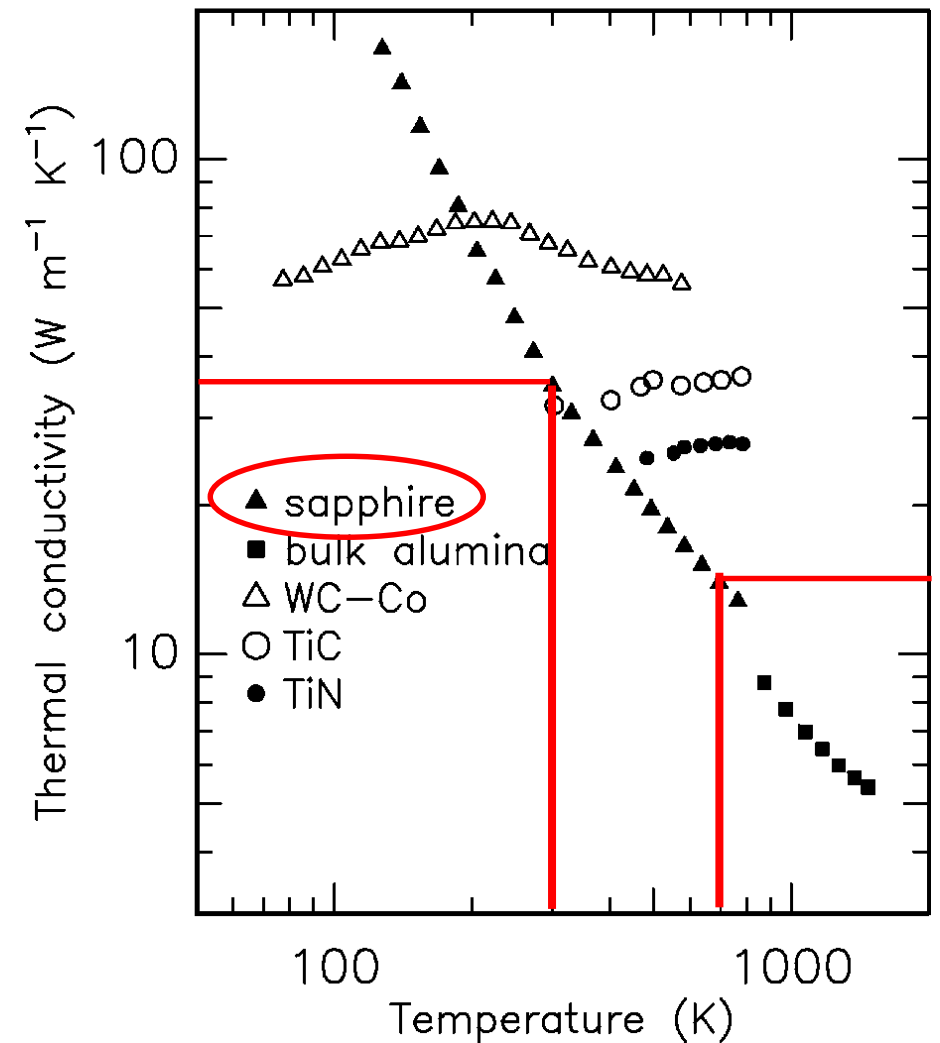
Conductivité thermique



Conductivité thermique

Figure récupérée sur le site de Lake Shore

https://www.lakeshore.com/docs/default-source/product-downloads/literature/lstc_appendixi_l.pdf



Cahill et Al. (*Journal of Applied Physics* 83, 5783 (1998))

Conductivité thermique du saphir

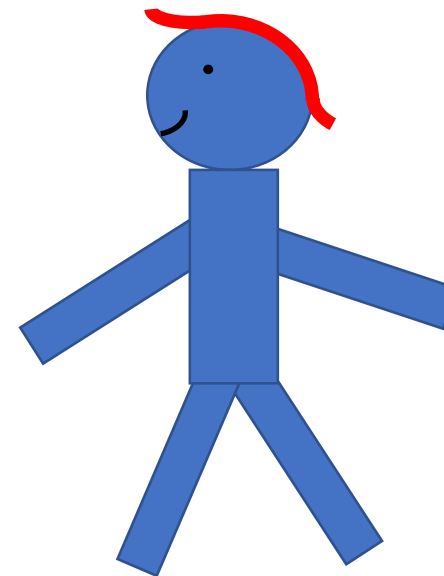
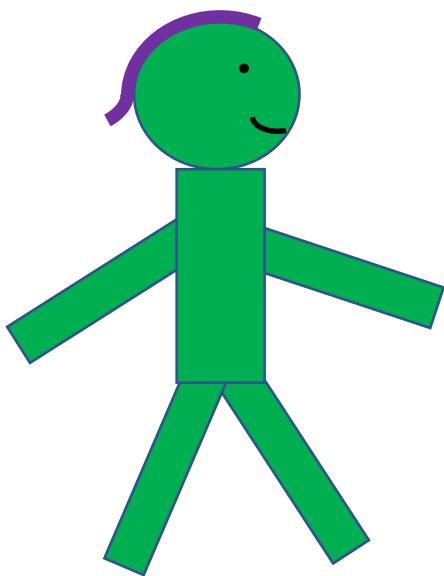
@77K : $1000 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

@300K : $42 \dots \text{ou } 35 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ disons $40 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

@700K : $12 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Il était une fois...

Au début du XXI^{ème} siècle, au LIRTV (Laboratoire Imaginaire du RTVide)...



Au début du XXI^{ème} siècle, au LIRTV (Laboratoire Imaginaire du RTVide)...

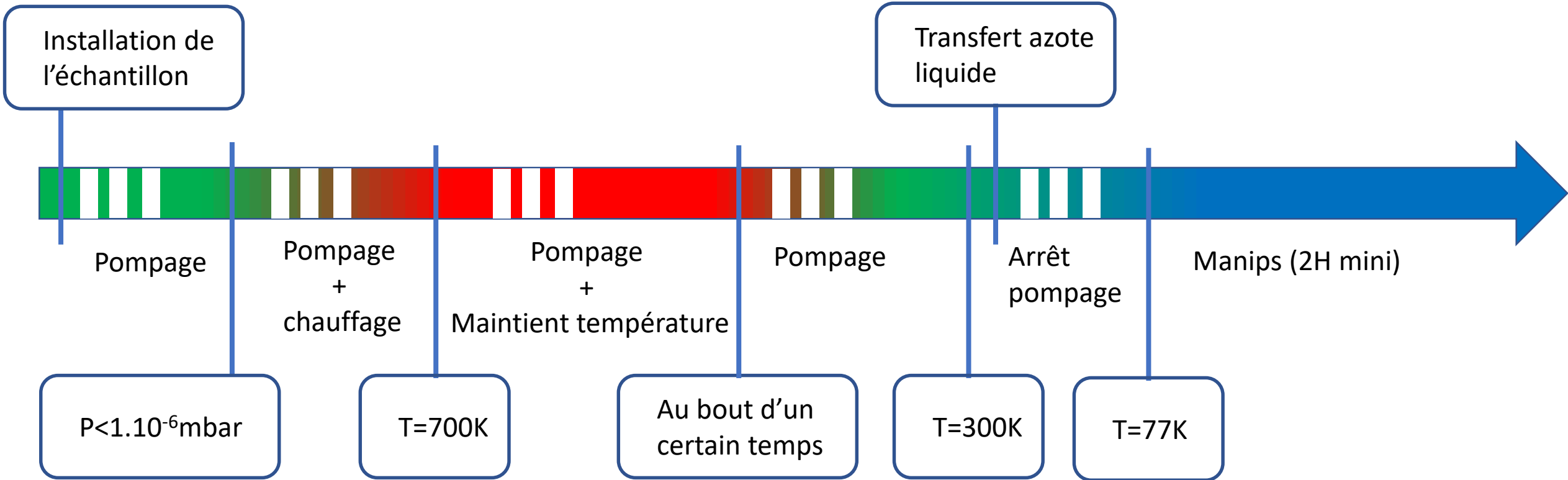


Le cahier des charges succinct

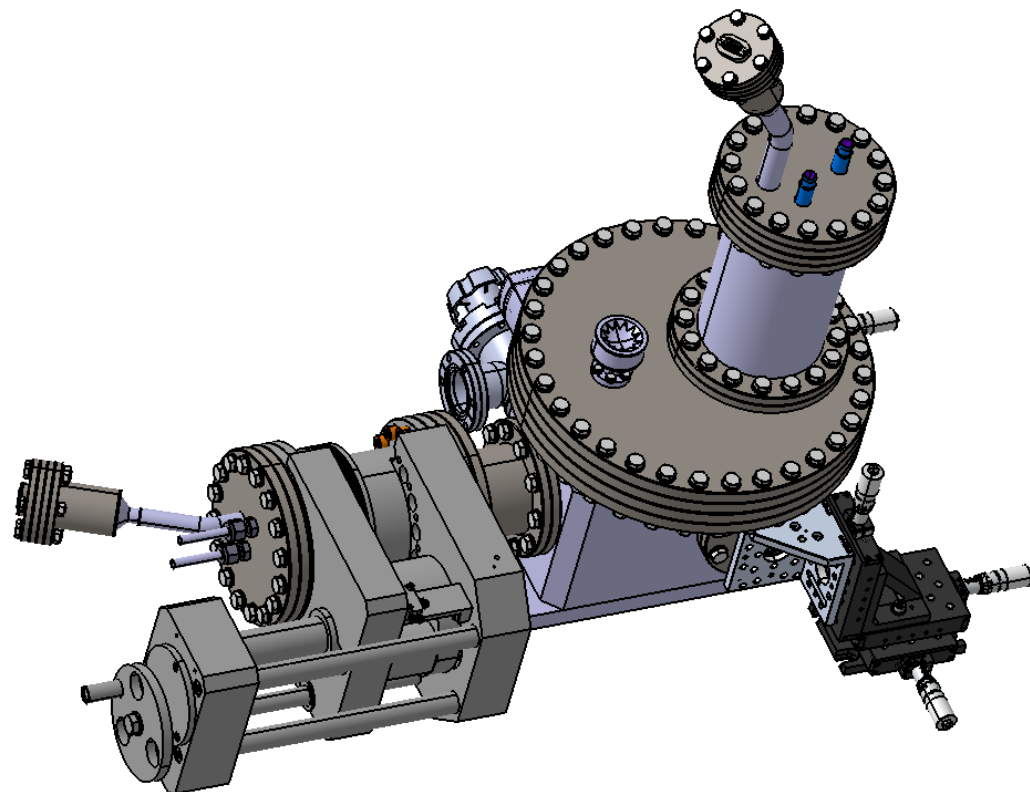
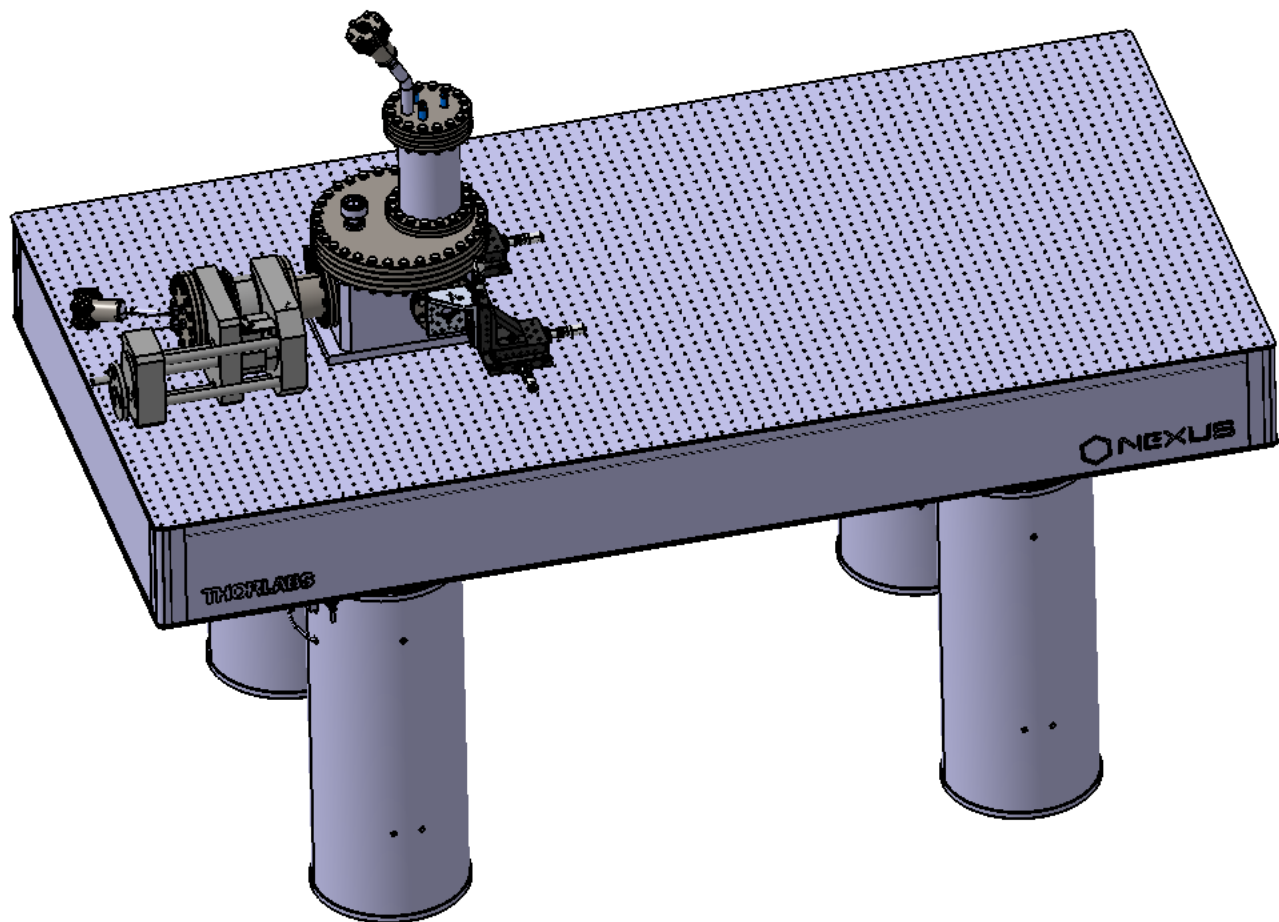
- Mesures optiques en transmission
- Longueur d'onde : on veut regarder jusqu'à 2 μm
- Échantillon déposé sur un substrat de saphir (15mm x 15mm)
- Échantillon qui se contamine si exposé à l'air

- Pression de fonctionnement : $< 1.10^{-6}\text{mbar}$
- Température de chauffage : 700K
- Température de mesure : 80K
- Durée des mesures : 2H minimum

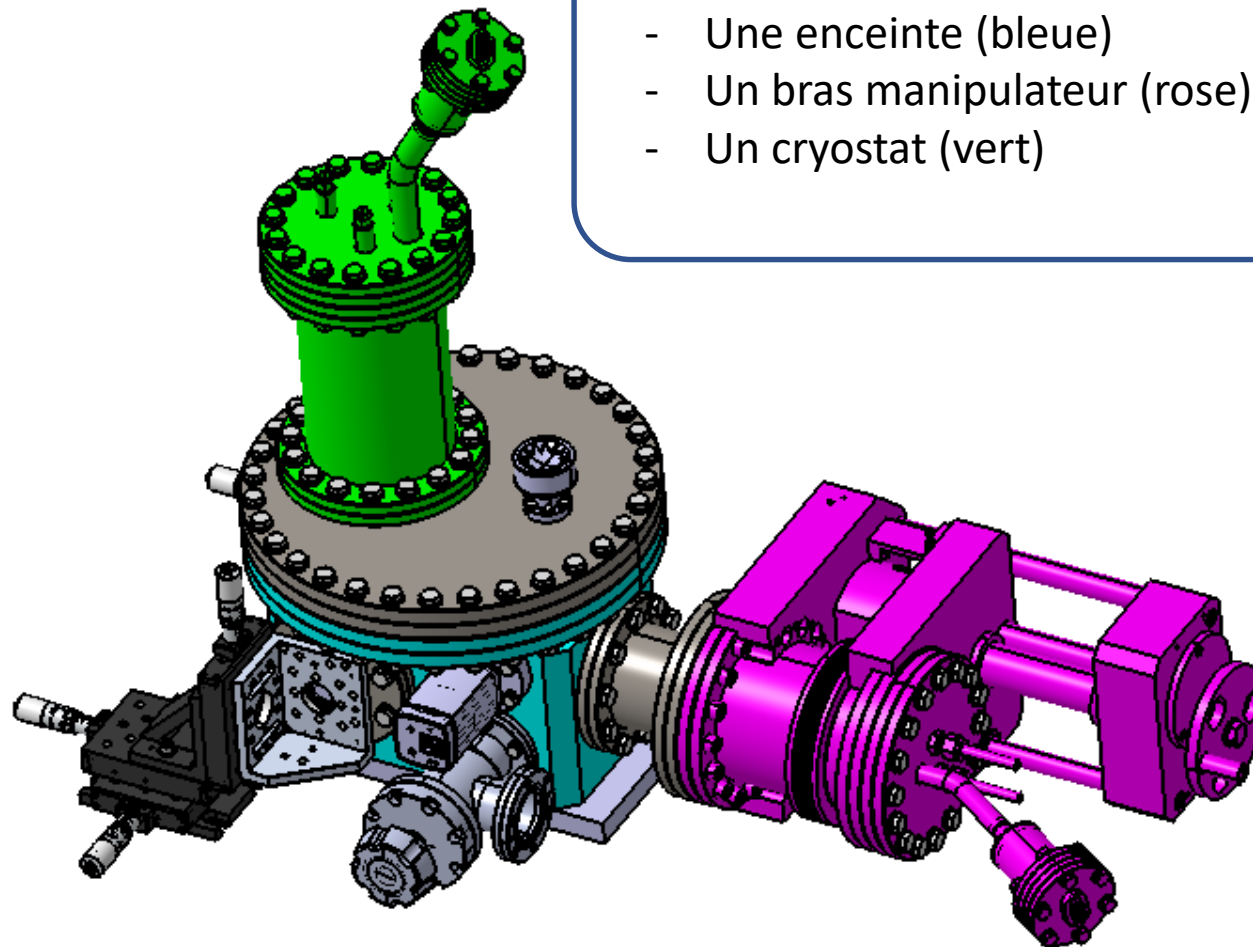
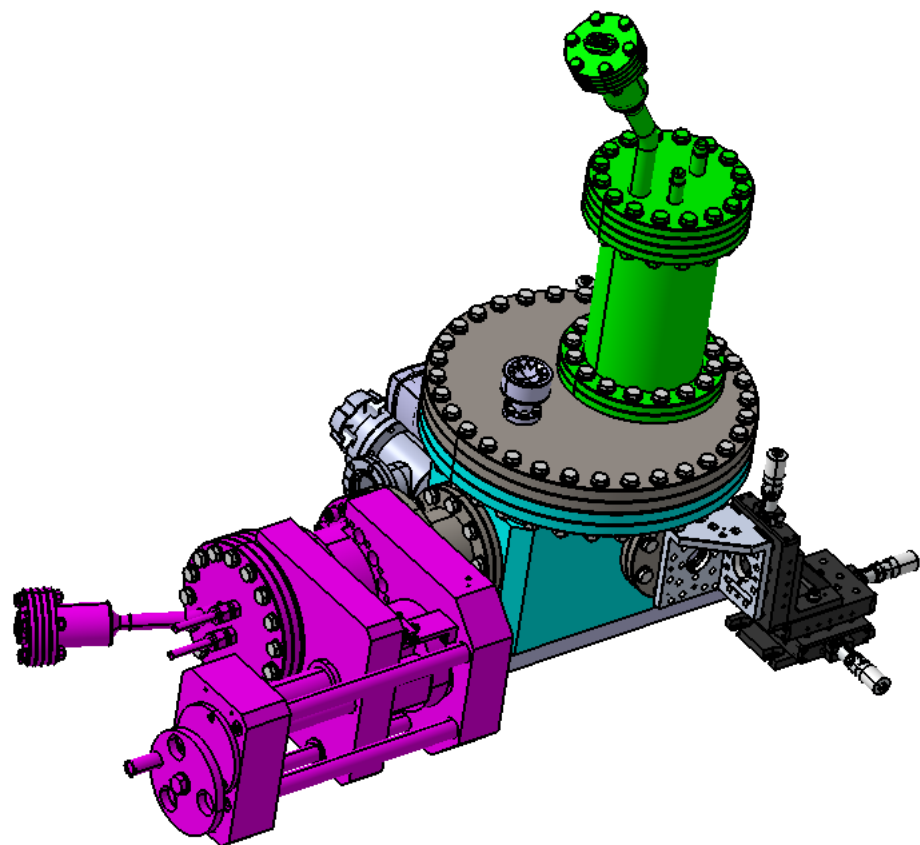
Le déroulement de la manip



Le système imaginé



Le système imaginé : 3 parties

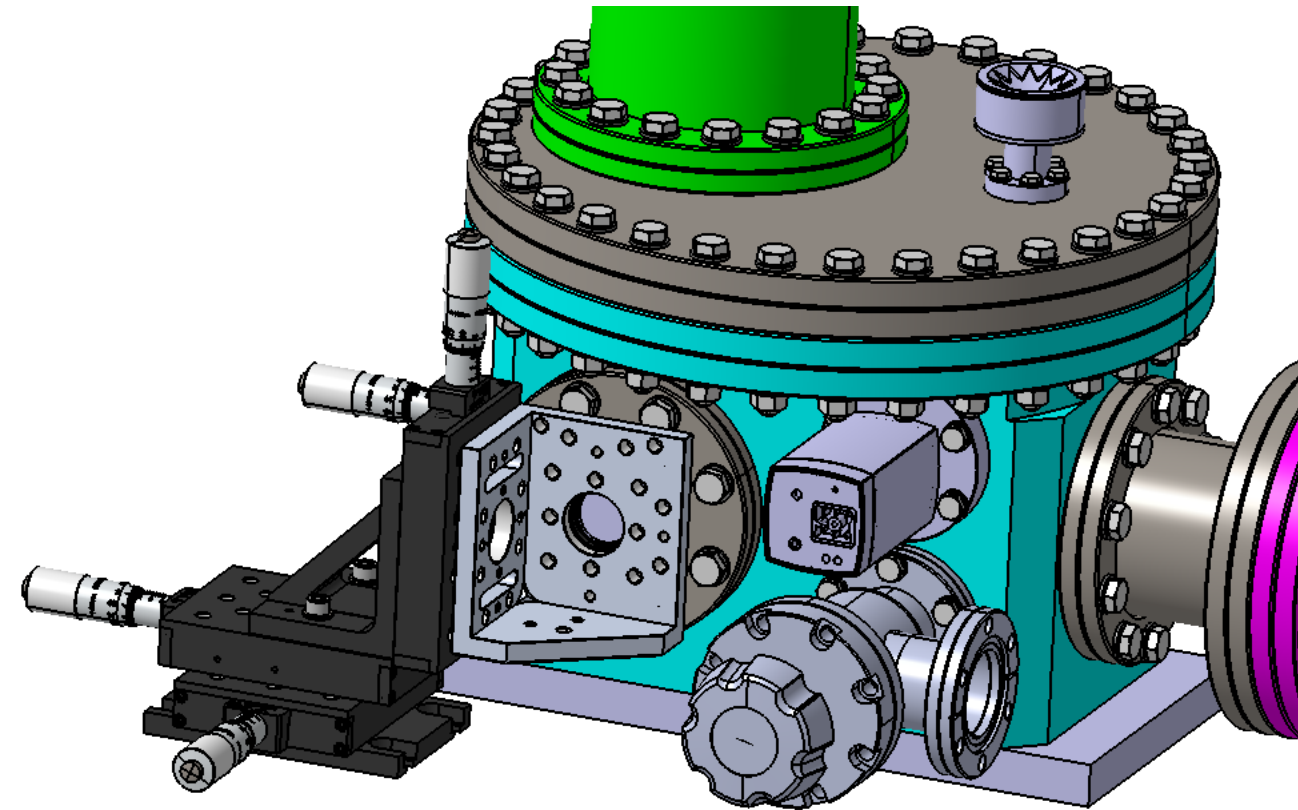


- Une enceinte (bleue)
- Un bras manipulateur (rose)
- Un cryostat (vert)



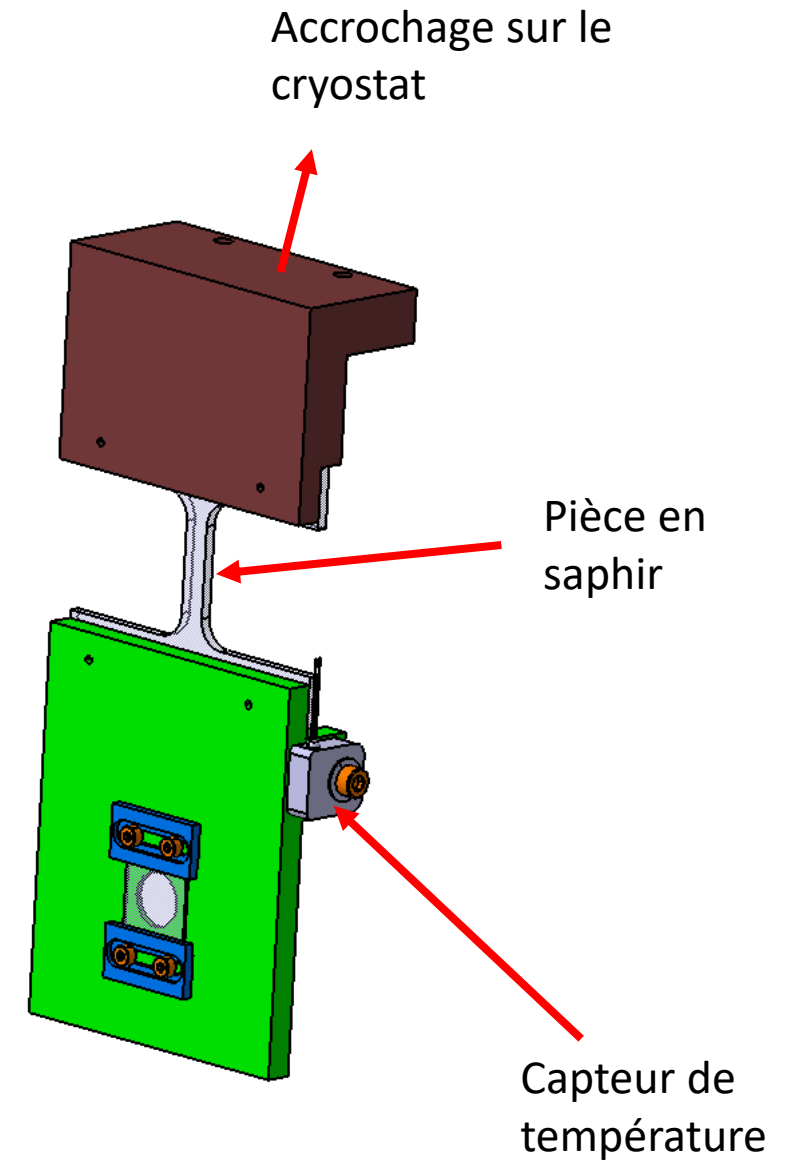
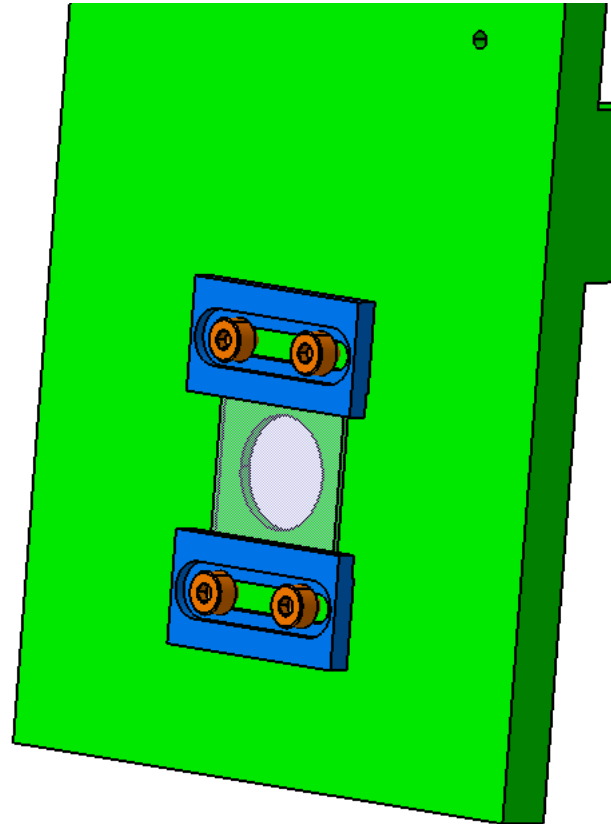
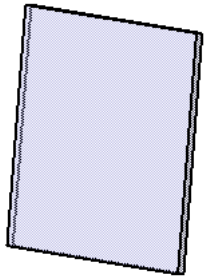
Le système imaginé : les accessoires

- Jauge à vide
- Vanne pour pompage
- Disque de rupture
- 2 Déplacements XYZ pour objectifs de microscope

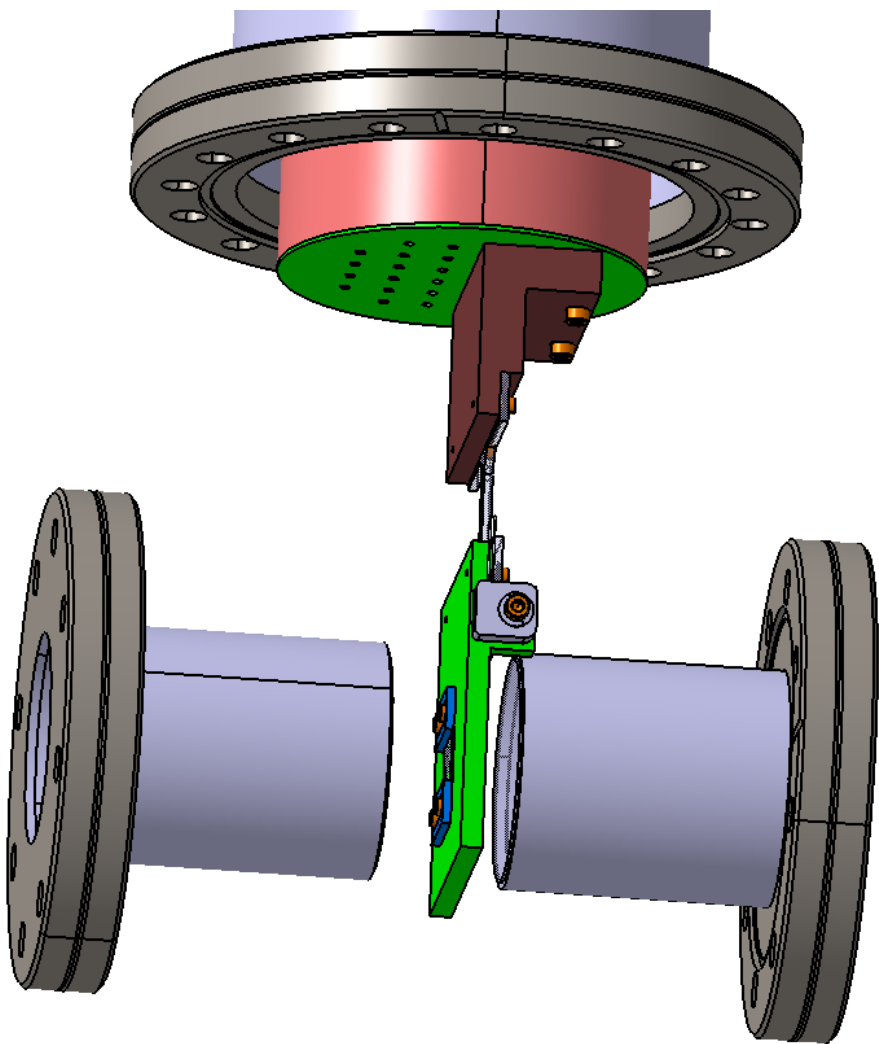


Au cœur de l'enceinte

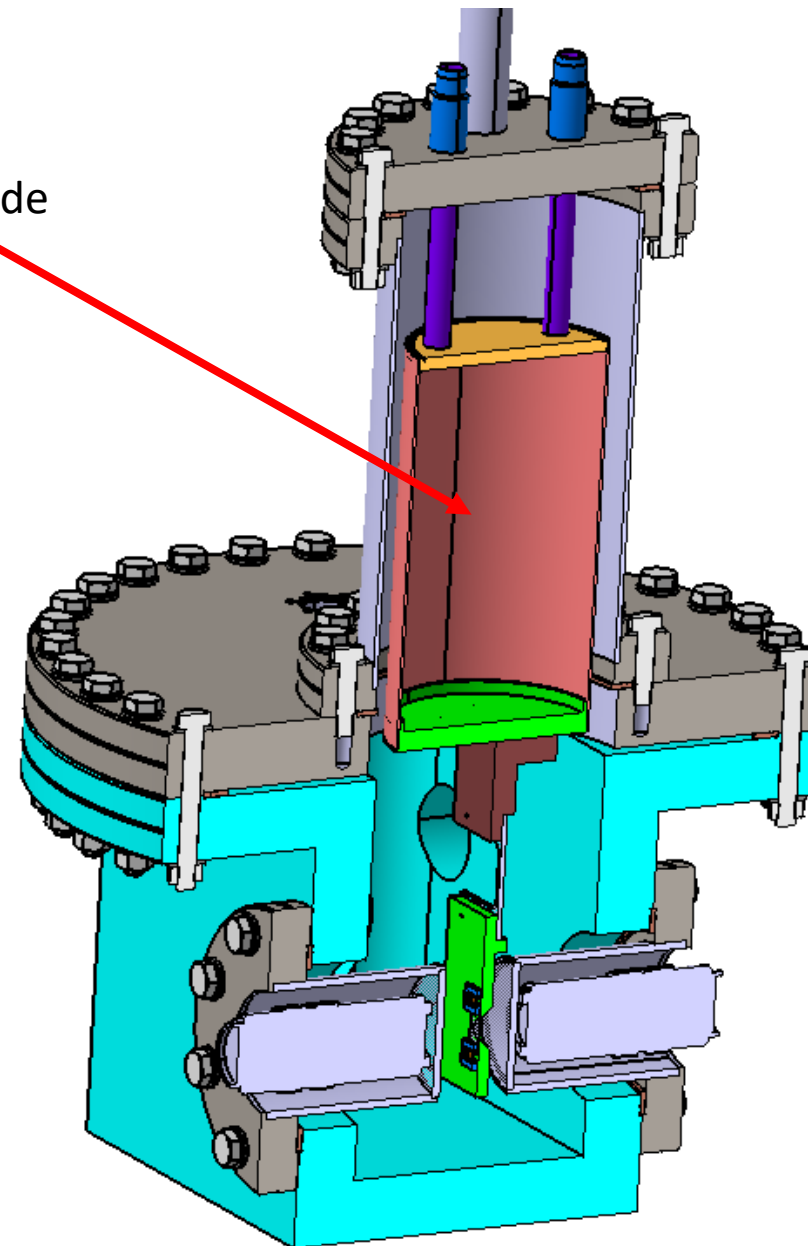
L'échantillon
Sur son support (vert)



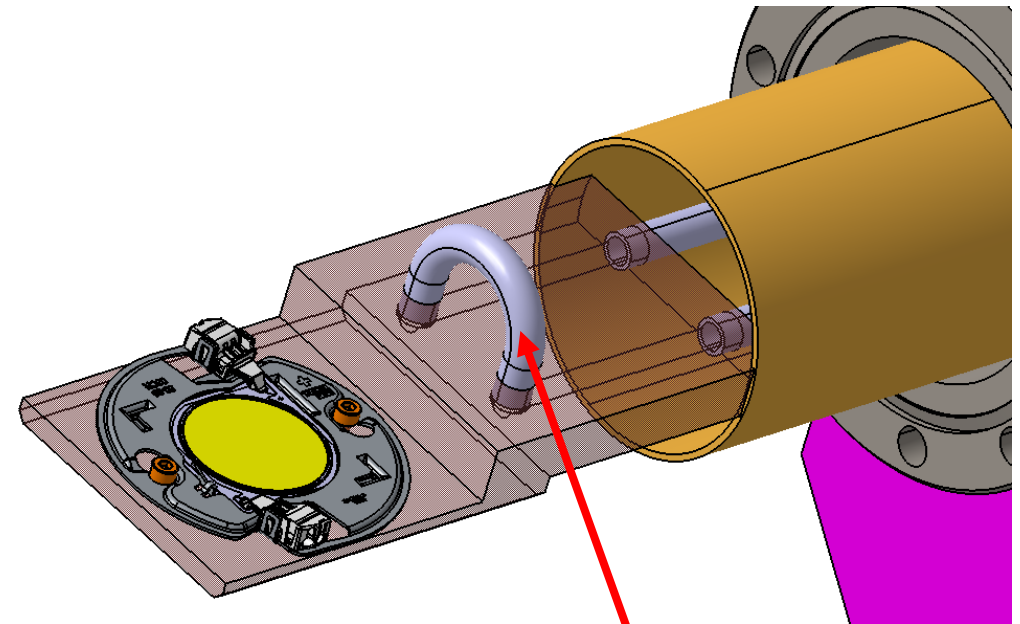
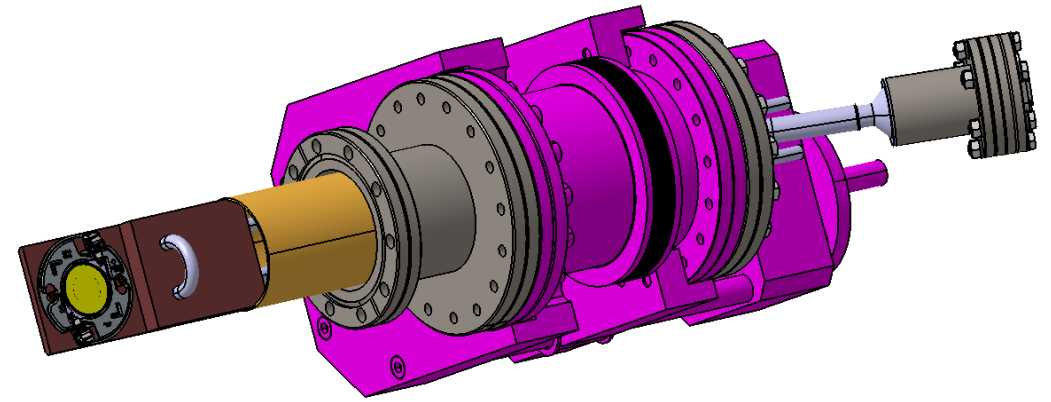
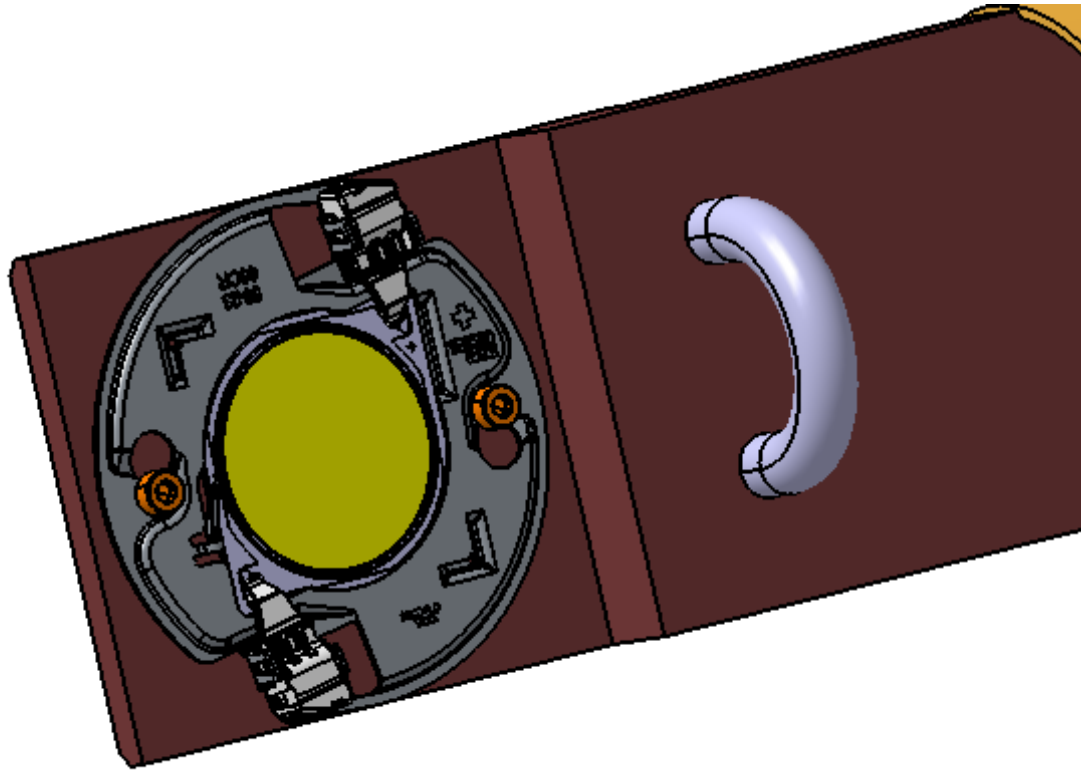
Configuration mesure



Réservoir
azote liquide



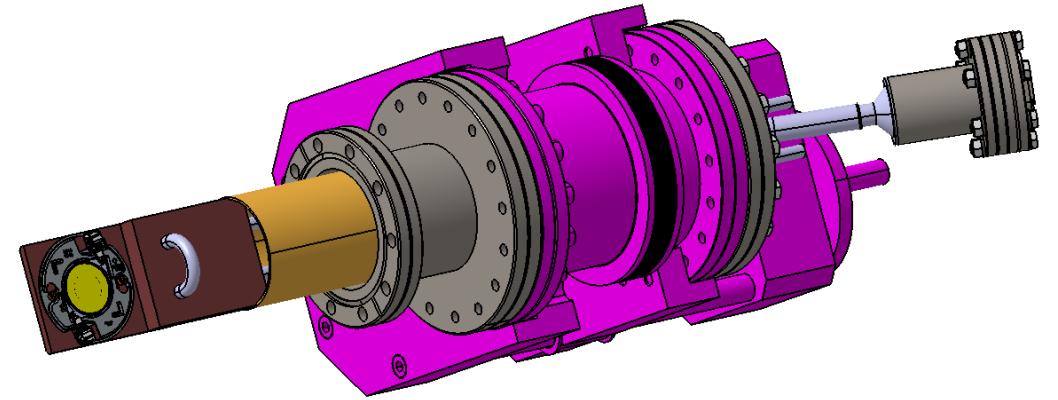
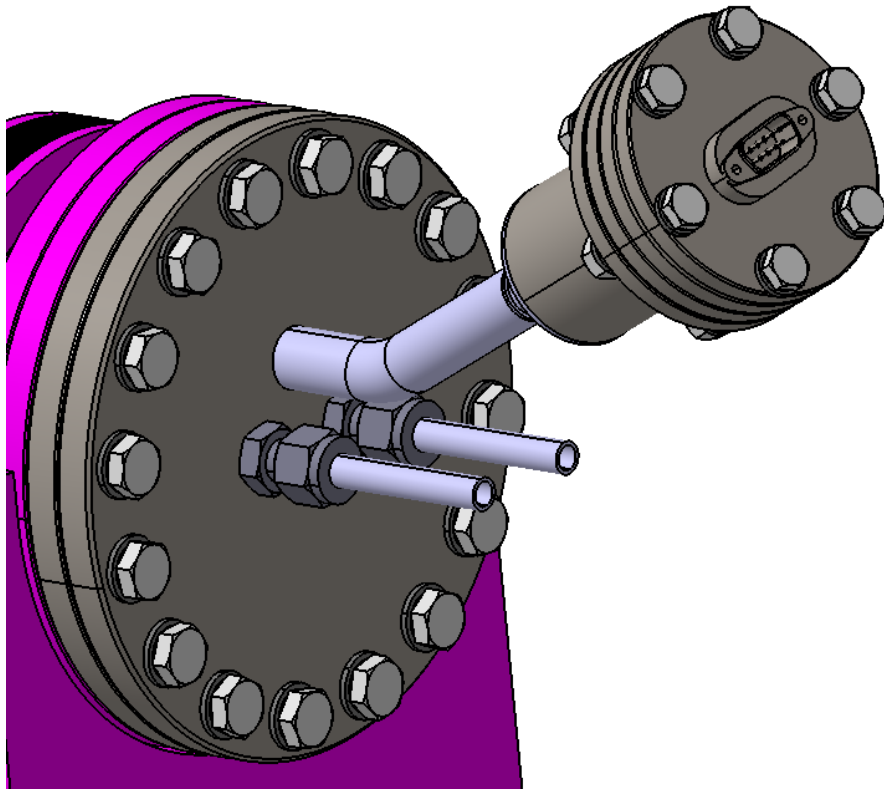
Le bras manipulateur coté vide



Une LED de puissance (chauffage de l'échantillon)
Circuit d'eau (refroidissement de la LED)

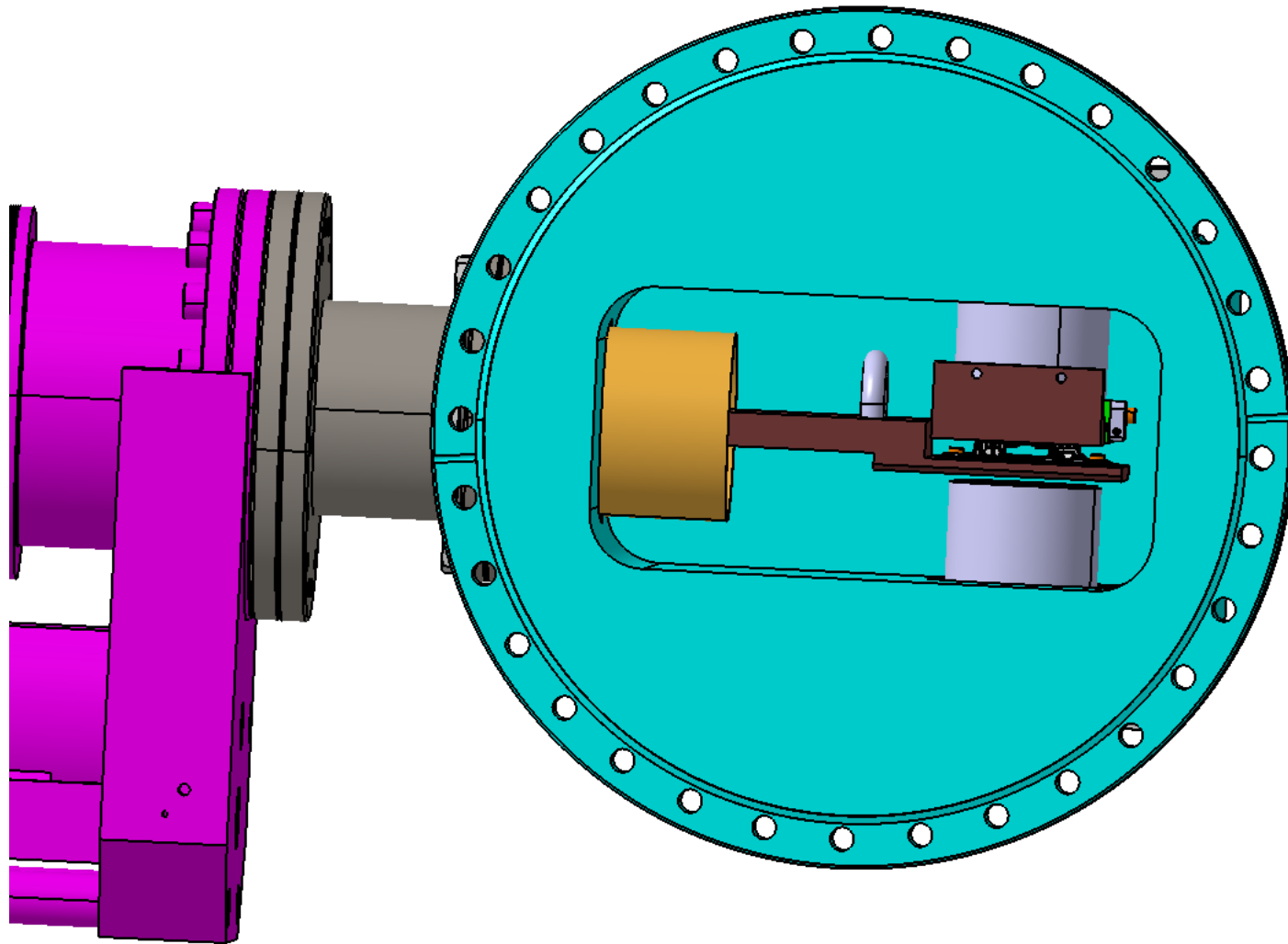
Tube de liaison
entre l'arrivée et
le retour d'eau

Le bras manipulateur coté atmosphère



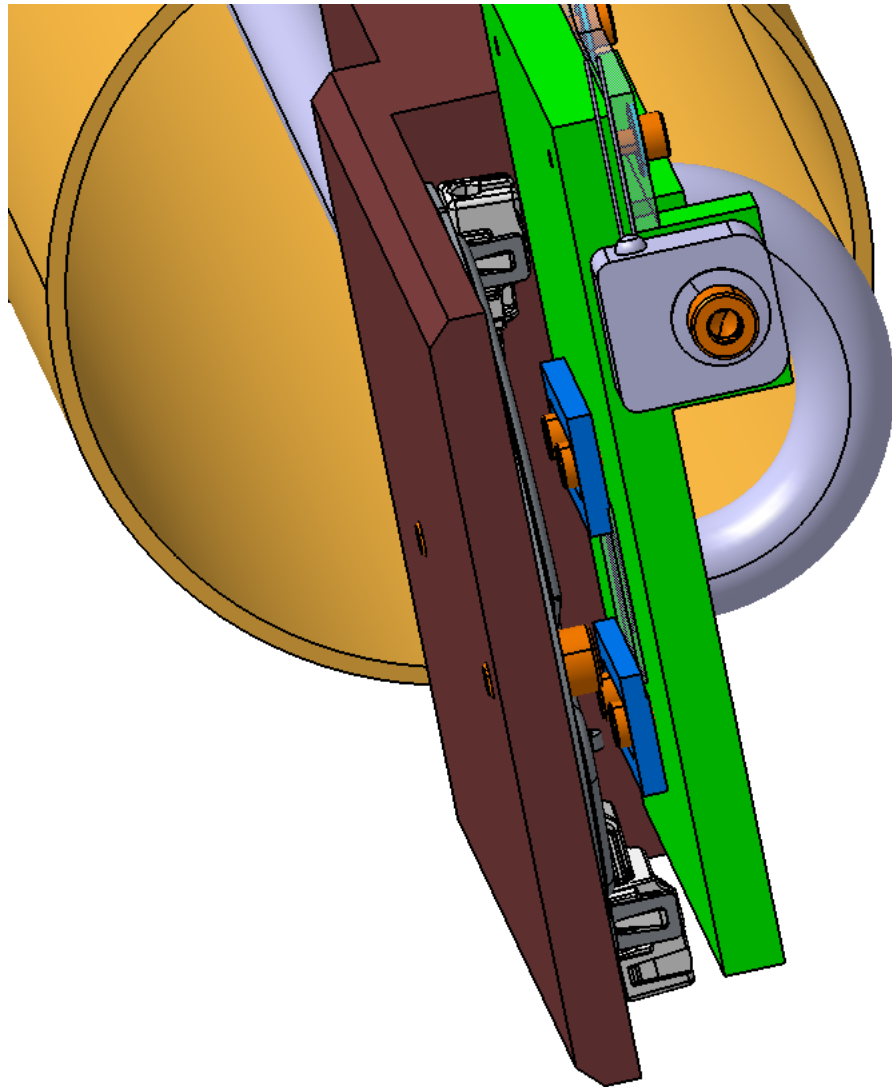
Un connecteur (LED)
2 tubes (circuit d'eau)
Etanchéité : raccord double bague

Configuration chauffage

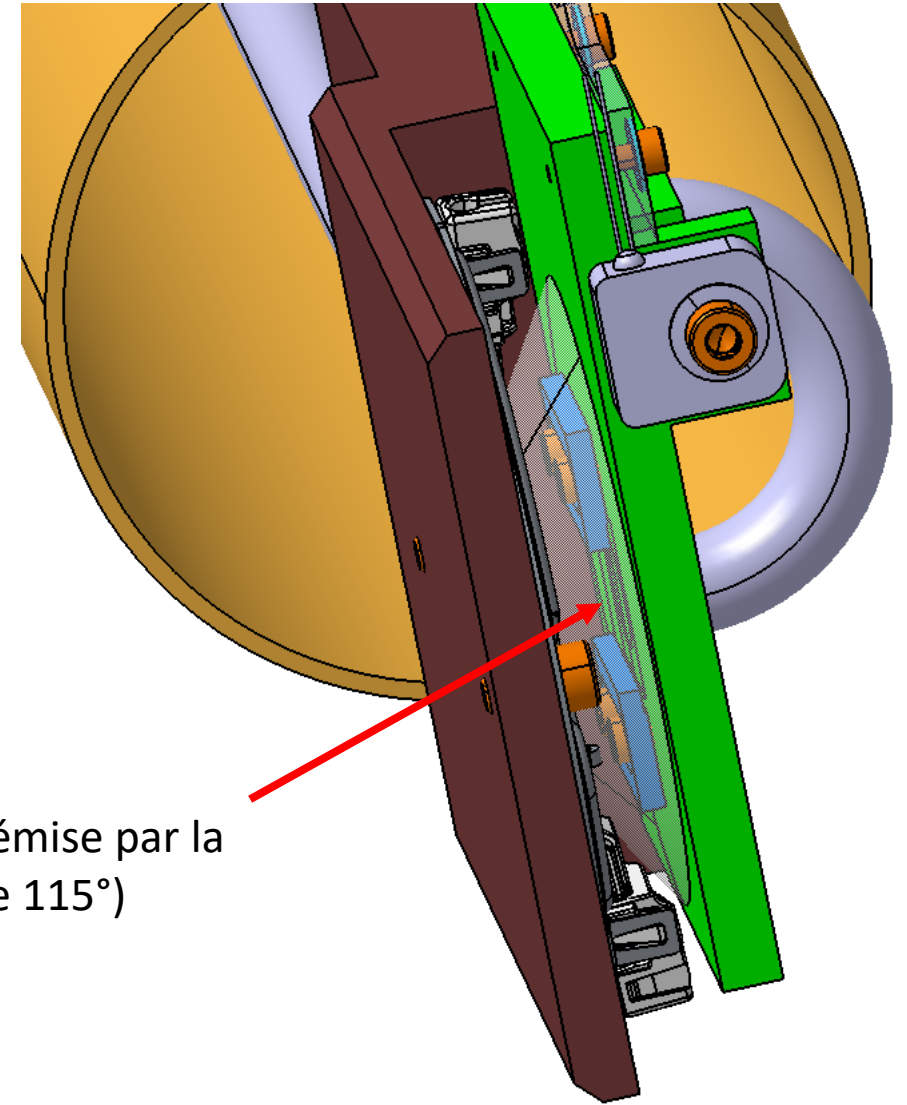


Bras avancé
LED en face de l'échantillon
LED allumée

La LED : position



LED éteinte

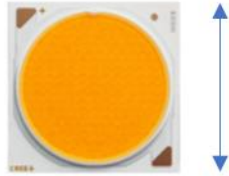


Lumière émise par la
LED (cône 115°)

LED allumée

La LED

Cree® XLamp® CXB3590 LED



35mm



Pour les calculs j'ai utilisé une LED
CXB3590-000-000N0BDB40E

Point de fonctionnement

V=35,7V

I=2,4A

T_j=85°C

Dans ces conditions, on a un **flux lumineux de 12350lm**

Selon Wikipédia : 1lm = > $\frac{1}{683} W$



Puissance lumineuse : 18W



*Calcul approximatif car la
longueur d'onde et la perception
humaine interviennent*

Bilan thermique lors du chauffage (300K -> 700K)

Apport

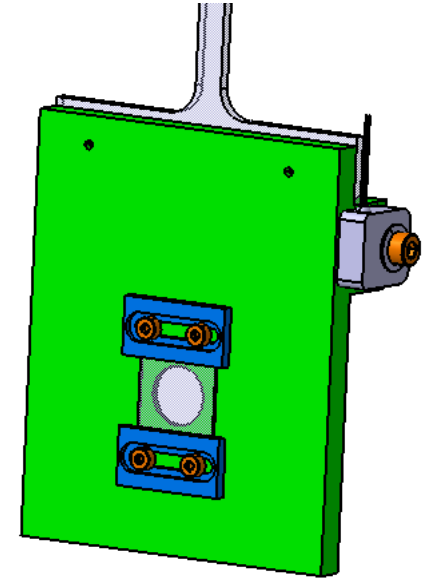
Rayonnement : LED 18W

Pertes

Convection : 0W (on est dans le vide)

Rayonnement : la pièce (verte) est à 700K dans le pire des cas

Conduction : via la pièce en saphir



La pièce

matériau : cuivre doré

Surface : 0,011 m²

Volume : 2,3.10⁻⁵ m³

Masse : 0,206 kg

Propriétés du cuivre doré

Masse volumique (cuivre) : 8,96 T/m³

Emissivité (Au @700K) : 0,03

Bilan thermique : perte par rayonnement

Loi de Stefan-Boltzmann

$$E_R = \sigma \cdot e \cdot S \cdot T^4$$

Avec

S : surface en m^2

σ : constante de Stefan-Boltzmann = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

e : émissivité du matériau

T : température de la surface en K

Dans notre cas :

$$E_R = \sigma \cdot e \cdot S \cdot T^4$$

Avec

$$S = 0,011 \text{ m}^2$$

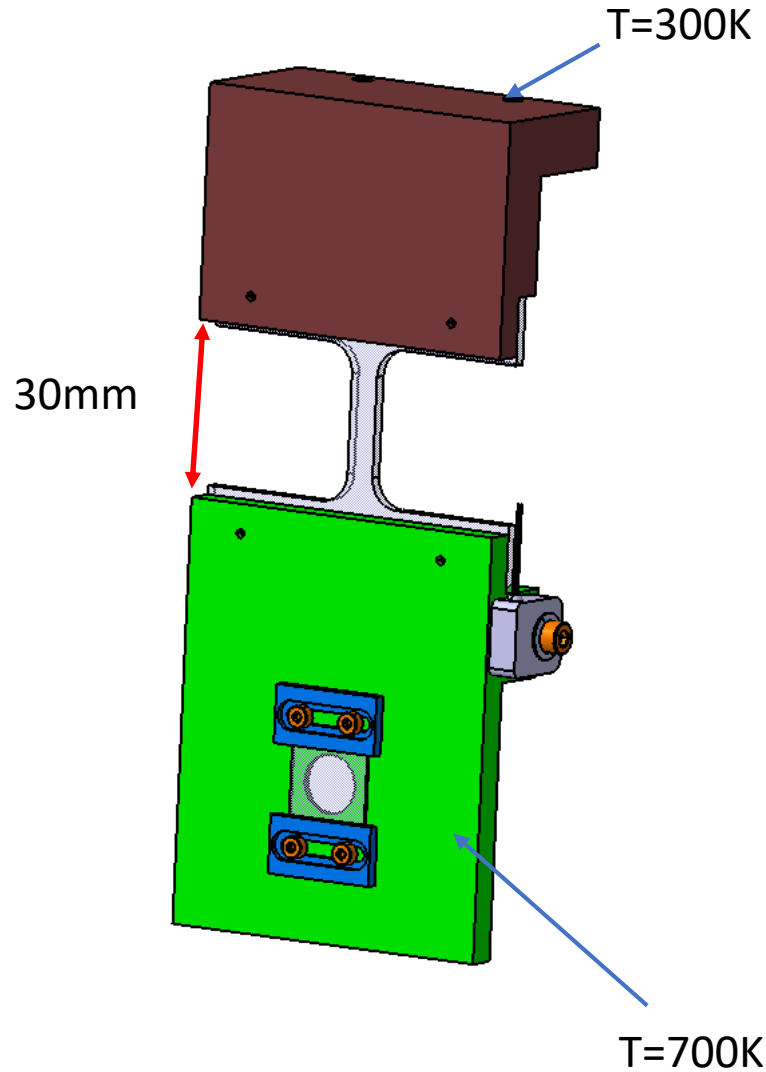
$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

$$e = 0,03$$

$$T = 700 \text{ K}$$

$$E_R = 4,5 \text{ W}$$

Bilan thermique : perte par conduction



Matériau : saphir
Section : $2 \times 5 = 10 \text{ mm}^2$ ($0,000010 \text{ m}^2$)
Longueur : 30mm (0,03m)
Conductivité thermique saphir (@300K) : $40 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$$\text{Flux thermique : } \Phi = \frac{\lambda \cdot S}{L} \cdot (T_c - T_f)$$

$$\text{Flux thermique : } \Phi = \frac{40 \times 0,000010}{0,03} \cdot (700 - 300) = 5,3 \text{ W}$$

Bilan thermique lors du chauffage (300K -> 700K)

Apport

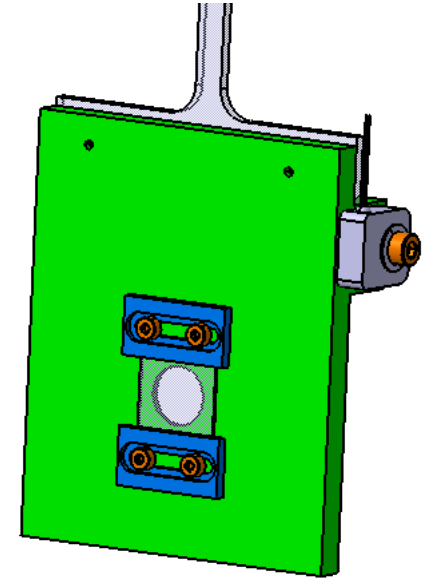
Rayonnement : LED 18W

Pertes

Convection : 0W (on est dans le vide)
Rayonnement (pièce verte à 700K) : 4,5W
Conduction (via la pièce en saphir): 5,3 W

Bilan

On a **8,2 W** de disponible pour chauffer



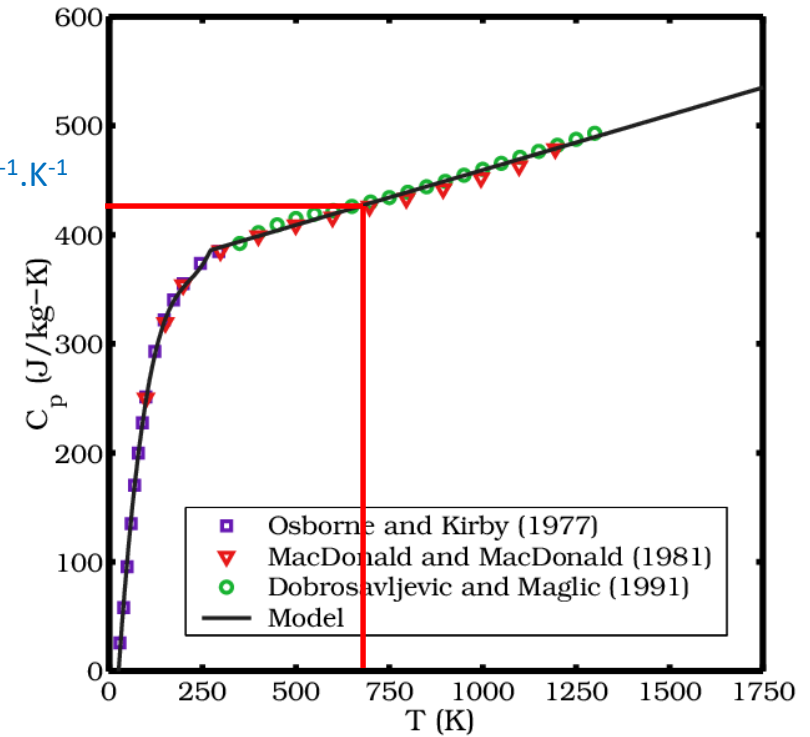
La pièce

matériau : cuivre doré
Surface : 0,011 m²
Volume : 2,3.10⁻⁵ m³
Masse : 0,206 kg

Bilan chauffage (300K -> 700K) : estimation du temps

Masse de la pièce en cuivre : 0,2kg
Variation de température : 400K

C_p (@700K) = 410 J.kg⁻¹.K⁻¹



Capacité calorifique du cuivre vs température
Source : [arXiv:cond-mat/0512466v1](https://arxiv.org/abs/cond-mat/0512466v1)

On chauffe avec 8,2W

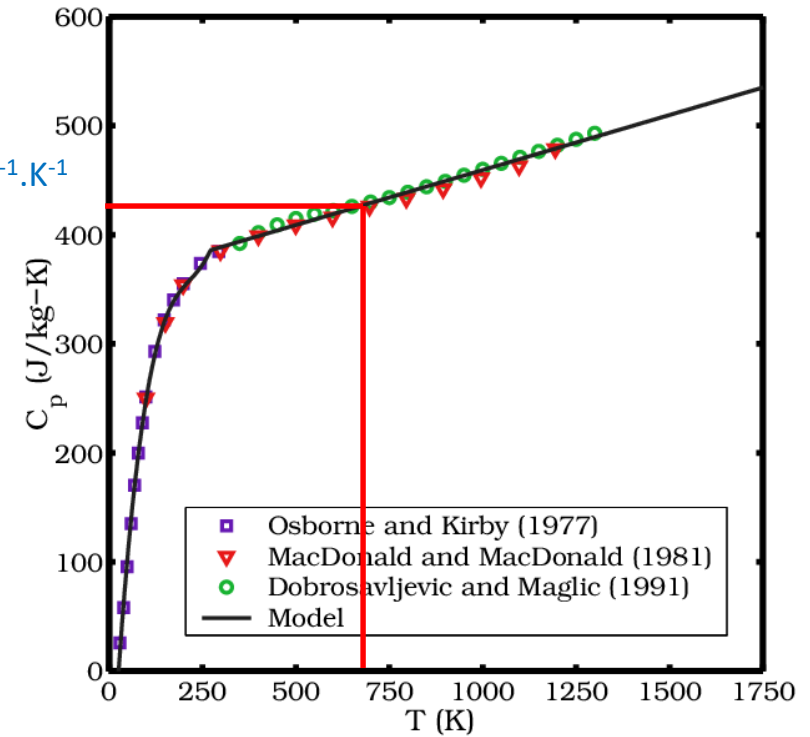
Bilan chauffage (300K -> 700K) : estimation du temps

Masse de la pièce en cuivre : 0,2kg
Variation de température : 400K

C_p (@700K) = 410 J.kg⁻¹.K⁻¹

Energie nécessaire pour chauffer la pièce :
 $E = 410 \times 0,2 \times 400 = \mathbf{32800 \text{ Joules}}$

On chauffe avec 8,2W
Et par def 1W=1 J.s⁻¹



Capacité calorifique du cuivre vs température
Source : [arXiv:cond-mat/0512466v1](https://arxiv.org/abs/cond-mat/0512466v1)

Bilan chauffage (300K -> 700K) : estimation du temps

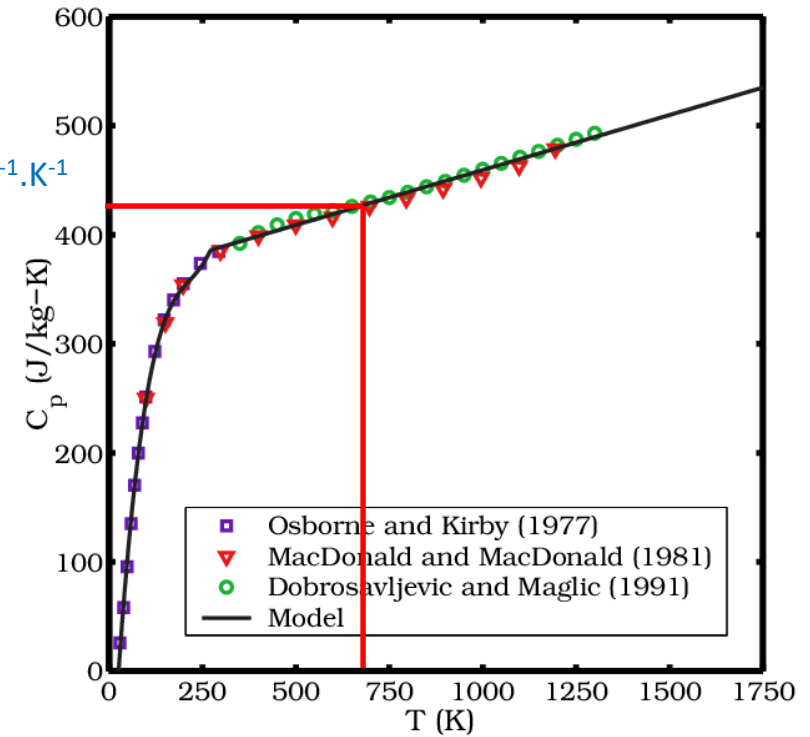
Masse de la pièce en cuivre : 0,2kg
Variation de température : 400K

C_p (@700K) = 410 J.kg⁻¹.K⁻¹

Energie nécessaire pour chauffer la pièce :
 $E = 410 \times 0,2 \times 400 = \mathbf{32800 \text{ Joules}}$

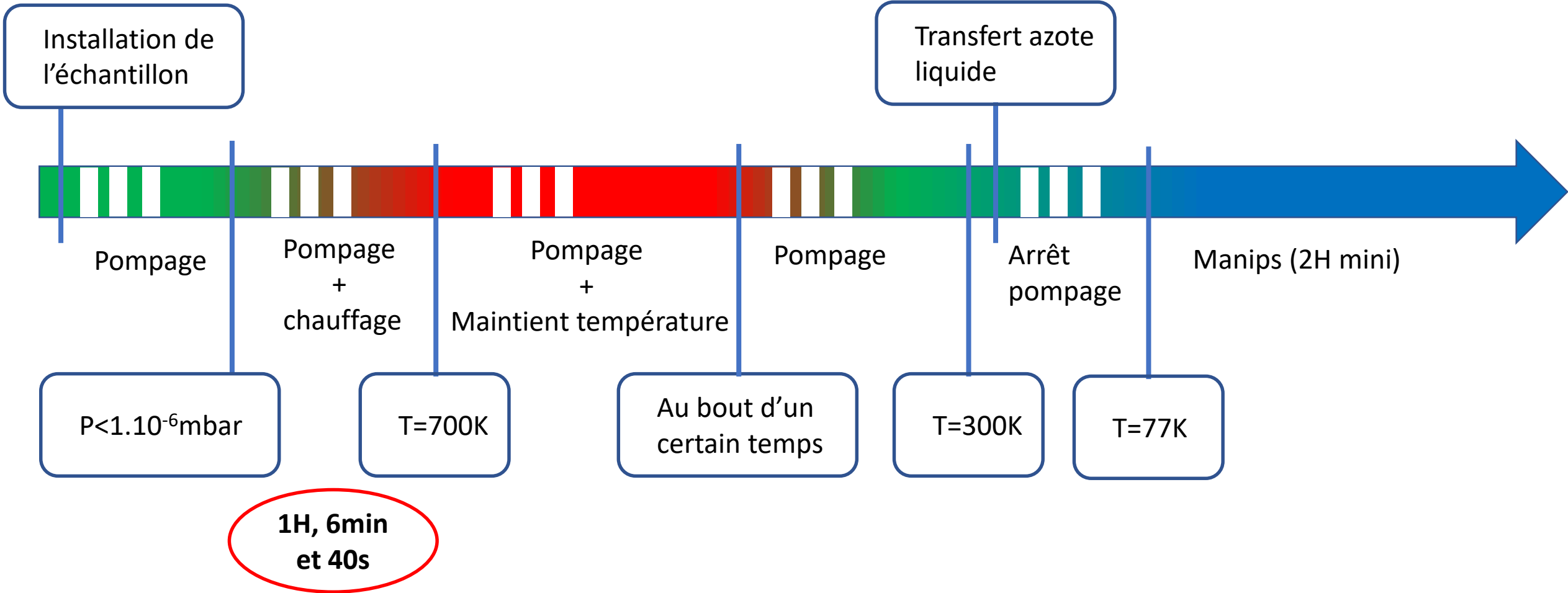
On chauffe avec 8,2W
Et par def $1W=1 \text{ J.s}^{-1}$

Temps pour atteindre 700K
 $32800 / 8,2 = 4000 \text{ s}$ soit **1 H 6 min et 40 s**

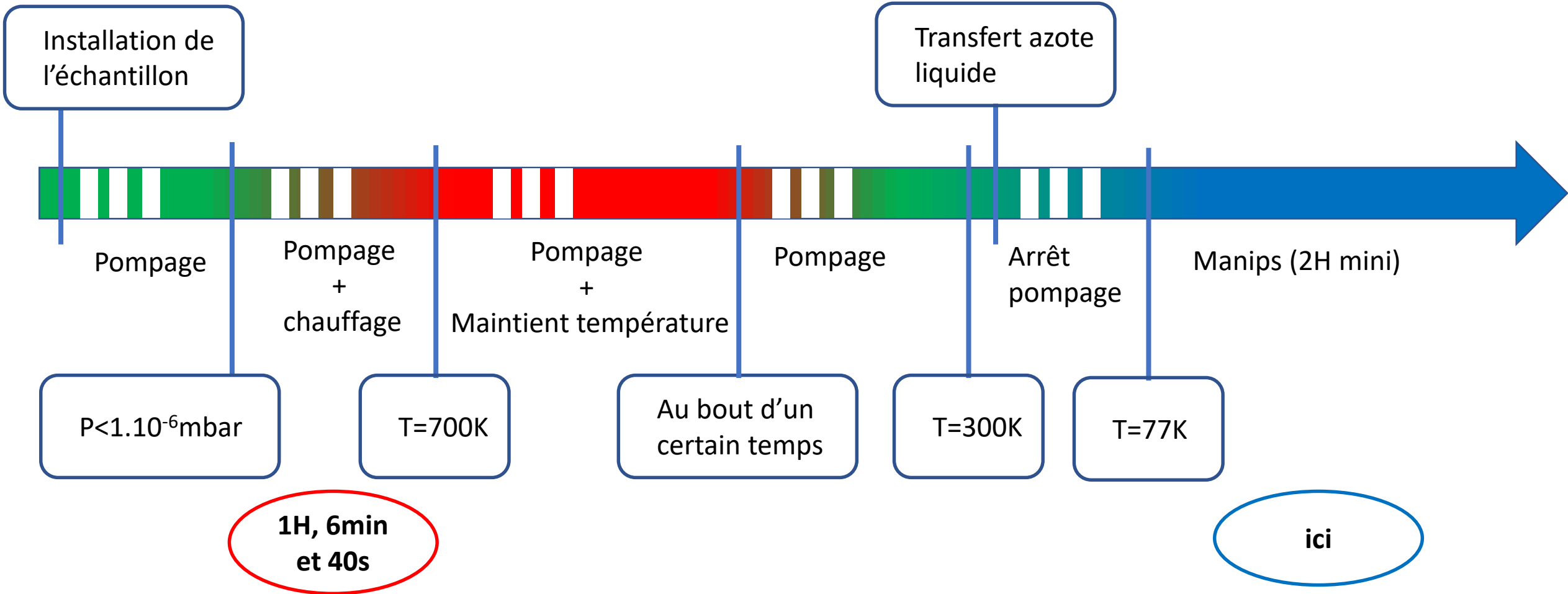


Capacité calorifique du cuivre vs température
Source : [arXiv:cond-mat/0512466v1](https://arxiv.org/abs/cond-mat/0512466v1)

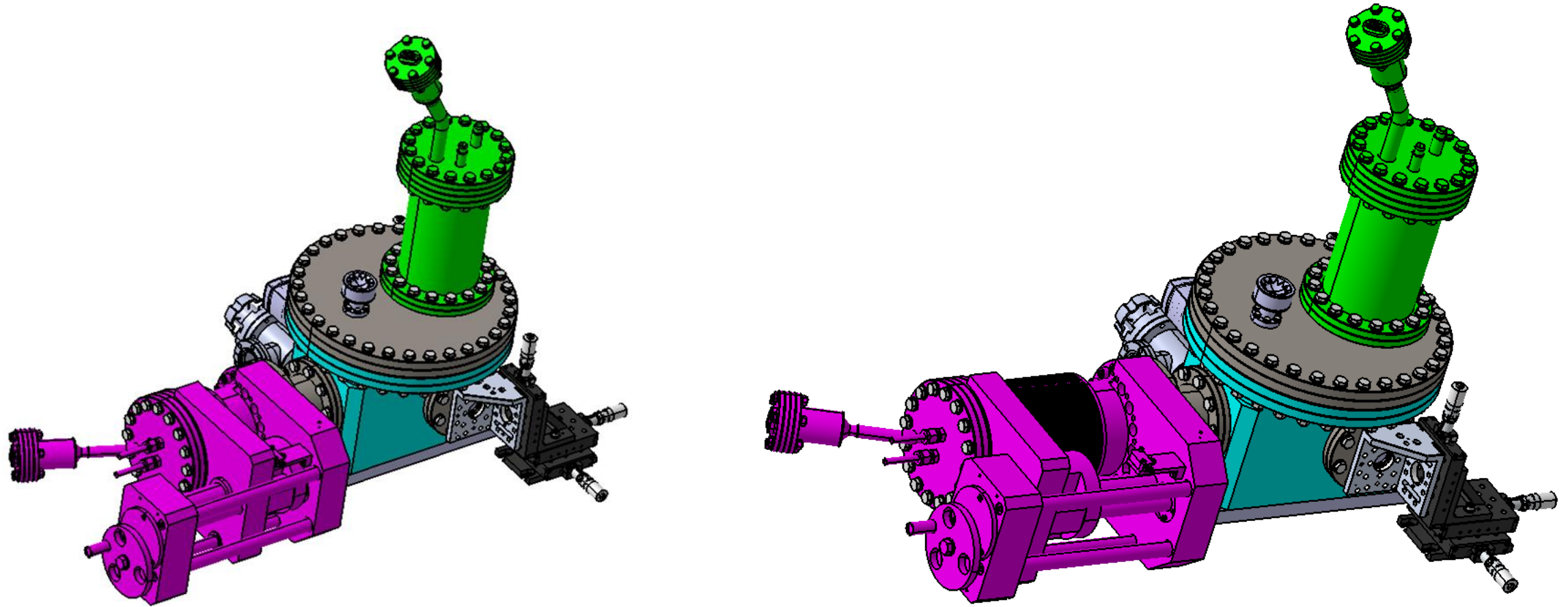
Le déroulement de la manip



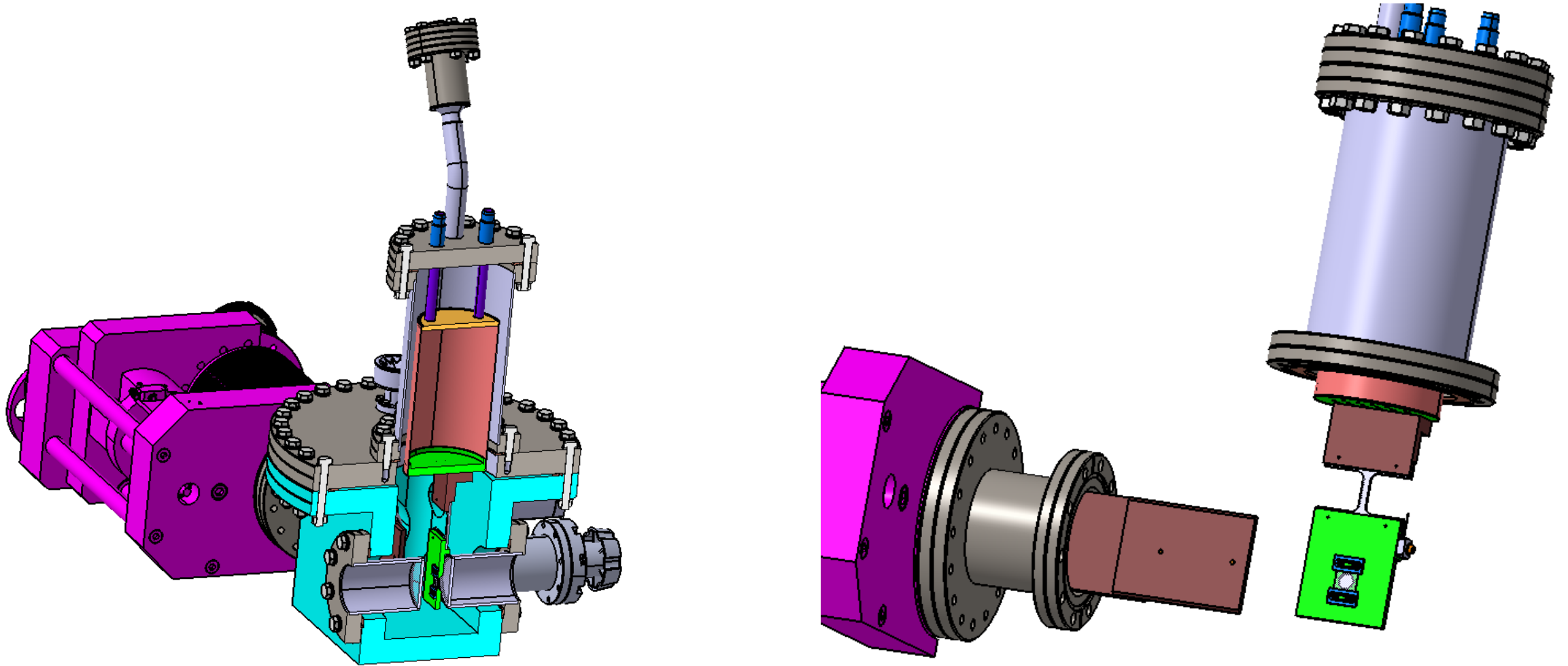
Le déroulement de la manip



Configuration mesure



Configuration mesure



Quand on est à 77K

Données azote liquide

Chaleur latente de vaporisation : $198,38 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ($T=77\text{K}$ et $P=1\text{atm}$)

Masse volumique : 809 kg.m^{-3} ($0,8 \text{ kg.L}^{-1}$)

réservoir azote liquide

Cylindre : diamètre 82mm, hauteur 144,2mm

Volume : 0,76 L

Autonomie souhaitée 2H (7200s)

par def $1\text{W}=1 \text{ J.s}^{-1}$

Quand on est à 77K

Données azote liquide
Chaleur latente de vaporisation : $198,38 \text{ kJ.kg}^{-1}$ (T=77K et P=1atm)
Masse volumique : 809 kg.m^{-3} (0,8 kg.L⁻¹)

réservoir azote liquide
Cylindre : diamètre 82mm, hauteur 144,2mm
Volume : 0,76 L

Masse azote liquide (réservoir plein)
 $0,76 \times 0,8 = 0,61 \text{ kg}$

Energie nécessaire pour évaporer tout l'azote
 $198 \times 0,61 = 120,8 \text{ kJ}$

Autonomie souhaitée 2H (7200s)

par def $1W=1 \text{ J.s}^{-1}$

Quand on est à 77K

Données azote liquide
Chaleur latente de vaporisation : $198,38 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ($T=77\text{K}$ et $P=1\text{atm}$)
Masse volumique : 809 kg.m^{-3} ($0,8 \text{ kg.L}^{-1}$)

réservoir azote liquide
Cylindre : diamètre 82mm, hauteur 144,2mm
Volume : 0,76 L

Masse azote liquide (réservoir plein)
 $0,76 \times 0,8 = 0,61 \text{ kg}$

Energie nécessaire pour évaporer tout l'azote
 $198 \times 0,61 = 120,8 \text{ kJ}$

Autonomie souhaitée 2H (7200s)

par def $1\text{W}=1 \text{ J.s}^{-1}$

Pour notre autonomie ça fait une puissance admissible
 $120800 / 7200 = 16,9\text{W}$

Bilan thermique lorsque l'on est à 77K

Pertes

Convection : 0W (on est dans le vide)

Rayonnement : sur le réservoir et sur le support échantillon

Conduction : via les tubes

Bilan thermique : rayonnement sur le réservoir

L'énergie rayonnée entre deux surfaces de températures T_1 et T_2 ($T_2 > T_1$) s'écrit :

$$W_R = \sigma E A_1 (T_2^4 - T_1^4) \quad (2-2)$$

A_1 : aire en cm^2 de la surface qui reçoit l'énergie à la température T_1 .

E : facteur qui tient compte des pouvoirs émissifs e_1 et e_2 des surfaces aux températures T_1 et T_2 .

W_R : énergie rayonnée exprimée en watts.

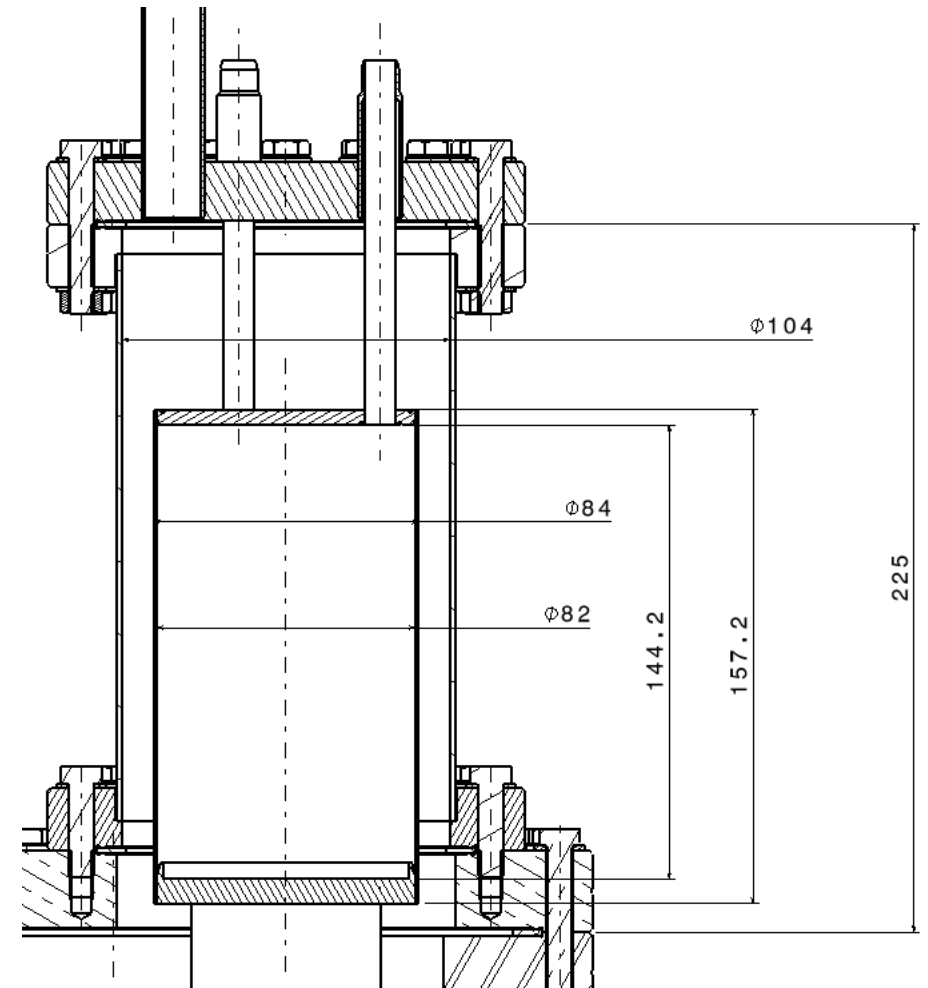
e : pouvoir émissif de la surface A .

σ : constante de Stefan-Boltzmann : $5,67 \cdot 10^{-12} \text{W.cm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{K}^{-4}$.

T : température en $^\circ\text{K}$.

Tableau II-1. — VALEURS DE E EN FONCTION DES POUVOIRS ÉMISSIFS e_1 ET e_2 DES SURFACES A_1 ET A_2 AUX TEMPÉRATURES T_1 ET T_2 ($T_1 < T_2$) ⁽³⁾

	Réflexion spéculaire	Réflexion diffuse
Plaques parallèles.	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + (1 - e_2)e_1}$	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + (1 - e_2)e_1}$
Longs cylindres coaxiaux $L \gg R$	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + (1 - e_2)e_1}$	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + \frac{A_1}{A_2}(1 - e_2)e_1}$
Sphères concentriques.	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + (1 - e_2)e_1}$	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + \frac{A_1}{A_2}(1 - e_2)e_1}$



Source :
éléments de cryogénie (R. R. conte)

Bilan thermique : rayonnement sur le support échantillon

L'énergie rayonnée entre deux surfaces de températures T_1 et T_2 ($T_2 > T_1$) s'écrit :

$$W_R = \sigma E A_1 (T_2^4 - T_1^4) \quad (2-2)$$

A_1 : aire en cm^2 de la surface qui reçoit l'énergie à la température T_1 .

E : facteur qui tient compte des pouvoirs émissifs e_1 et e_2 des surfaces aux températures T_1 et T_2 .

W_R : énergie rayonnée exprimée en watts.

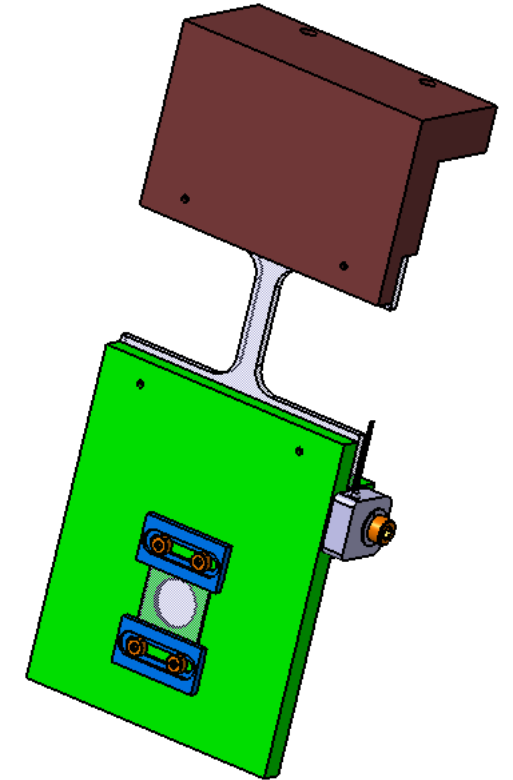
e : pouvoir émissif de la surface A .

σ : constante de Stefan-Boltzmann : $5,67 \cdot 10^{-12} \text{W.cm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{K}^{-4}$.

T : température en $^\circ\text{K}$.

Tableau II-1. — VALEURS DE E EN FONCTION DES POUVOIRS ÉMISSIFS e_1 ET e_2 DES SURFACES A_1 ET A_2 AUX TEMPÉRATURES T_1 ET T_2 ($T_1 < T_2$) ⁽³⁾

	Réflexion spéculaire	Réflexion diffuse
Plaques parallèles.	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + (1 - e_2)e_1}$	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + (1 - e_2)e_1}$
Longs cylindres coaxiaux $L \gg R$	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + (1 - e_2)e_1}$	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + \frac{A_1}{A_2}(1 - e_2)e_1}$
Sphères concentriques.	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + (1 - e_2)e_1}$	$\frac{e_1 e_2}{e_2 + \frac{A_1}{A_2}(1 - e_2)e_1}$

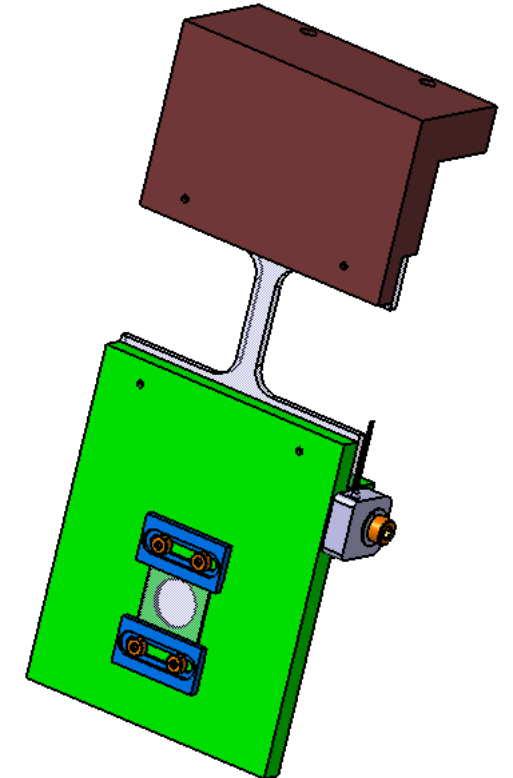


Source :
éléments de cryogénie (R. R. conte)

Bilan thermique : rayonnement sur le support échantillon

4	emissivité cuivre doré (à 1 K)	0,029		ϵ			
5	constante de Stefan-Boltzmann	5,67E-12	W/cm ² K				
6							
L'	pour la pièce verte						
8	hauteur	72 mm	7,2 cm	0,072 m			
9	largeur	60 mm	6 cm	0,06 m			
10	épaisseur	5 mm	0,5 cm	0,005 m			
11	surface pour fenêtre	4320 mm ²	43,2 cm ²	0,00432 m ²			
12	surface pour coté	360 mm ²	3,6 cm ²	0,00036 m ²			
Ai							
E							
15	rayonnement avec les fenêtres				rayonnement avec les cotés		
16	datas doigt froid				datas doigt froid		
17	surface	4320 mm ²	43,2 cm ²	0,00432 m ²	surface	360 mm ²	3,6 cm ²
18	température (T1)	77 K			température (T1)	77 K	
19							
20	data fenêtre				data enceinte extérieure		
21	diamètre	0,0508 m	50,8 mm	5,08 cm	largeur	0,1 m	100 mm
22	surface	0,002027 m ²	2026,83 mm ²	20,2683 cm ²	hauteur	0,16 m	160 mm
23	température (T2)	300 K			surface	0,016 m ²	16000 mm ²
24					température (T2)	300 K	
25	Calcul de E (cas plaques parallèles)	0,025			Calcul de E (cas plaques parallèles)	0,021898	
27	énergie reçue	0,049386 W			énergie reçue	0,003605 W	
28					il y a 2 cotés	0,00721 W	
29	il y a 2 faces en regard des fenêtres	0,098772 W					
30							
31							
32							
33							
34	total rayonnement sur la pièce verte		0,10598 W				
35							
36							
37	pour la pièce en saphir						
38	hauteur visible	30 mm	3 cm	0,03 m			
39	largeur	5 mm	0,5 cm	0,005 m			
40	épaisseur	2 mm	0,2 cm	0,002 m			
41	surface coté fenêtre	150 mm ²	1,5 cm ²	0,00015 m ²			
42	surface pour coté	60 mm ²	0,6 cm ²	0,00006 m ²			
43							
44							
45	rayonnement grandes faces				rayonnement avec les cotés		
46	datas doigt froid				datas doigt froid		
47	surface	150 mm ²	1,5 cm ²	0,00015 m ²	surface	60 mm ²	0,6 cm ²
48	température (T1)	77 K			température (T1)	77 K	
49							
50	data enceinte extérieure				data enceinte extérieure		
51	largeur	0,2 m	200 mm	20 cm	largeur	0,1 m	100 mm
52	hauteur	0,16 m	160 mm	16 cm	hauteur	0,16 m	160 mm
53	surface	0,032 m ²	32000 mm ²	3200 cm ²	surface	0,016 m ²	16000 mm ²
54	température (T2)	300 K			température (T2)	300 K	
55	Calcul de E (cas plaques parallèles)	0,15			Calcul de E (cas plaques parallèles)	0,021898	
56							

Pertes rayonnement sur le support échantillon : 0,18 W



source :
cryogénie (R. R. conte)

Bilan thermique : conduction via les tubes

La puissance thermique transportée le long d'un conducteur de section A , de longueur L , soumis à une différence de température ($T_2 - T_1$) est donnée par la relation de Fourier (équation 2-20) :

$$W_{ex} = \frac{A}{L} \int_{T_1}^{T_2} K_{(T)} dT \quad (2-20)$$

- W : puissance transmise en watts.
- A : section droite en cm^2 .
- L : longueur en cm.

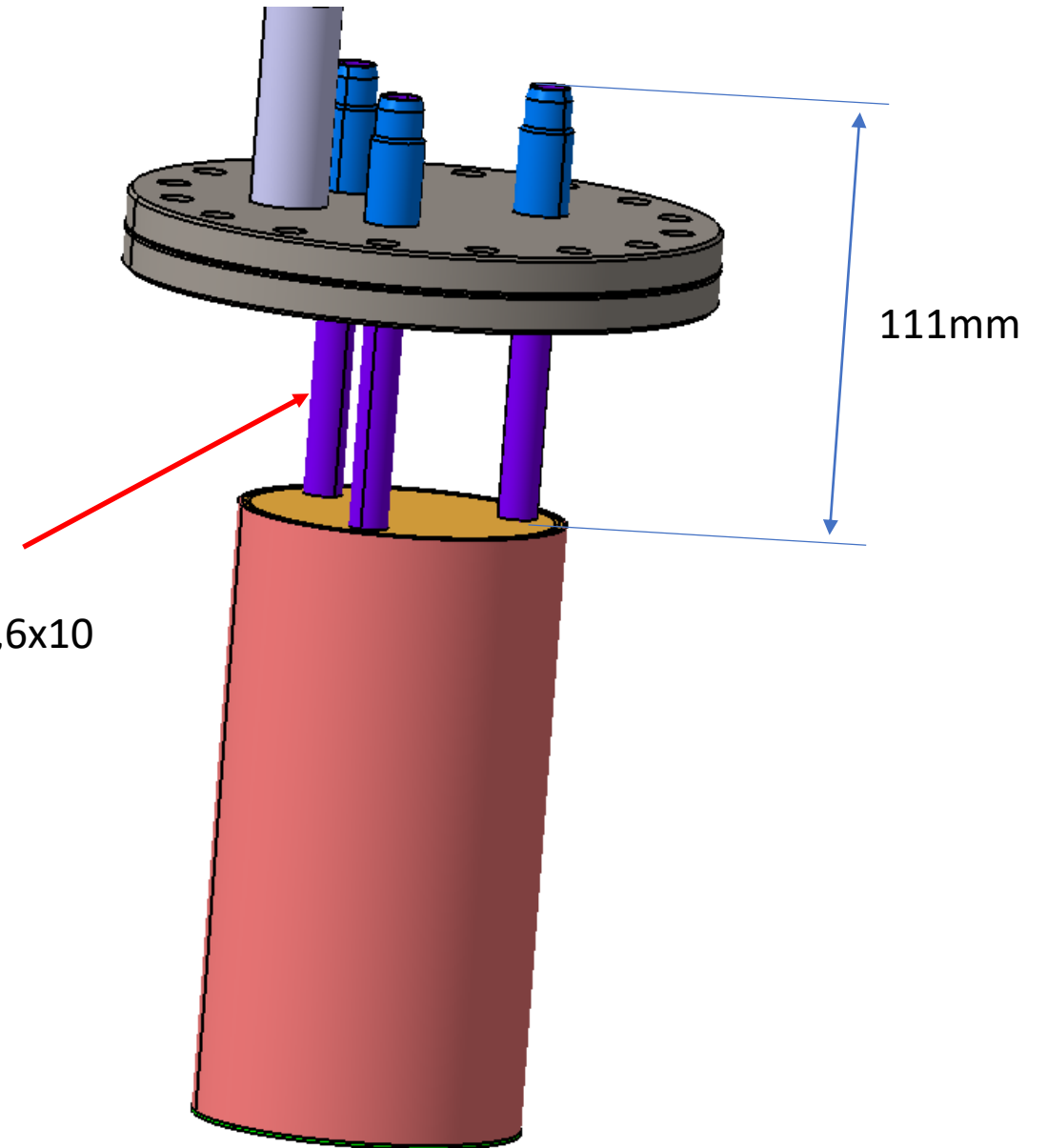
Source : éléments de cryogénie (R. R. conte)

<i>Intégrales de la conductibilité thermique</i>											
$\int_{T_1}^{T_2} K_{(T)} dT \quad (T_1 = 4 \text{ °K})$											
T_1 (°K)	Watts /cm							Milliwatts /cm			T_2 (°K)
	Monel (recuit)	Monel (écroui)	Inconel (recuit)	Inconel (écroui)	Cui- vre OFHC	Laiton	ZrCN 18.10	Ver- re	Te- flon	Nyl- lon	
6	0,0235	0,0123	0,0133	0,00712	6,1	0,053	0,0063	2,11	1,13	0,321	6
8	0,0605	0,0329	0,0348	0,0185	14,5	0,129	0,0159	4,43	2,62	0,807	8
10	0,112	0,0629	0,0653	0,0345	25,2	0,229	0,0293	6,81	4,4	1,48	10
15	0,315	0,181	0,182	0,0975	61,4	0,594	0,0816	13,1	9,85	4,10	15
20	0,618	0,364	0,336	0,195	110	1,12	0,163	20,0	16,4	8,23	20
25	1,01	0,614	0,592	0,325	168	1,81	0,277	27,9	23,9	13,9	25
30	1,48	0,929	0,882	0,488	228	2,65	0,424	36,8	32,2	20,8	30
35	2,01	1,30	1,22	0,685	285	3,63	0,607	47,1	41,3	29,0	35
40	2,58	1,73	1,60	0,918	338	4,76	0,824	58,6	50,8	38,5	40
50	3,85	2,73	2,47	1,48	426	7,36	1,35	84,6	71,6	60,4	50
60	5,23	3,88	3,45	2,15	496	10,4	1,98	115	93,6	85,9	60
70	6,69	5,13	4,52	2,94	554	13,9	2,70	151	116	113	70
76	7,61	5,92	5,19	3,47	586	16,2	3,17	175	130	131	76
80	8,24	6,47	5,66	3,84	606	17,7	3,49	194	139	142	80
90	9,86	7,91	6,85	4,84	654	22,0	4,36	240	163	173	90
100	11,5	9,40	8,06	5,93	700	26,5	5,28	292	187	204	100
120	15,0	12,6	10,6	8,33	788	36,5	7,26	408	237	269	120
140	18,7	15,9	13,1	11,0	874	47,8	9,39	542	287	336	140
160	22,5	19,5	15,7	13,8	956	60,3	11,7	694	338	405	160
180	26,4	23,2	18,3	16,8	1040	73,8	14,1	858	390	475	180
200	30,5	27,1	21,0	19,9	1120	88,3	16,6	1 030	442	545	200
250	41,2	37,3	28,0	28,1	1320	128	23,4	1 500	572	720	250
300	52,5	48,0	35,4	36,9	1520	172	30,6	1 990	702	895	300

Bilan thermique : conduction via les tubes

	A	B	C	D	E
pour l'inox					
integrale4-300		30,6 W/cm			
integrale4-76		3,17 W/cm			
diamètre interne tube		9,6 mm		0,96 cm	
diamètre externe tube		10 mm		1 cm	
longueur		111 mm		11,1 cm	
section droite		6,1575216 mm ²		0,06157522 cm ²	
puissance transmise		0,1521629 W		pour 1 tube	
puissance transmise		0,4564887 W		pour 3 tubes	

3 tubes inox 9,6x10



Pertes conduction via les tubes : 0,5W

Bilan thermique lorsque l'on est à 77K

Pertes

Convection : 0W (on est dans le vide)
Rayonnement sur le réservoir : 1,2 W
Rayonnement sur le support échantillon : 0,18 W
Conduction via les tubes : 0,5 W

Bilan

On a **1,9 W** de perte lorsque l'on est thermalisé à 77K

Energie nécessaire pour évaporer tout l'azote

120,8 kJ (voir slide 35)

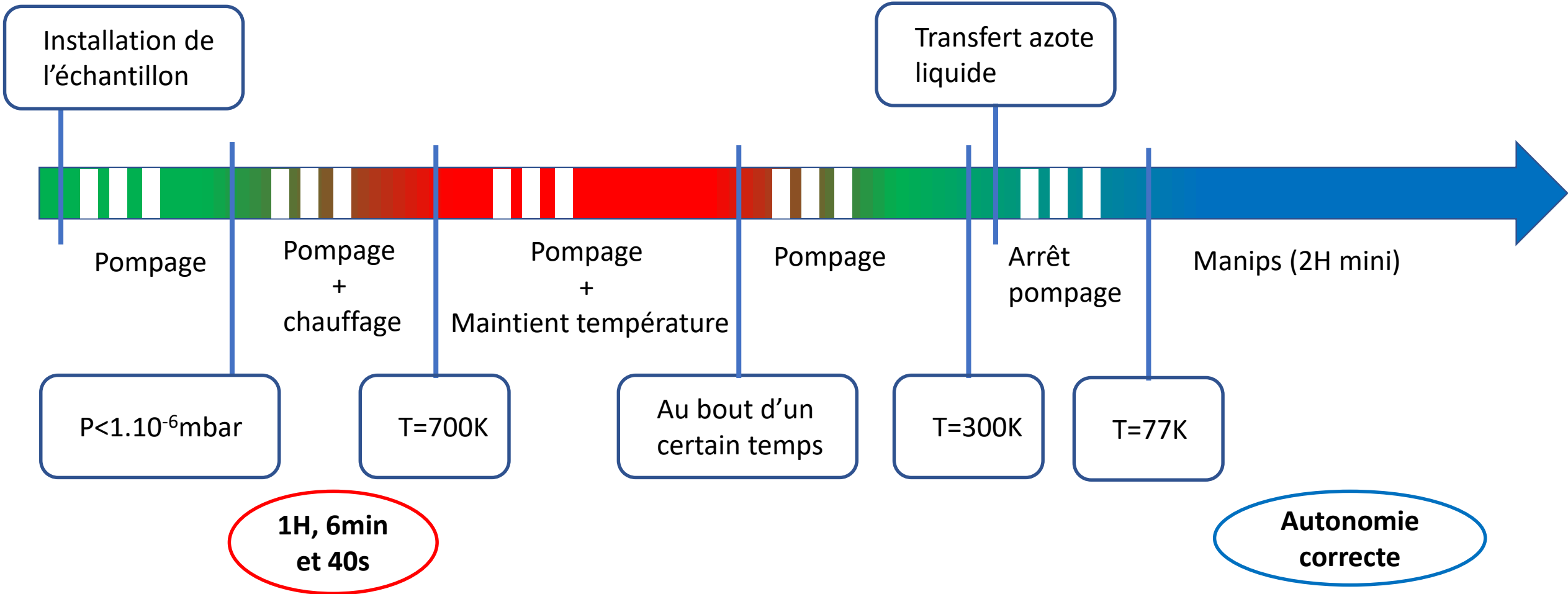
Pour notre autonomie ça fait :

$120800 / 1,9 = 63579$ s soit **17 H, 39 min et 39 s**

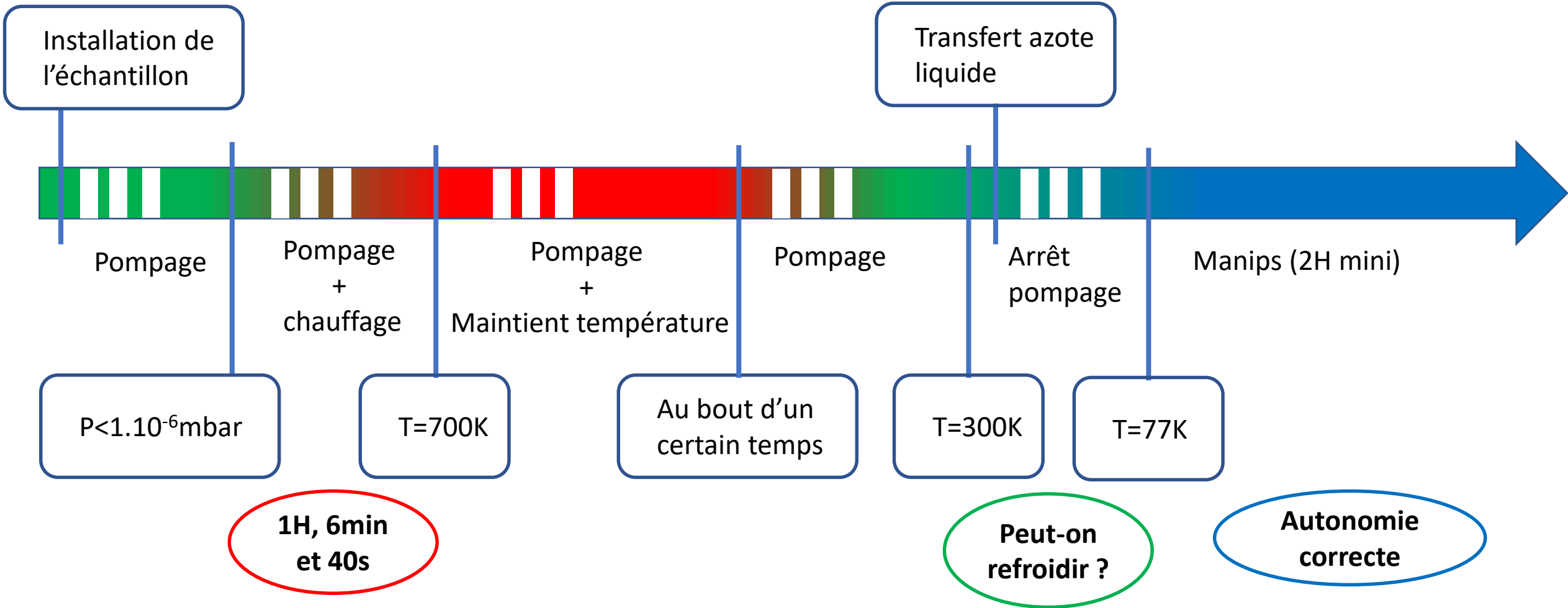


Ça ne tient pas compte de l'énergie apportée pour les mesures (laser par exemple)

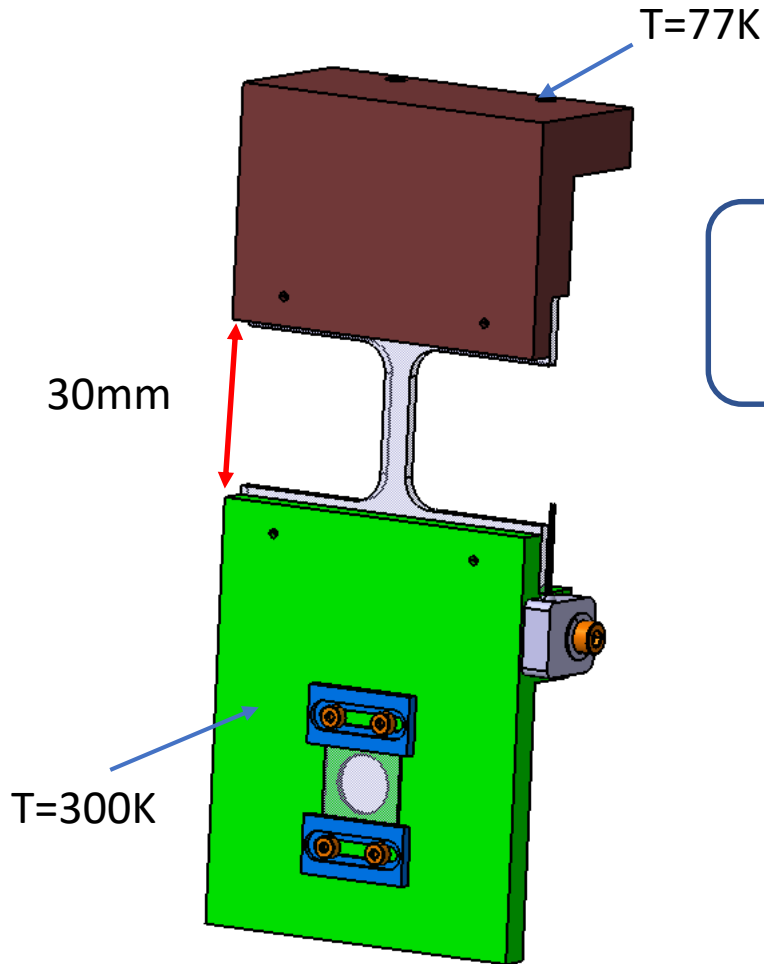
Le déroulement de la manip



Le déroulement de la manip



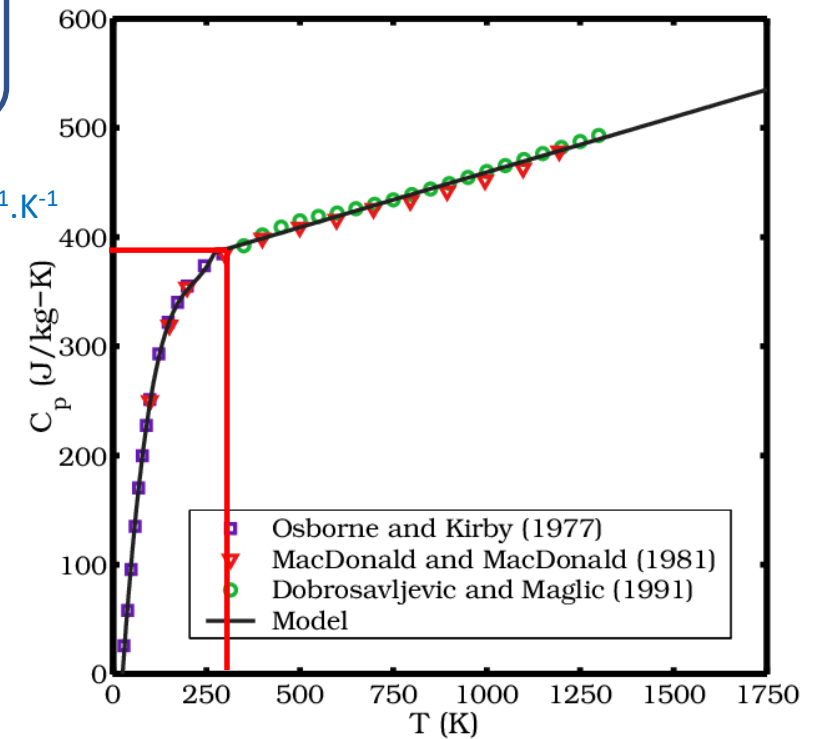
Peut-on refroidir de 300K->77K ?



Energie à évacuer pour refroidir la pièce :
 $E = 385 \times 0,2 \times (300 - 77) = 17171 \text{ Joules}$

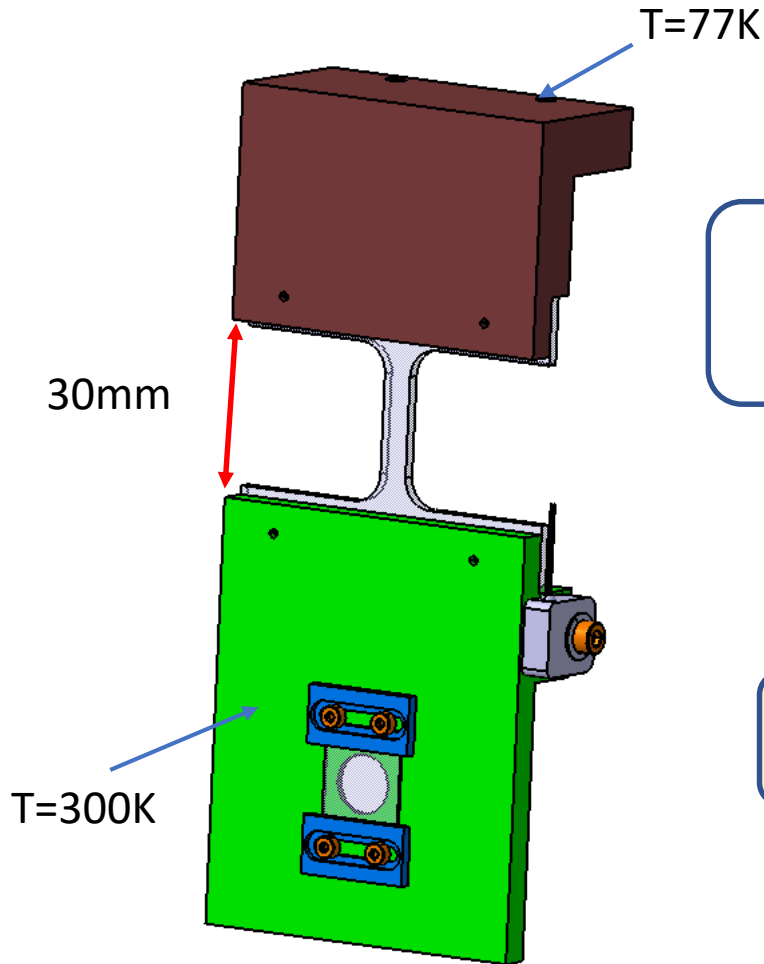
$$C_p (@300K) = 385 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

La pièce verte
matériau : cuivre doré
Surface : $0,011 \text{ m}^2$
Volume : $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
Masse : $0,206 \text{ kg}$



Capacité calorifique du cuivre vs température
Source : [arXiv:cond-mat/0512466v1](https://arxiv.org/abs/cond-mat/0512466v1)

Peut-on refroidir de 300K->77K ?



Energie à évacuer pour refroidir la pièce :
 $E = 385 \times 0,2 \times (300 - 77) = 17171 \text{ Joules}$



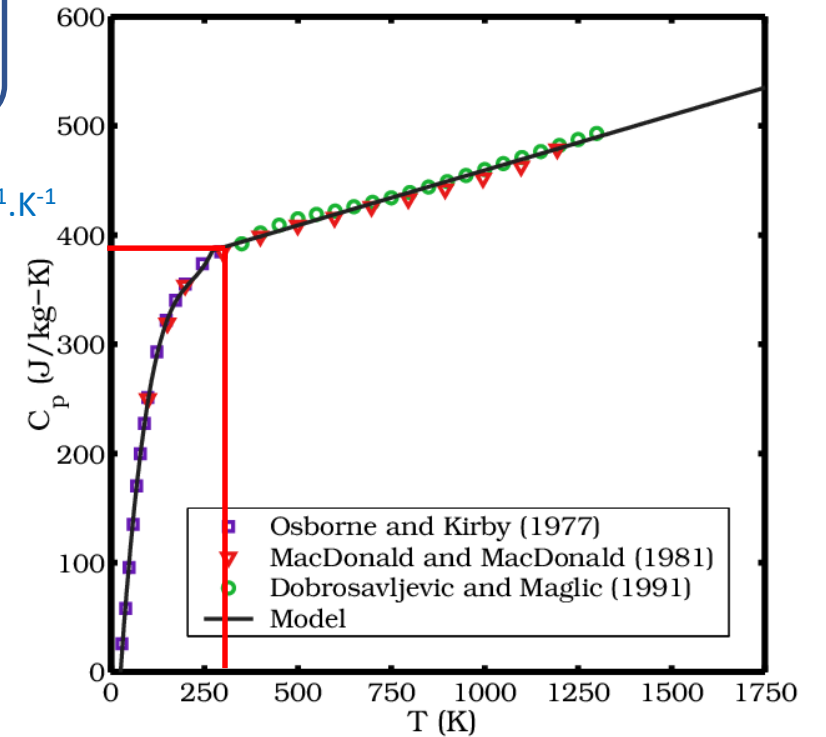
C_p (@300K) = 385 J.kg⁻¹.K⁻¹

Pour le cuivre C_p varie beaucoup en fonction de T lorsque que T diminue



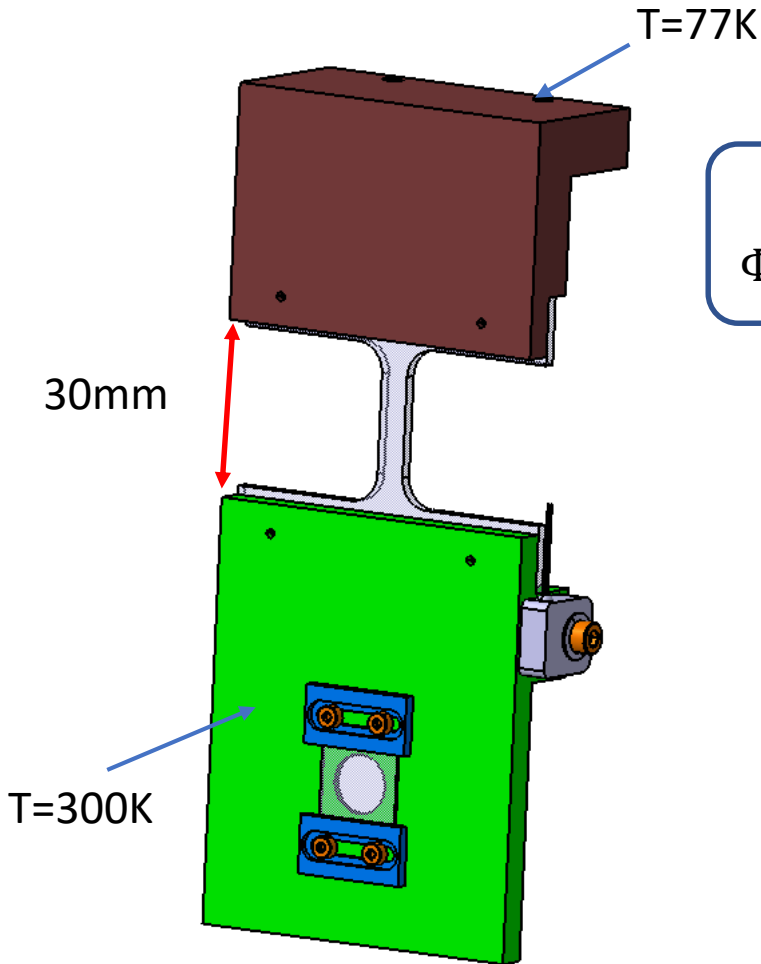
On découpe en plusieurs tronçons

La pièce verte
matériau : cuivre doré
Surface : 0,011 m²
Volume : 2,3.10⁻⁵ m³
Masse : 0,206 kg



Capacité calorifique du cuivre vs température
Source : [arXiv:cond-mat/0512466v1](https://arxiv.org/abs/cond-mat/0512466v1)

Peut-on refroidir de 300K->77K ?

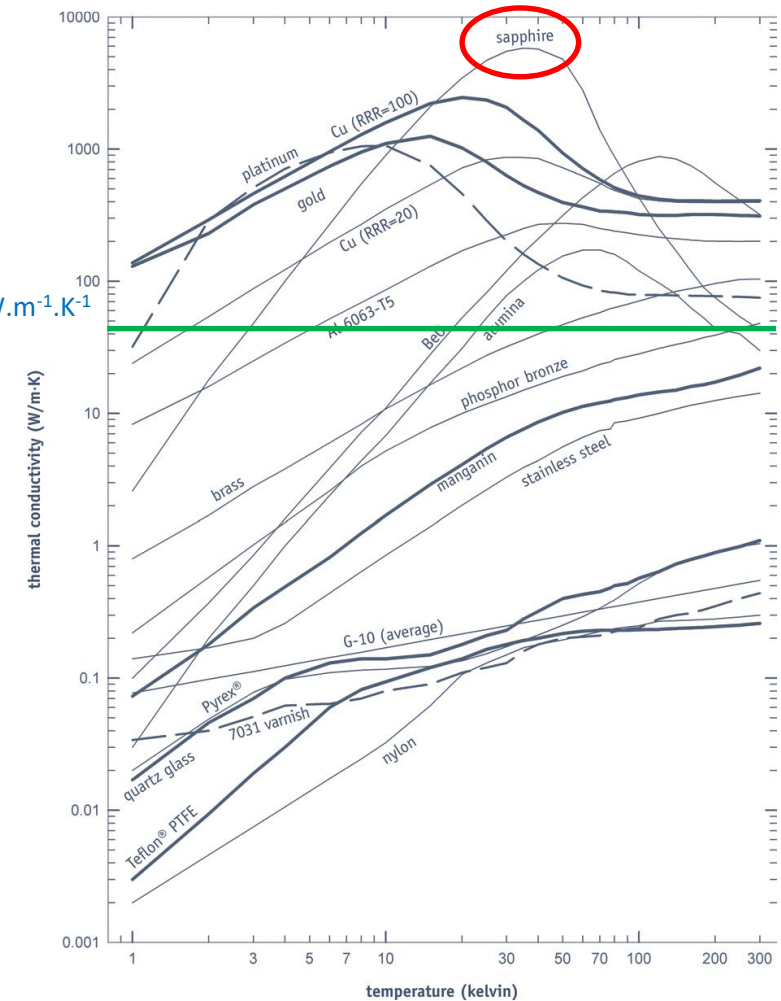


Flux thermique

$$\Phi = \frac{42 \times 0,000010}{0,03} \cdot (300 - 77) = 3,12 \text{ W}$$

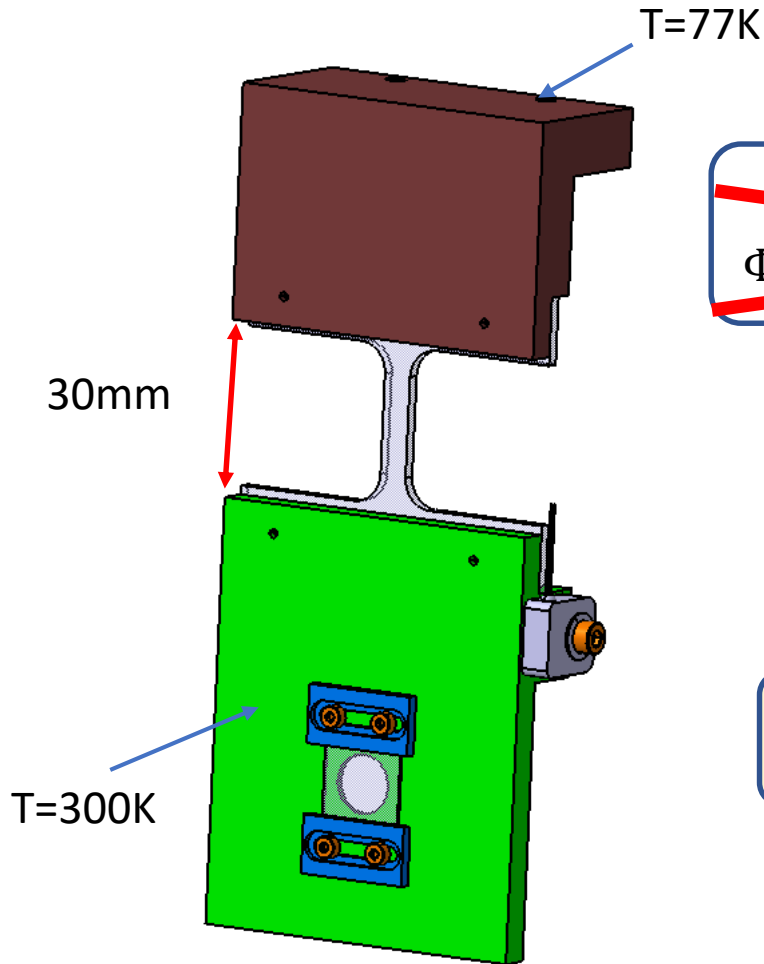
Matériau : saphir
 Section : 5x2 = 10 mm² (0,000010m²)
 Longueur : 30mm (0,03m)
 Conductivité thermique saphir (@300K) : 42 W.m⁻¹.K⁻¹

Saphir (@300K) : 42 W.m⁻¹.K⁻¹



Peut-on refroidir de 300K->77K ?

Matériau : saphir
 Section : $5 \times 2 = 10 \text{ mm}^2$ ($0,000010 \text{ m}^2$)
 Longueur : 30mm ($0,03 \text{ m}$)
 Conductivité thermique saphir (@300K) : $42 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$



Flux thermique

$$\Phi = \frac{42 \times 0,000010}{0,03} \cdot (300 - 77) = 3,12 \text{ W}$$

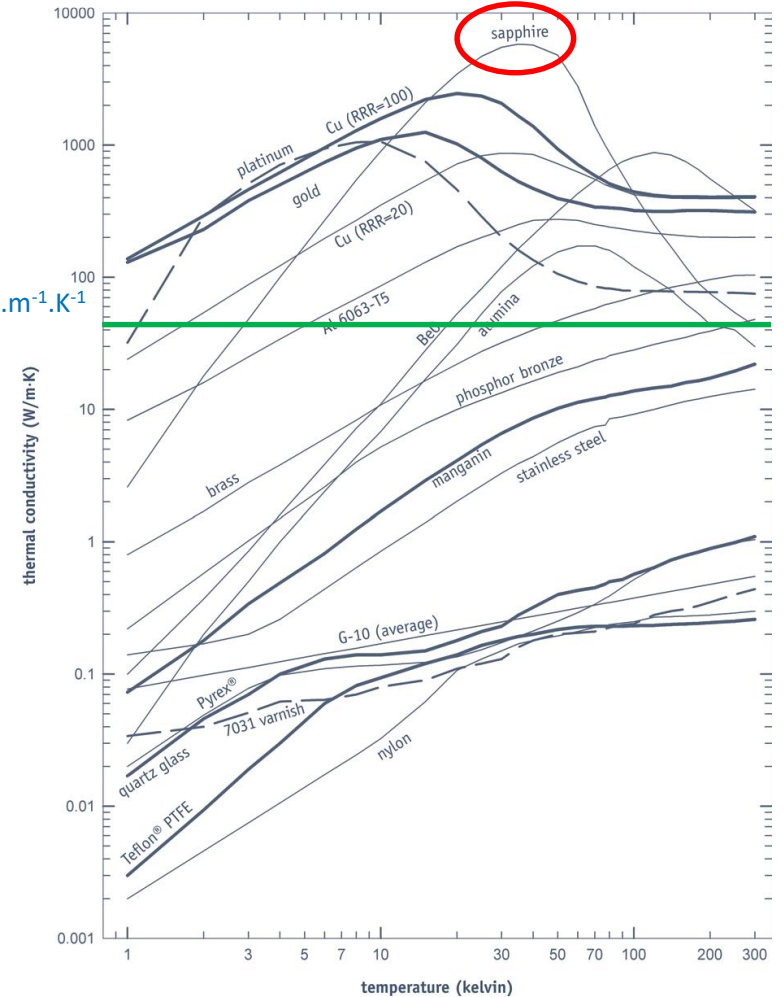


Saphir (@300K) : $42 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

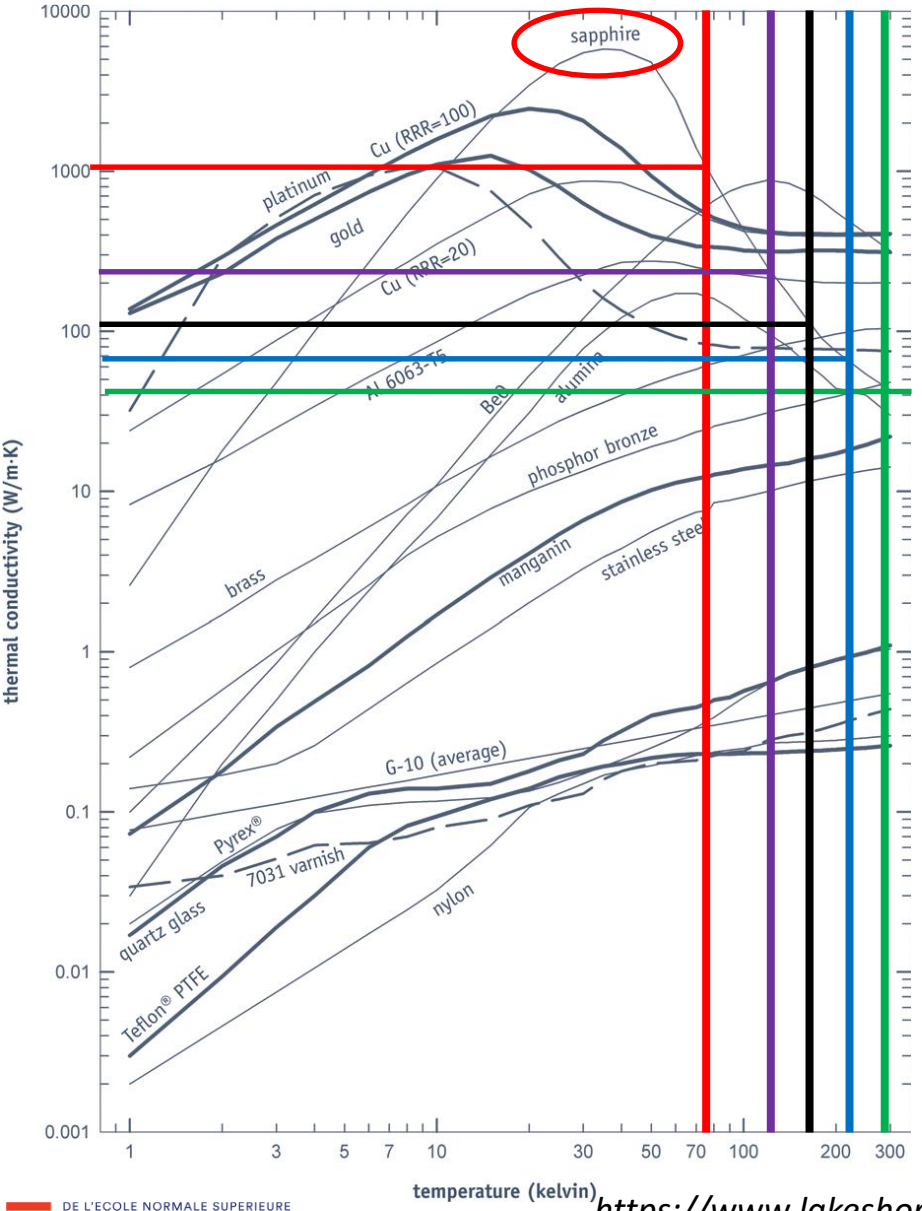
λ varie beaucoup en fonction de T lorsque que T diminue



On découpe en plusieurs tronçons



Les différents tronçons



- Saphir@80K : 1000 W.m⁻¹.K⁻¹
- Saphir@120K : 250 W.m⁻¹.K⁻¹
- Saphir@180K : 120 W.m⁻¹.K⁻¹
- Saphir@240K : 65 W.m⁻¹.K⁻¹
- Saphir@300K : 42 W.m⁻¹.K⁻¹

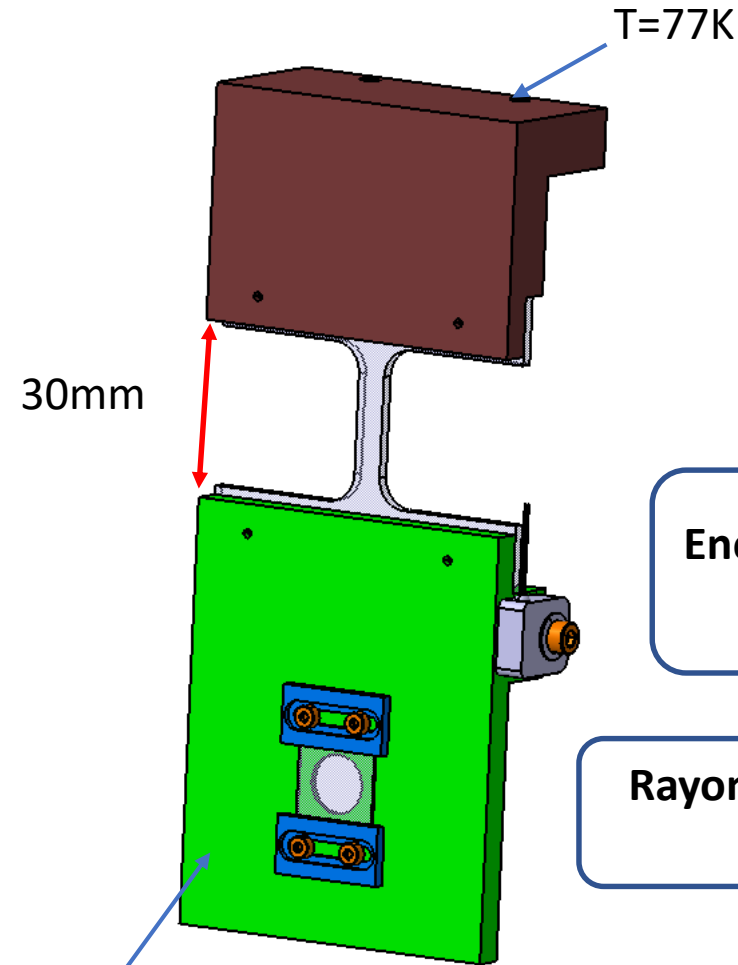
Temp. °K)	Cuivre	
	C _p (j/g °K)	H (j/g)
1	0,000 012	0,000 006
2	0,000 028	0,000 025
3	0,000 053	0,000 064
4	0,000 091	0,000 13
6	0,000 23	0,000 44
8	0,000 47	0,001 12
10	0,000 86	0,002 4
15	0,002 7	0,010 7
20	0,007 7	0,034
25	0,016	0,090
30	0,027	0,195
40	0,060	0,61
50	0,099	1,40
60	0,137	2,58
70	0,173	4,13
80	0,205	6,02
90	0,232	8,22
100	0,254	10,6
120	0,288	16,1
140	0,315	22,1
160	0,337	28,5
180	0,346	35,3
200	0,355	42,4
220	0,364	49,6
240	0,371	56,9
260	0,377	64,4
280	0,381	72,0
300	0,386	79,6

Source : éléments de cryogénie (R. R. conte)

Conductivité thermique

https://www.lakeshore.com/docs/default-source/product-downloads/literature/lstc_appendix_i.pdf

1^{er} tronçon : 300K -> 240 K



La pièce verte (cuivre doré)
Surface : 0,011 m²
Volume : 2,3.10⁻⁵ m³
Masse : 0,206 kg
capacité calorifique cuivre @300K : **386** J.kg⁻¹.K⁻¹

La pièce en saphir
Section : 5x2 = 10 mm² (0,000010m²)
Longueur : 30mm (0,03m)
Conductivité thermique saphir (@300K) : **42** W.m⁻¹.K⁻¹

Energie à évacuer pour refroidir la pièce verte :
 $E = 386 * 0,206 * (300 - 240) = 4771$ Joules

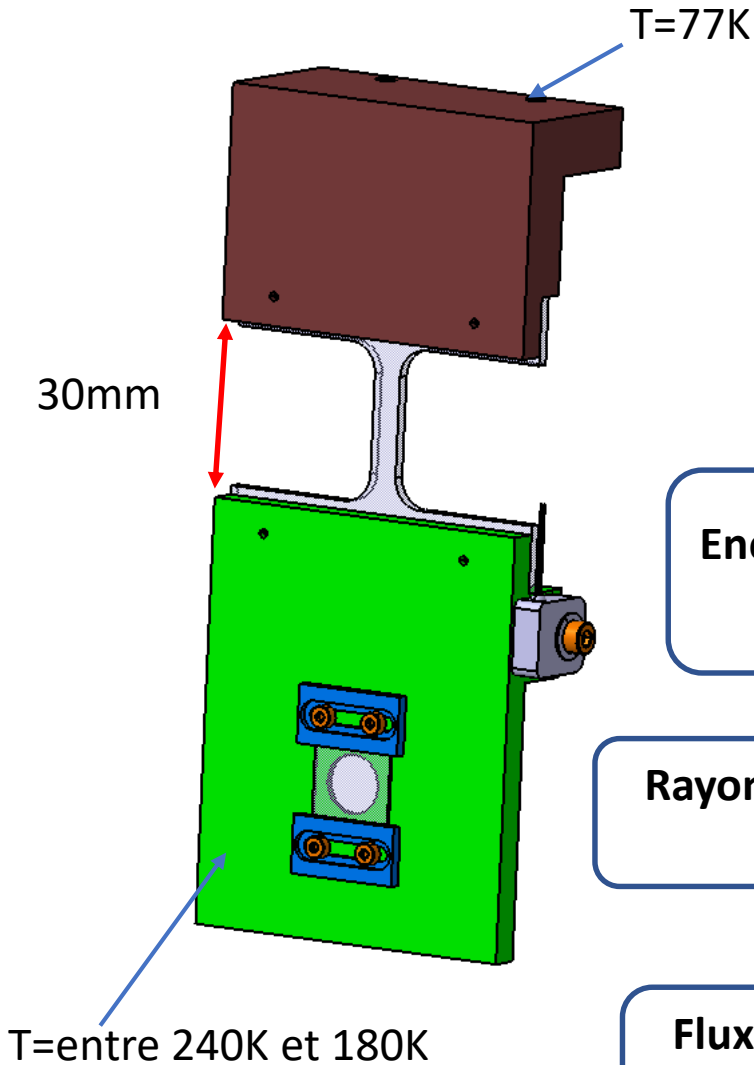
Rayonnement reçu par la pièce verte @240K :
0,06 W

Temps pour refroidir de 300K à 240 K
 $4771 / (3,12 - 0,06) = 1558$ s
soit 25min et 58s

Flux thermique à travers la pièce en saphir :
 $\Phi = \frac{42 * 0,000010}{0,03} * (300 - 77) = 3,12$ W

T=entre 300K et 240K

2^{ème} tronçon : 240K -> 180 K



La pièce verte (cuivre doré)

Surface : 0,011 m²

Volume : 2,3.10⁻⁵ m³

Masse : 0,206 kg

capacité calorifique cuivre @240K : **371** J.kg⁻¹.K⁻¹

La pièce en saphir

Section : 5x2 = 10 mm² (0,000010m²)

Longueur : 30mm (0,03m)

Conductivité thermique saphir (@240K) : **65** W.m⁻¹.K⁻¹

Energie à évacuer pour refroidir la pièce verte :

$$E = 371 * 0,206 * (240 - 180) = 4586 \text{ Joules}$$

Rayonnement reçu par la pièce verte @180K :

0,09 W

Temps pour refroidir de 240K à 180 K

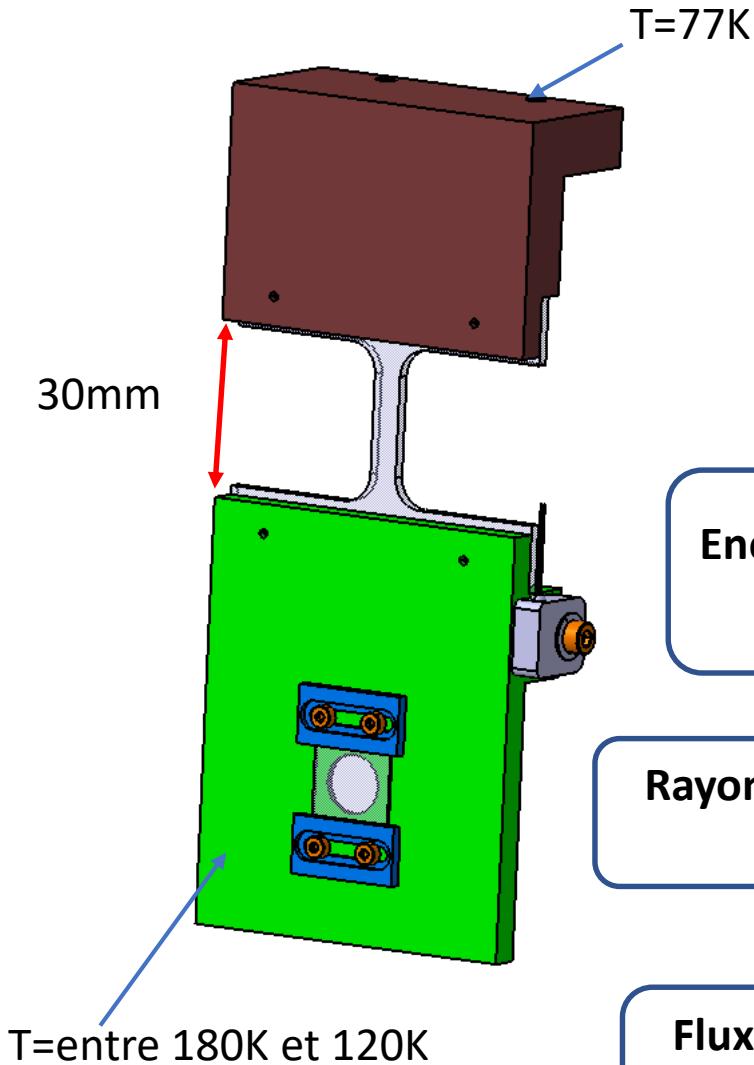
$$4586 / (3,53 - 0,09) = 1332 \text{ s}$$

soit 22min et 12s

Flux thermique à travers la pièce en saphir :

$$\Phi = \frac{65 \times 0,000010}{0,03} \cdot (240 - 77) = 3,53 \text{ W}$$

3^{ème} tronçon : 180K -> 120 K



La pièce verte (cuivre doré)
Surface : 0,011 m²
Volume : 2,3.10⁻⁵ m³
Masse : 0,206 kg
capacité calorifique cuivre @180K : **346** J.kg⁻¹.K⁻¹

La pièce en saphir
Section : 5x2 = 10 mm² (0,000010m²)
Longueur : 30mm (0,03m)
Conductivité thermique saphir (@180K) : **120** W.m⁻¹.K⁻¹

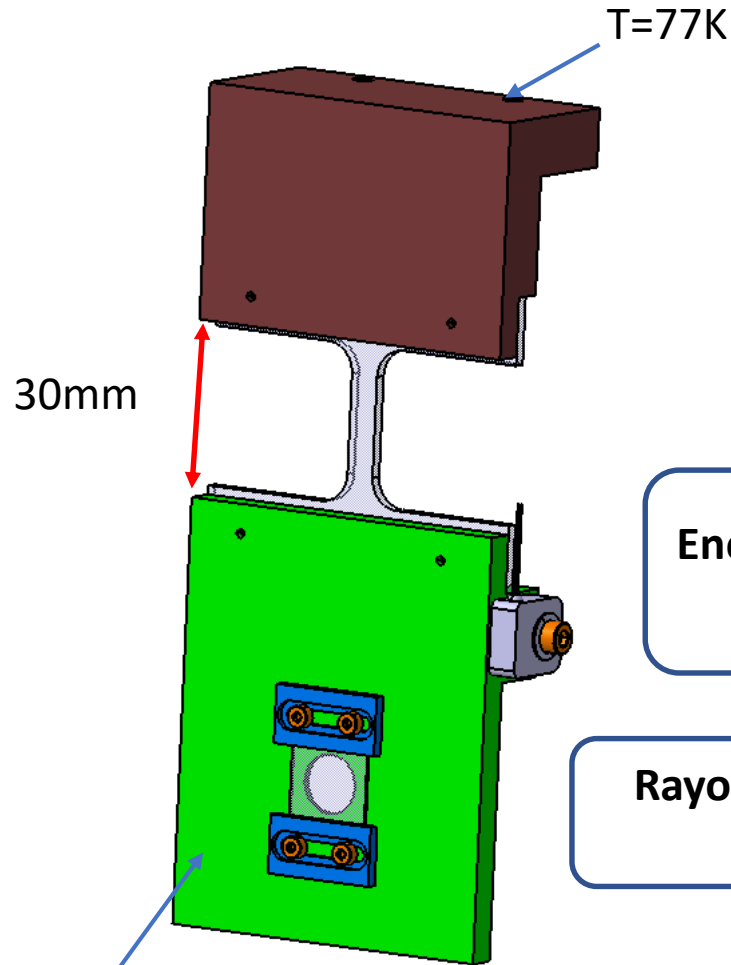
Energie à évacuer pour refroidir la pièce verte :
 $E = 346 * 0,206 * (180 - 120) = 4277$ Joules

Rayonnement reçu par la pièce verte @120K :
0,1 W

Temps pour refroidir de 180K à 120 K
 $4277 / (4,12 - 0,1) = 1064$ s
soit 17min et 44s

Flux thermique à travers la pièce en saphir :
 $\Phi = \frac{120 * 0,000010}{0,03} * (180 - 77) = 4,12$ W

4^{ème} tronçon : 120K -> 80 K



La pièce verte (cuivre doré)
Surface : 0,011 m²
Volume : 2,3.10⁻⁵ m³
Masse : 0,206 kg
capacité calorifique cuivre @120K : **288** J.kg⁻¹.K⁻¹

La pièce en saphir
Section : 5x2 = 10 mm² (0,000010m²)
Longueur : 30mm (0,03m)
Conductivité thermique saphir (@180K) : **250** W.m⁻¹.K⁻¹

Energie à évacuer pour refroidir la pièce verte :
 $E = 288 * 0,206 * (120 - 80) = 2551$ Joules

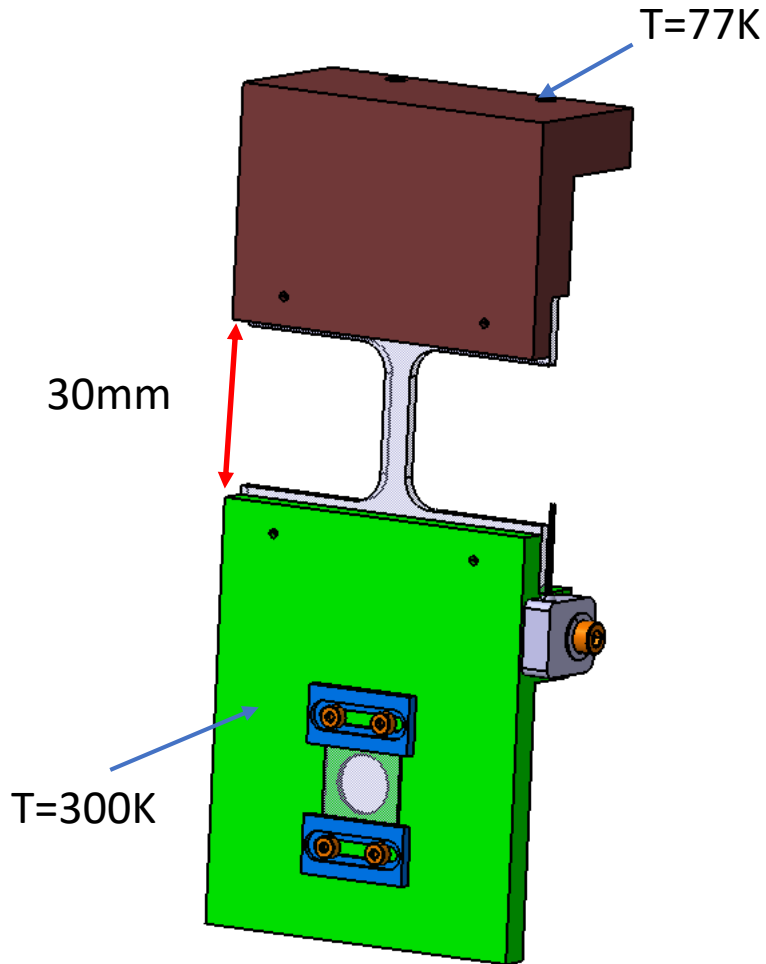
Rayonnement reçu par la pièce verte @80K :
0,11 W

Temps pour refroidir de 120K à 80 K
 $2551 / (3,58 - 0,11) = 734$ s
soit 12min et 14s

Flux thermique à travers la pièce en saphir :
 $\Phi = \frac{250 * 0,000010}{0,03} * (120 - 77) = 3,58$ W

T=entre 180K et 120K

Peut-on refroidir de 300K->77K ?



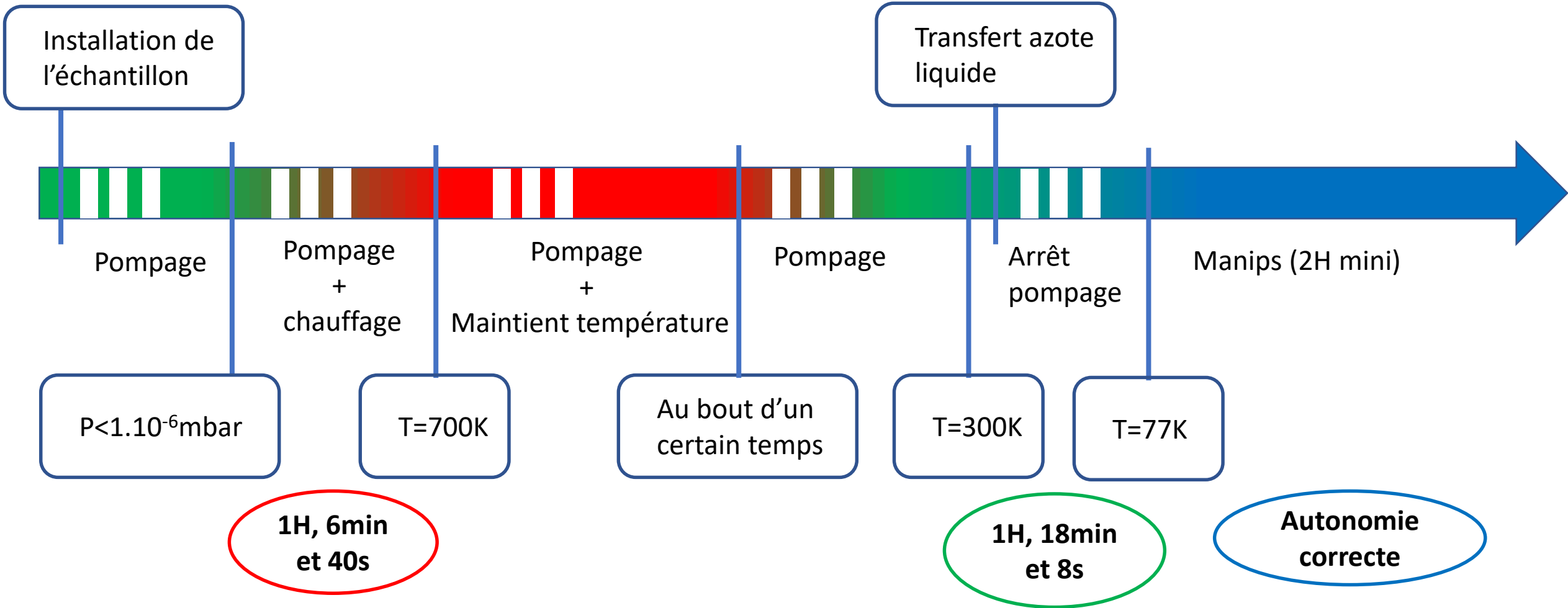
Temps pour refroidir de 300K à 80 K
1H, 18min et 8s

On va dire oui, c'est acceptable !!!

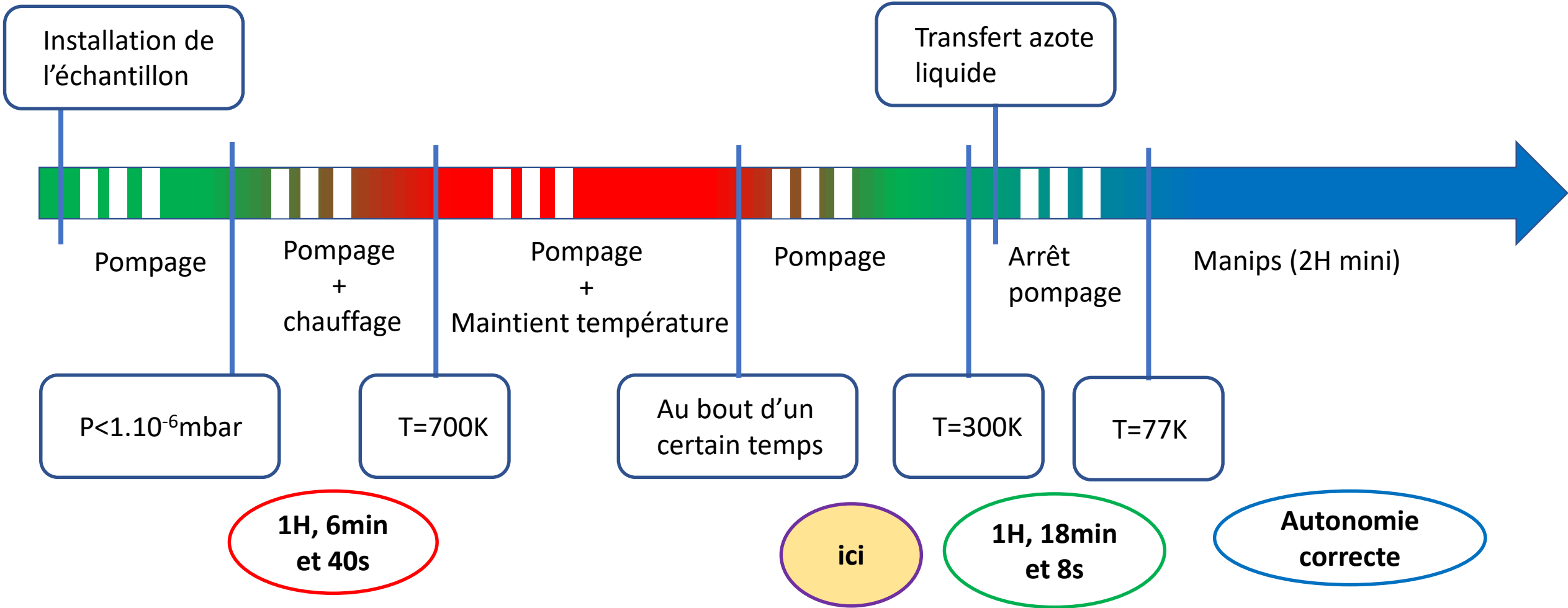


On n'a pas tenu compte de toutes les pièces,
seulement de la pièce verte

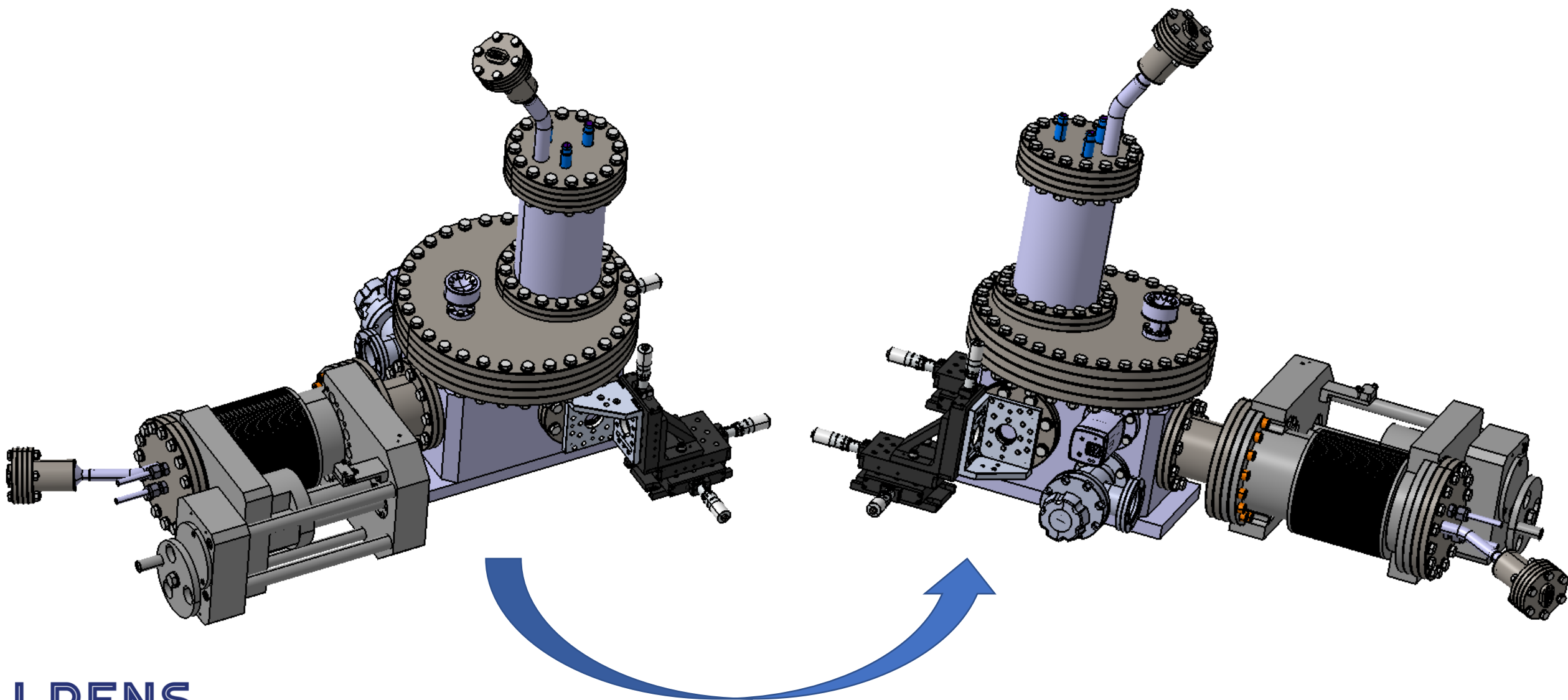
Le déroulement de la manip



Le déroulement de la manip



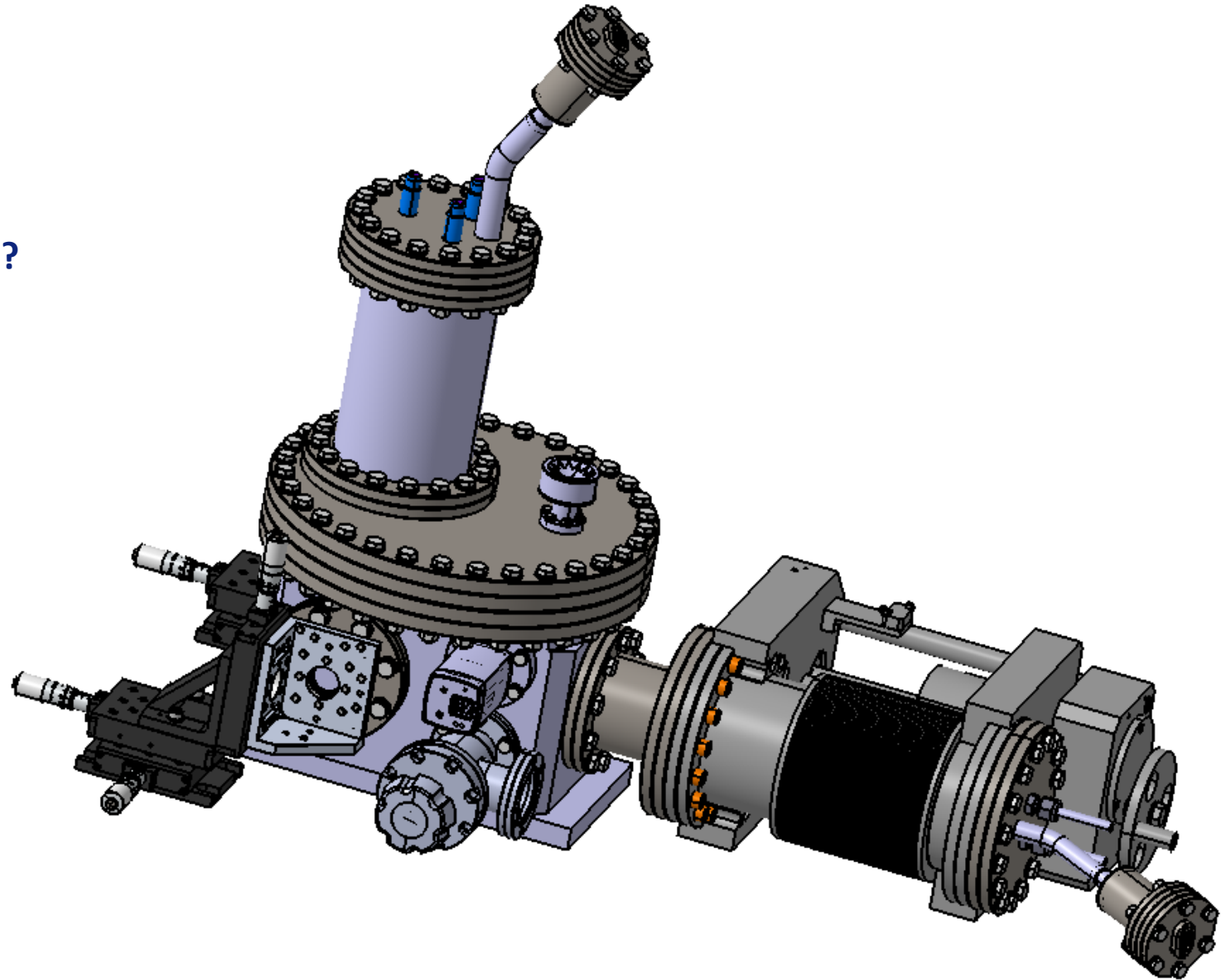
Revenons à nos moutons : Et si c'était vous ?



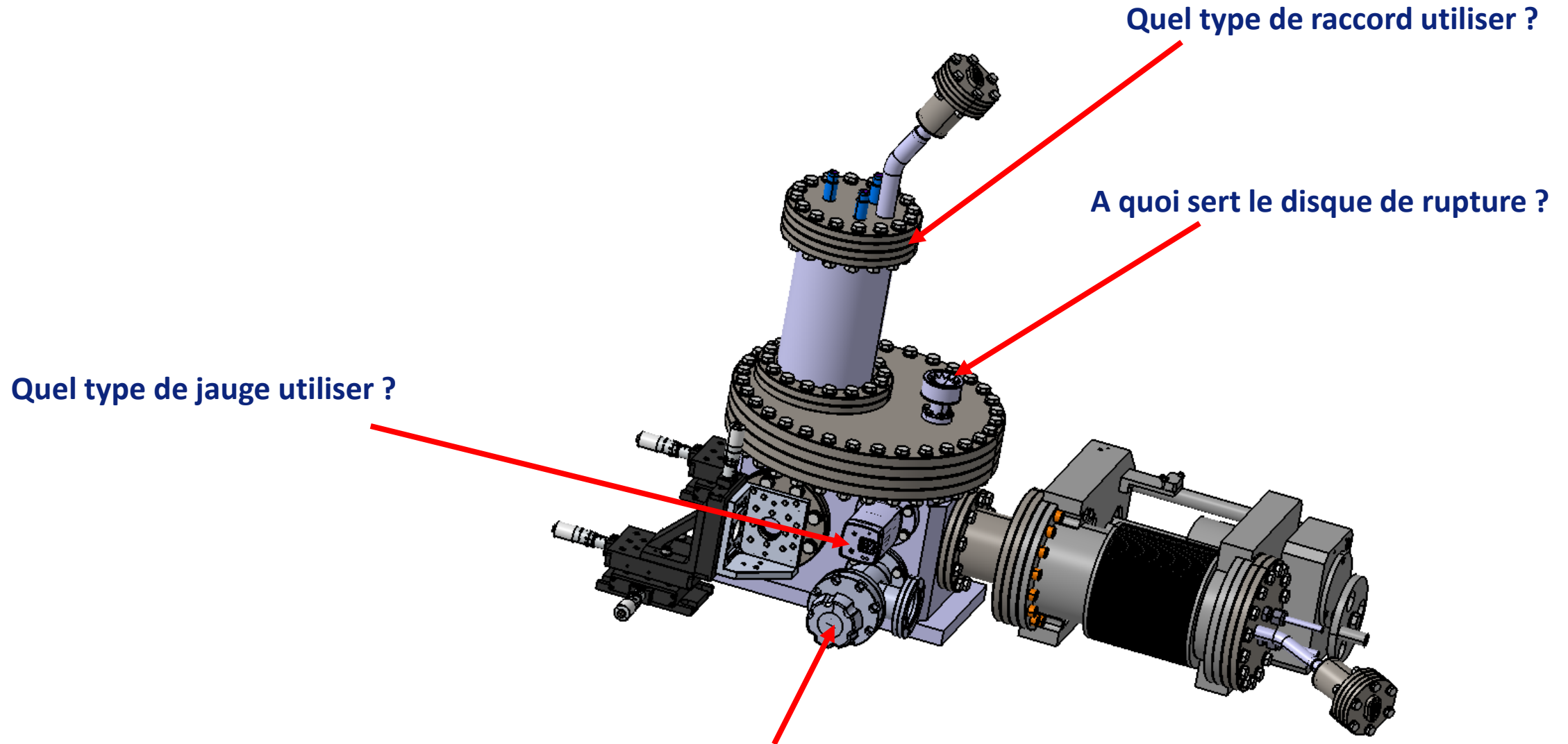
Et si c'était vous ?

Comment auriez-vous chauffé l'échantillon ?
Comment l'auriez-vous refroidi ?

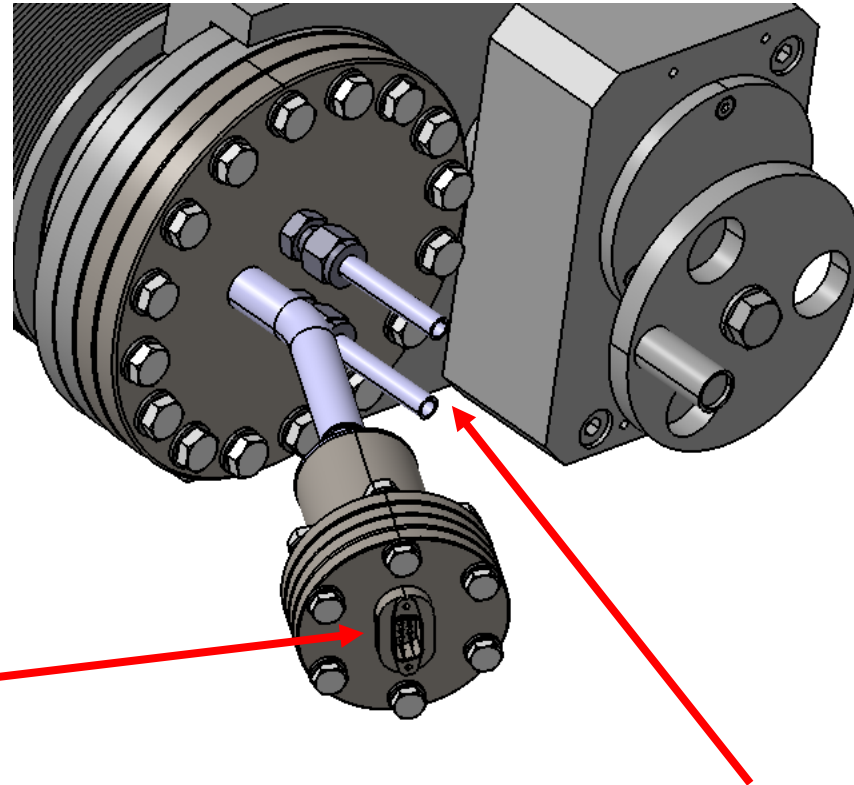
Que changeriez-vous ?



Et si c'était vous ?



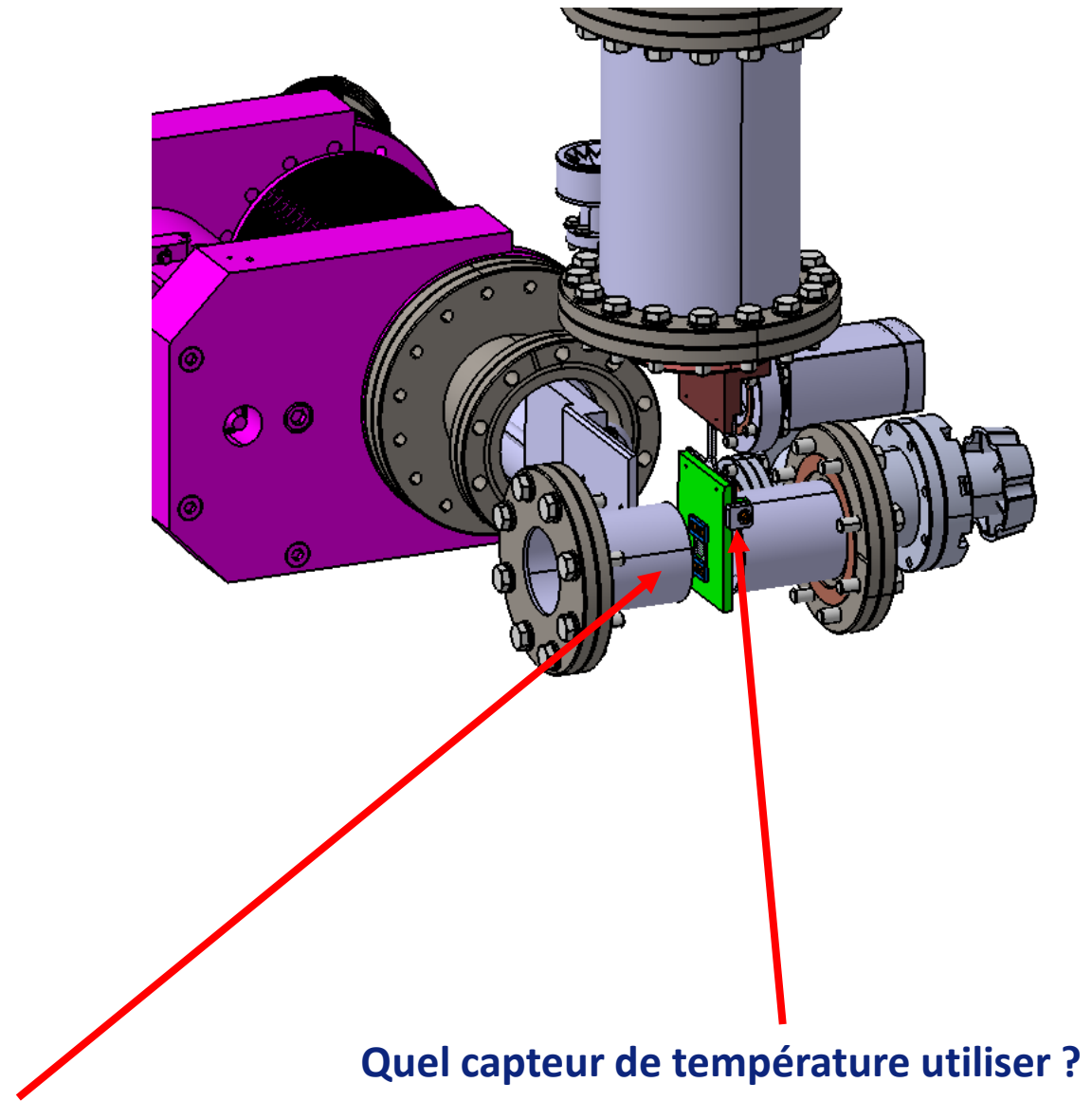
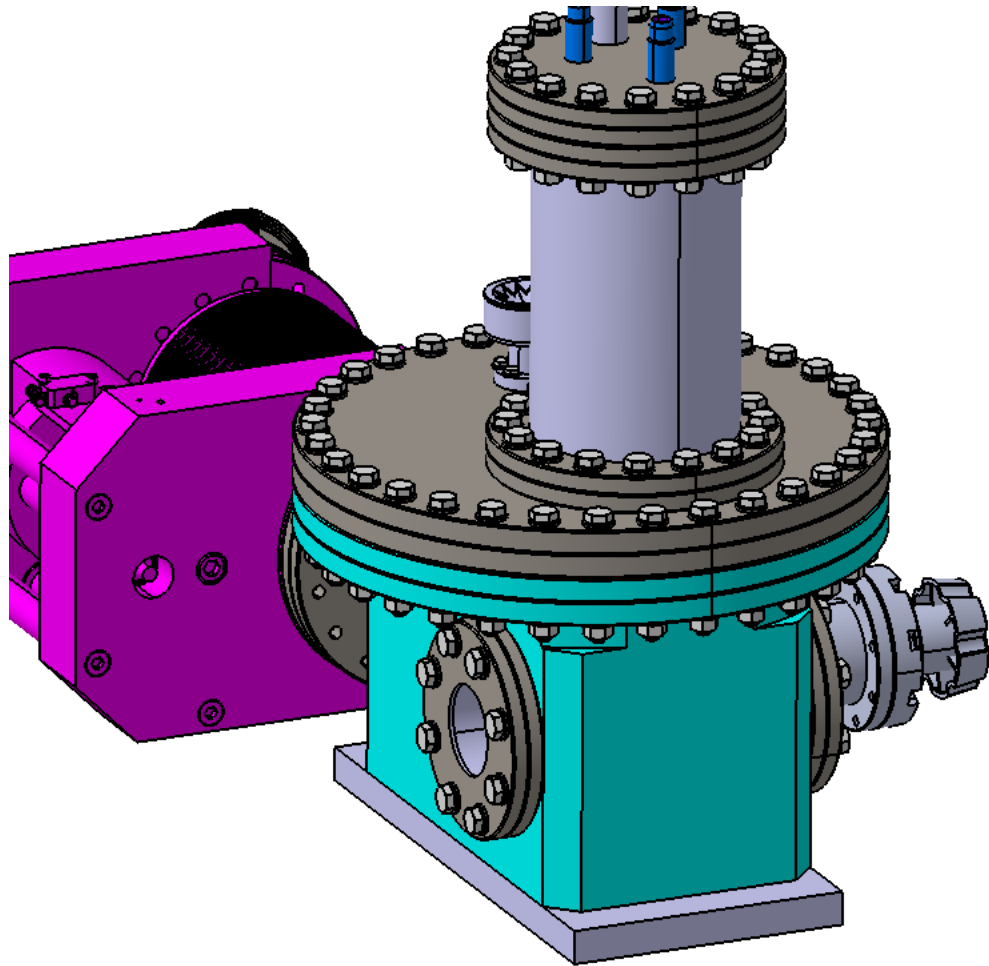
Et si c'était vous ?



Comment faire des accès électrique ?
Quels fils utiliser dans l'enceinte ?

Comment faire la circulation d'eau de refroidissement ?

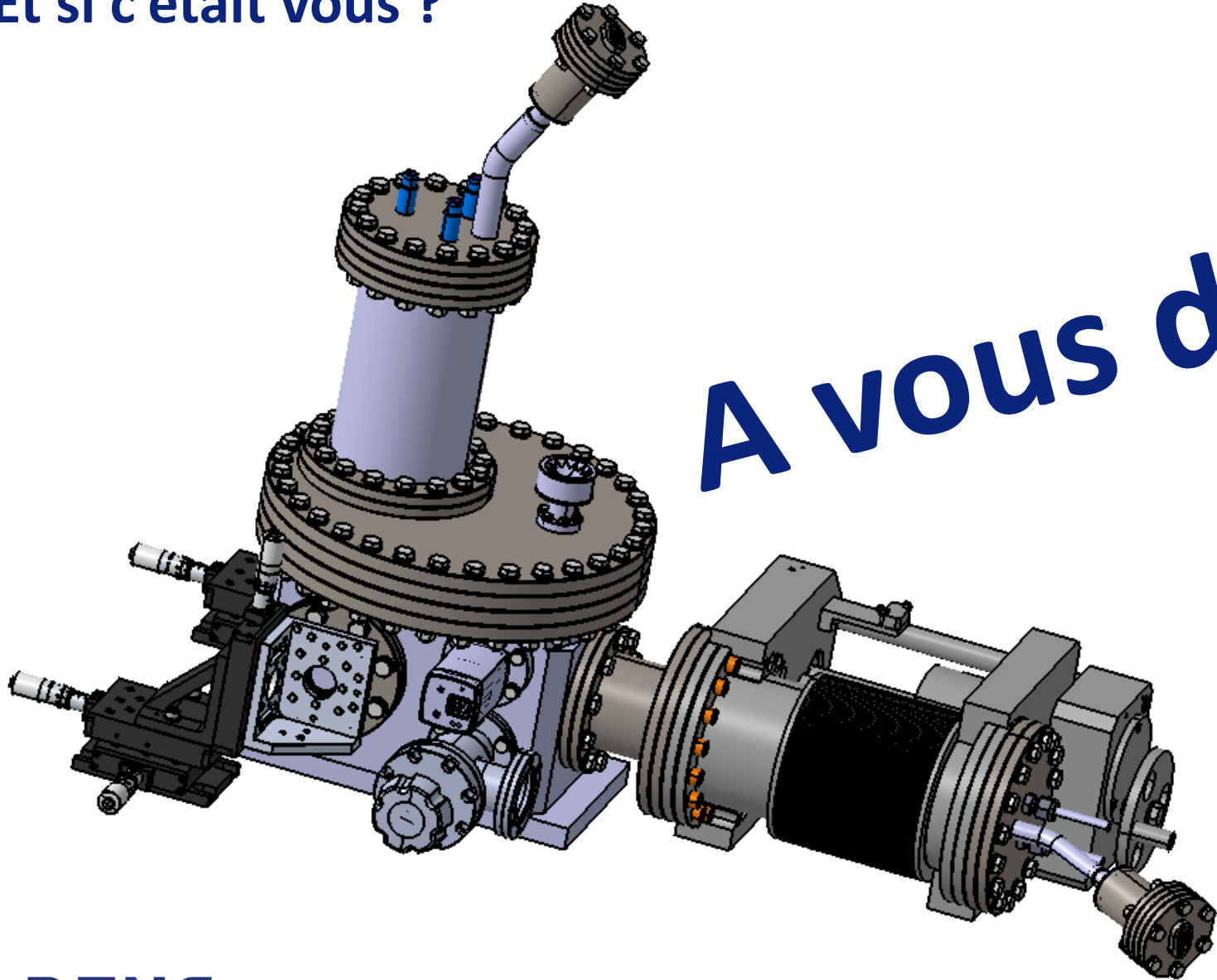
Et si c'était vous ?



Quel capteur de température utiliser ?

Pour les accès optique, comment fixer les fenêtres ?
Expérience de collage pour le vide ?

Et si c'était vous ?



A vous de jouer !!!

Et merci !!!