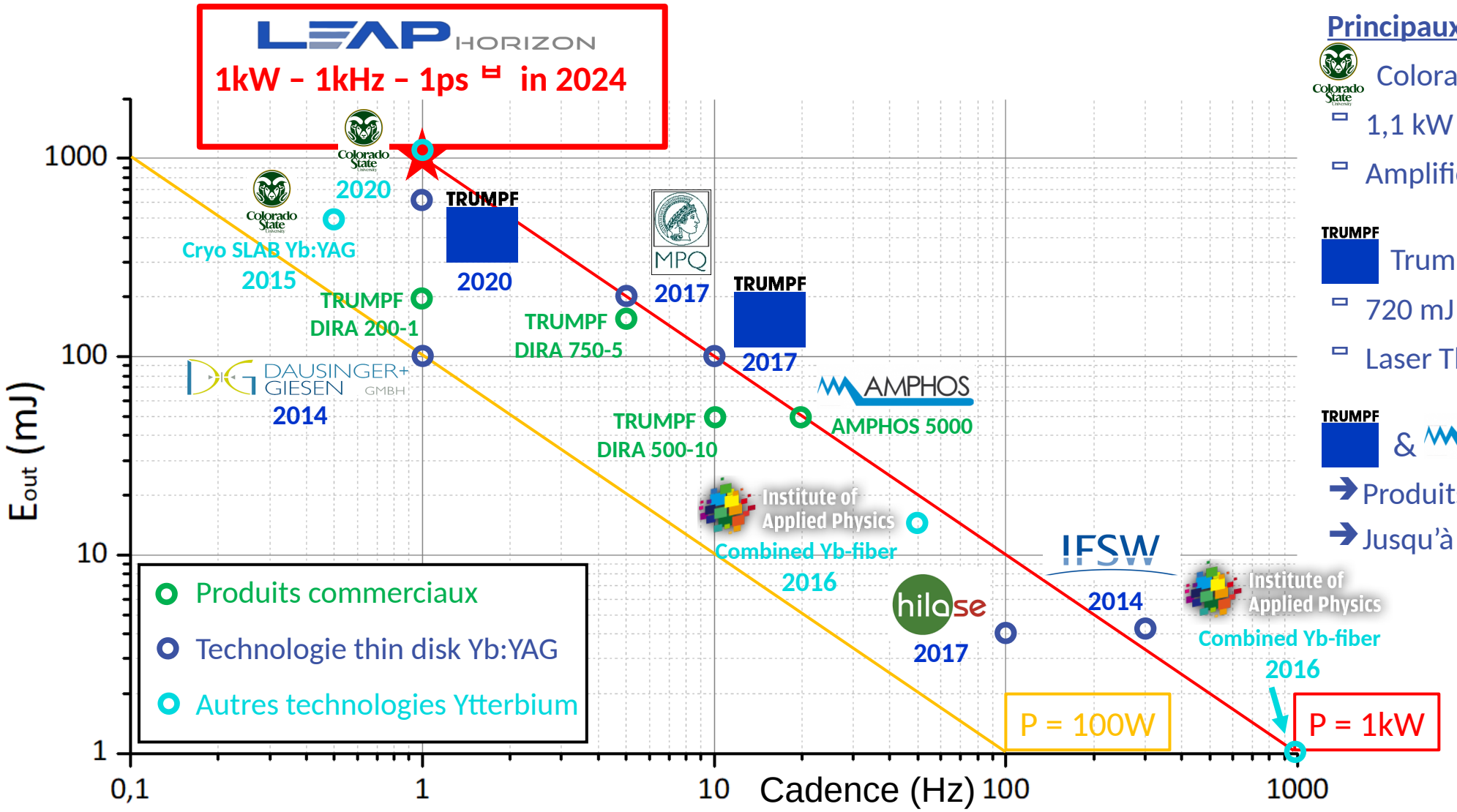
LEAP / HORIZON : nouvelles technologies pour les lasers d'interaction au kilowatt

Ph. Balcou, J Lhermite, C.Féral, D. Marion, A. Rohm, D. Descamps,
S. Petit, M.C. Nadeau, E. Mével

Etat de l'art en 2022



Principaux résultats :

Colorado state university

- 1,1 kW – 1kHz – 4,5ps
- Amplificateur cryogénique Yb-YAG

TRUMPF

Trumpf scientific

- 720 mJ - 1kHz - 1ps
- Laser Thin disk

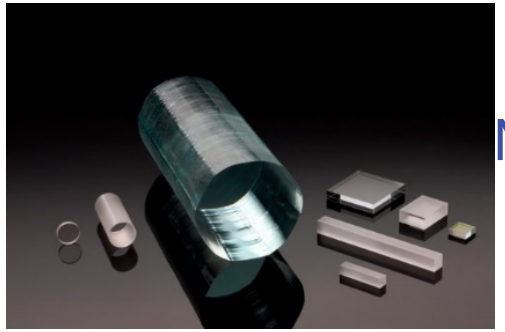
TRUMPF & AMPHOS

➔ Produits commerciaux sur le marché

➔ Jusqu'à 200mJ – 1kHz – 1ps

Développements basés sur un même matériau: l'Yb YAG

Pourquoi utiliser l'Yb-YAG ?



Cristaux Yb:YAG

Principal avantage

Matériau mature pour le développement de laser haute énergie

- Cristaux de grande taille disponible commercialement

Problématiques à gérer

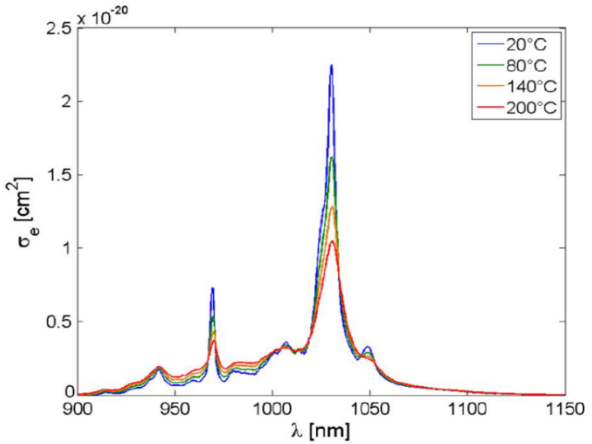
Forte fluence de saturation (9 J/cm² @20°C) + Faible seuil de dommage (4-5 J/ cm²)

- Utilisation proche du seuil de dommage pour assurer une amplification efficace

Faible largeur de la bande d'amplification (1 à 2 nm)

- Challenge d'atteindre des durées d'impulsion proche d'1ps

Forte dépendance à la thermique de l'efficacité d'amplification

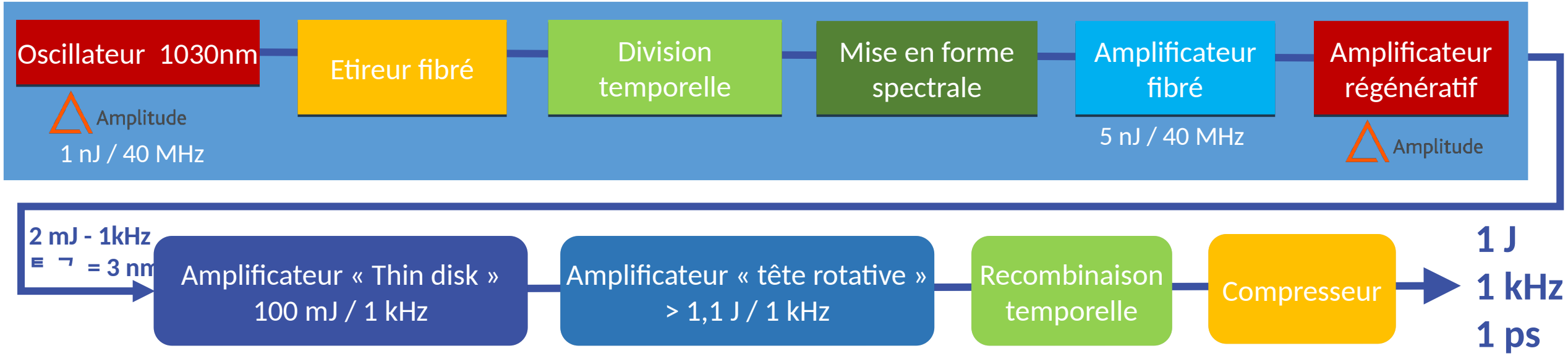


Section efficace d'émission de l'Yb:YAG en function de la température

CHALLENGE d'atteindre le kW – kHz – ps

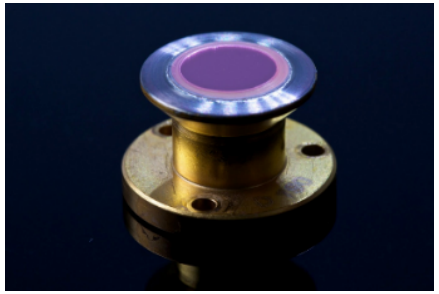
=> GESTION THERMIQUE

Synoptique HORIZON : Architecture CPA



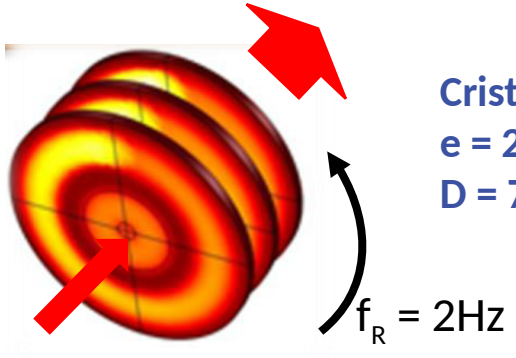
3 technologies d'amplification HP

1) Disque mince (ampli D&G)



Disque mince Yb:YAG de 200µm

2) Multi-disques rotatifs



Cristaux Yb:YAG
e = 2 mm
D = 70mm

3) Refroidissement facial par nivellement d'indice

Objectif:

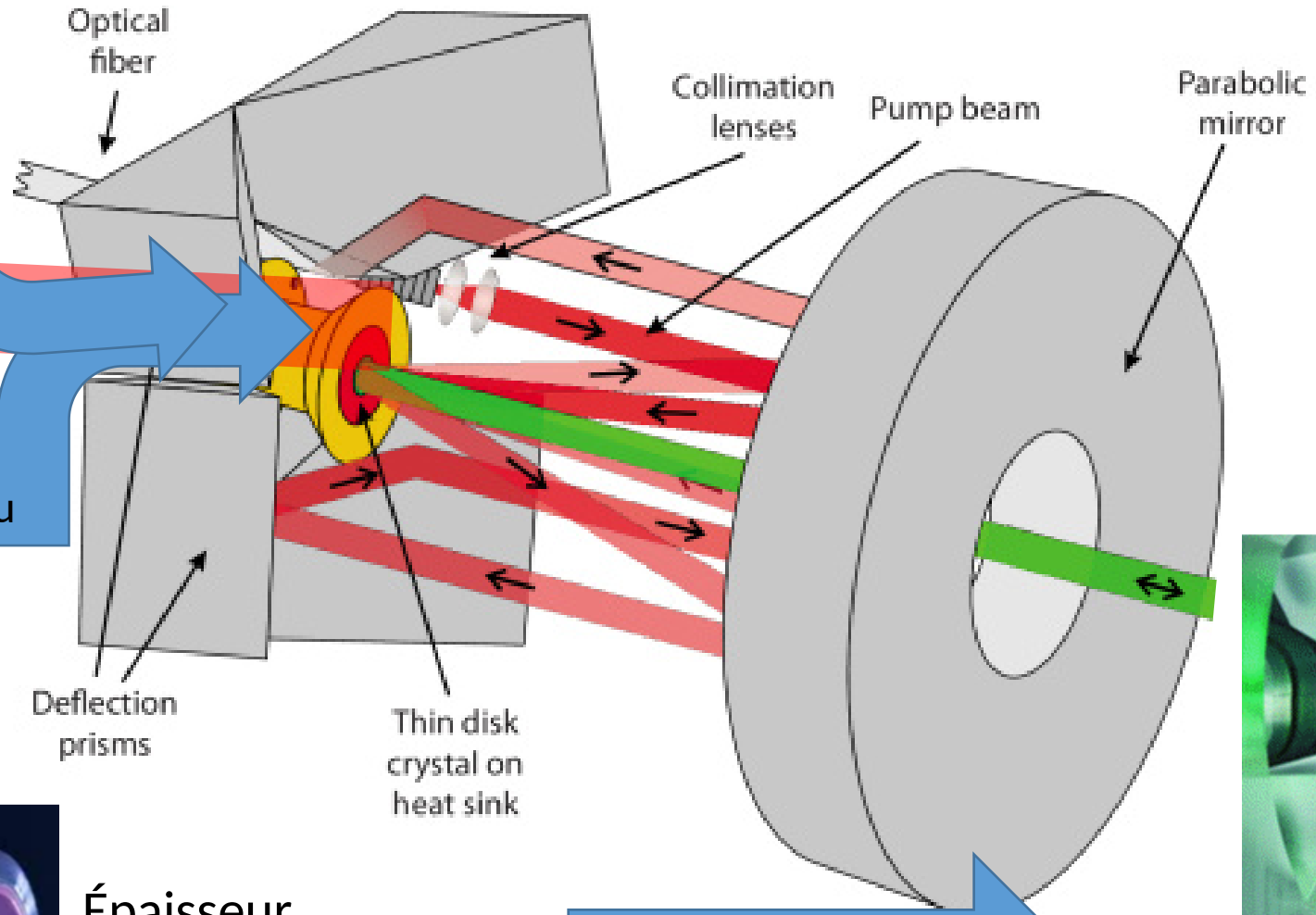
100 W – 1 ps @ 1 kHz

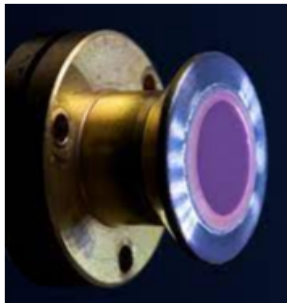
Disques minces (thins disks)

Refroidissement actif par l'arrière

Flux de chaleur

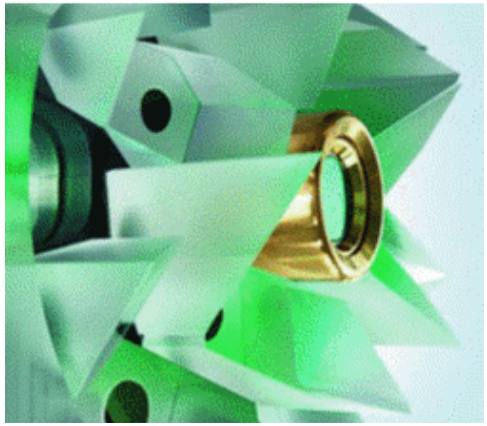
Circulation d'eau





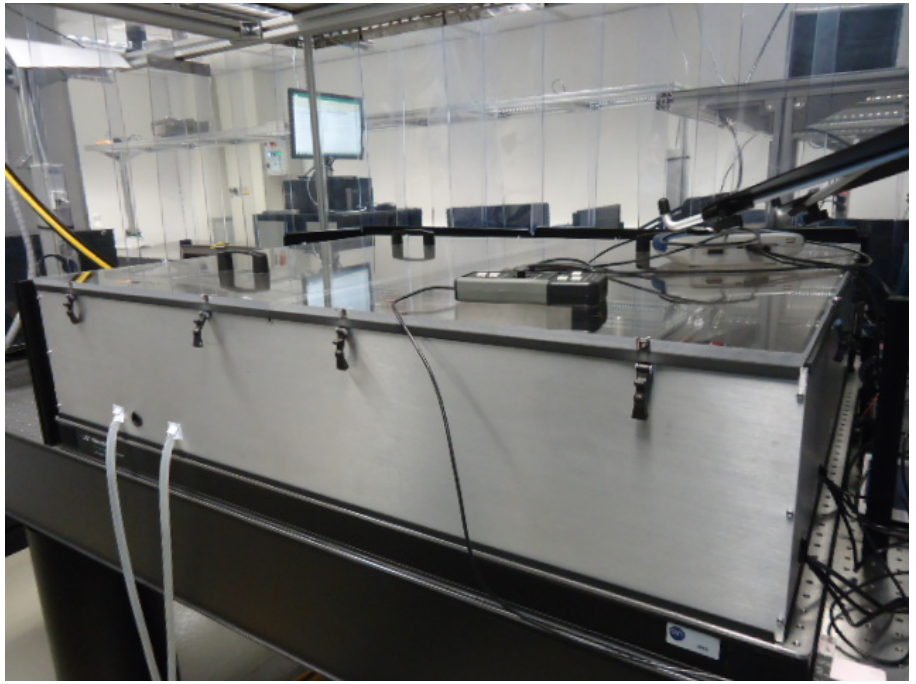
Épaisseur 200 µm

Recyclage de la pompe non absorbée



20 à 40 passages de pompe sur le disque

Cavités disques minces régénératives 1kHz



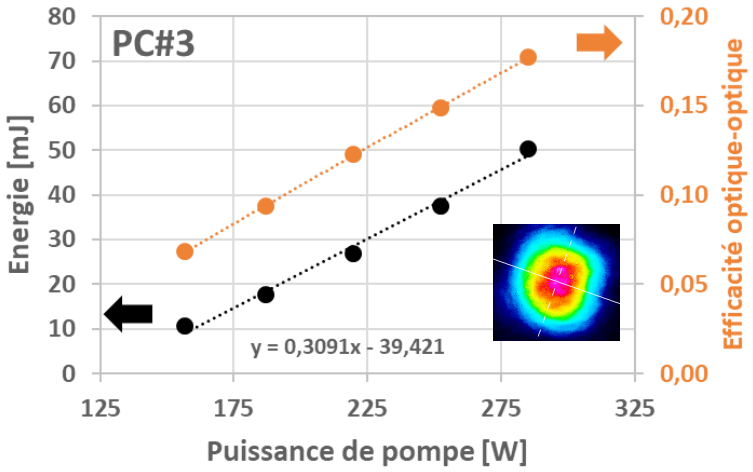
Objectif: 100 W @ 1 kHz

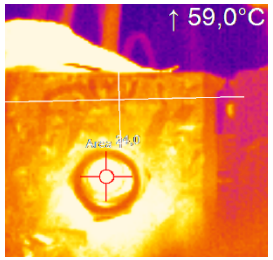
Pompage « Zero phonon line » @ 969 nm

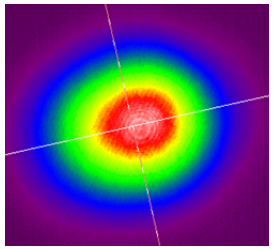
Diminution de la chaleur sur disque

Cavité à grand mode (4 mm, L=5m)

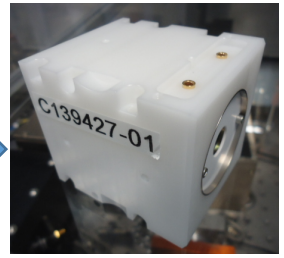
- 250 W CW en mode fondamental
- 50 mJ, 1 kHz <1 ps



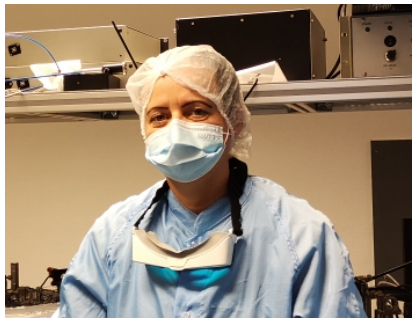




Etape suivante



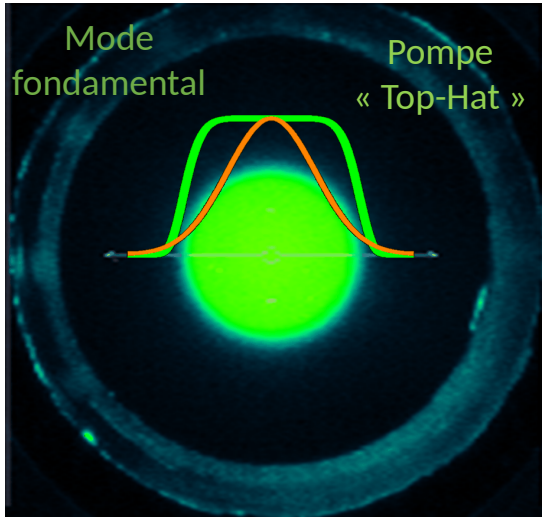
Refroidissement Cellule Pockels



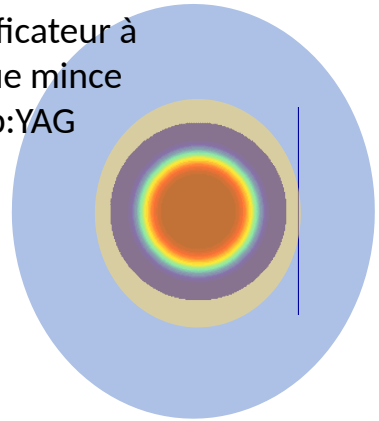
CDD IR CNRS 2017-2021
Dr Marie-Christine Nadeau

Cavités disques minces à mode plat

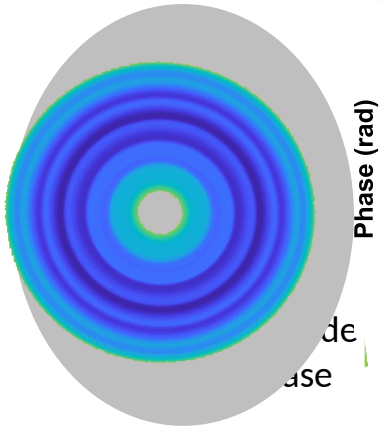
Objectif: Augmenter le recouvrement entre pompage et mode de cavité

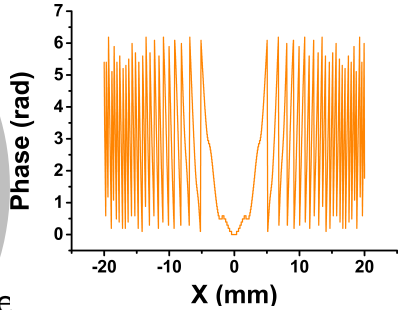


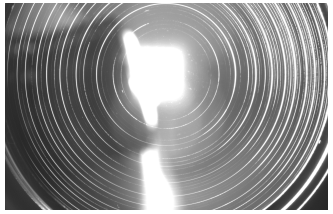
Amplificateur à disque mince Yb:YAG

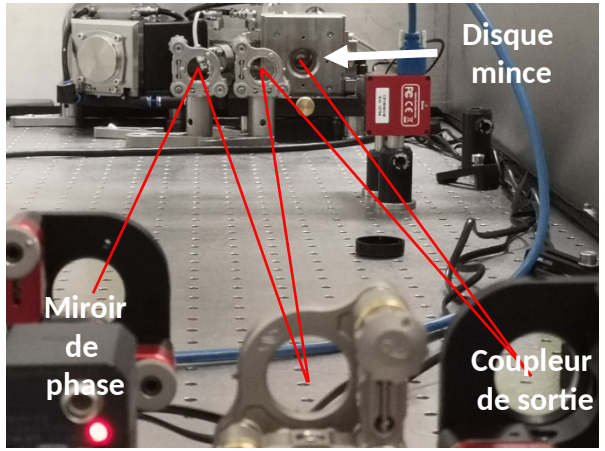


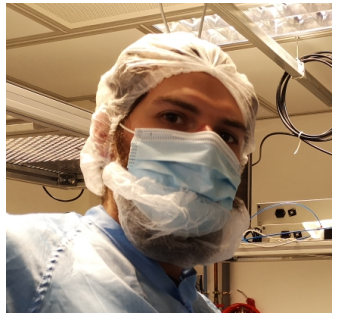
Design des miroirs de phase



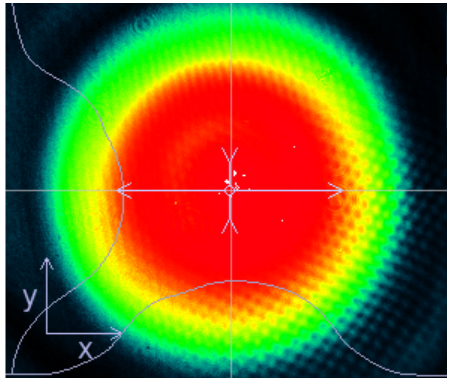








Doctorant UB
Vincent Fortin



Profil amplifié sur disque

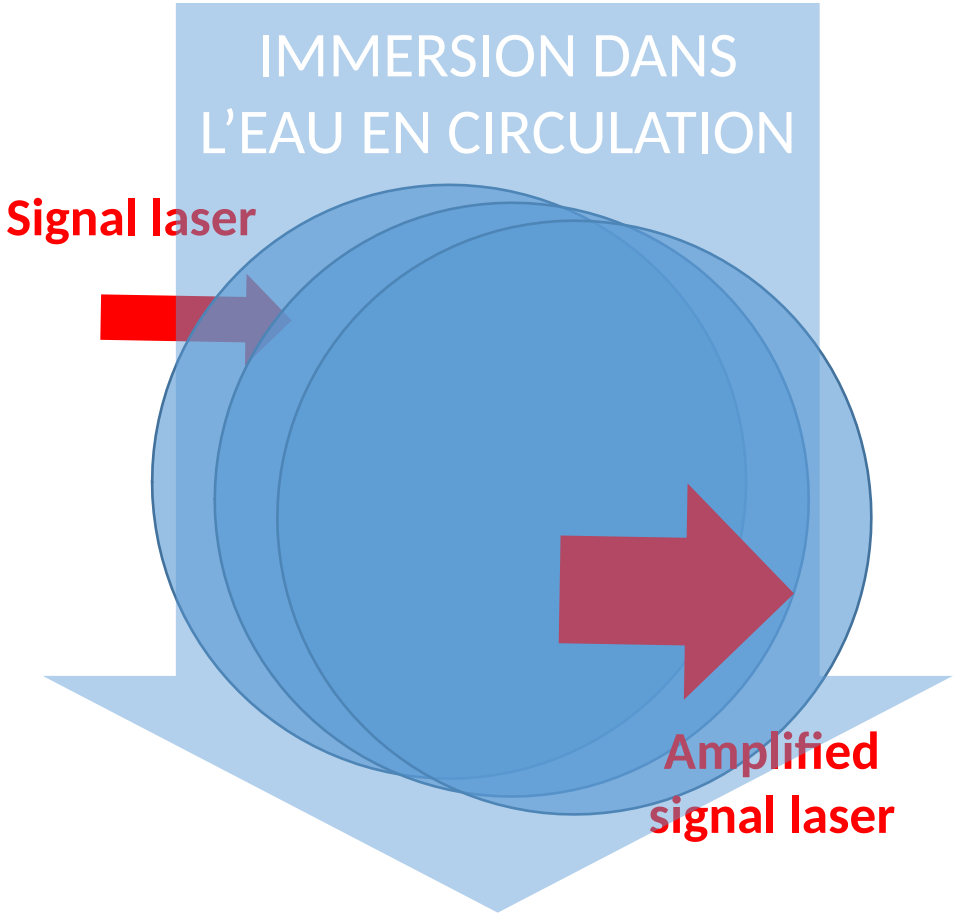
Ampli kW : disques tournants

Nouvelle approche de la gestion thermique dans les amplificateur laser

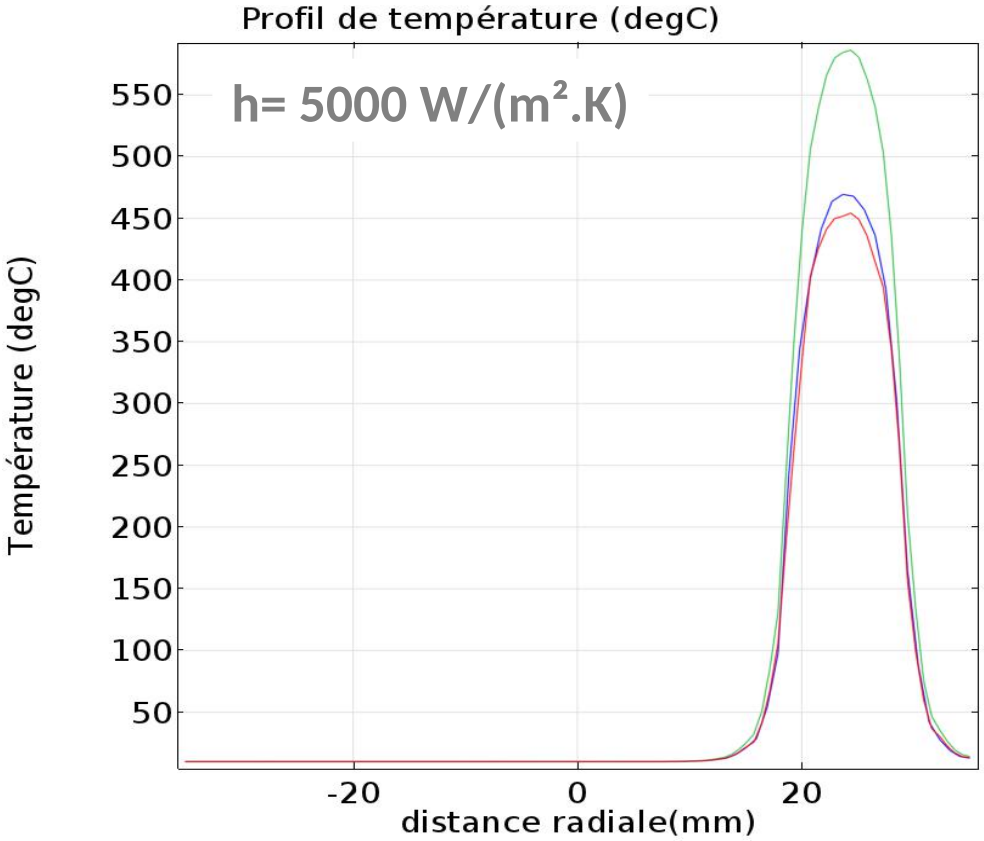
- **Développement de la technologie des disques tournants**

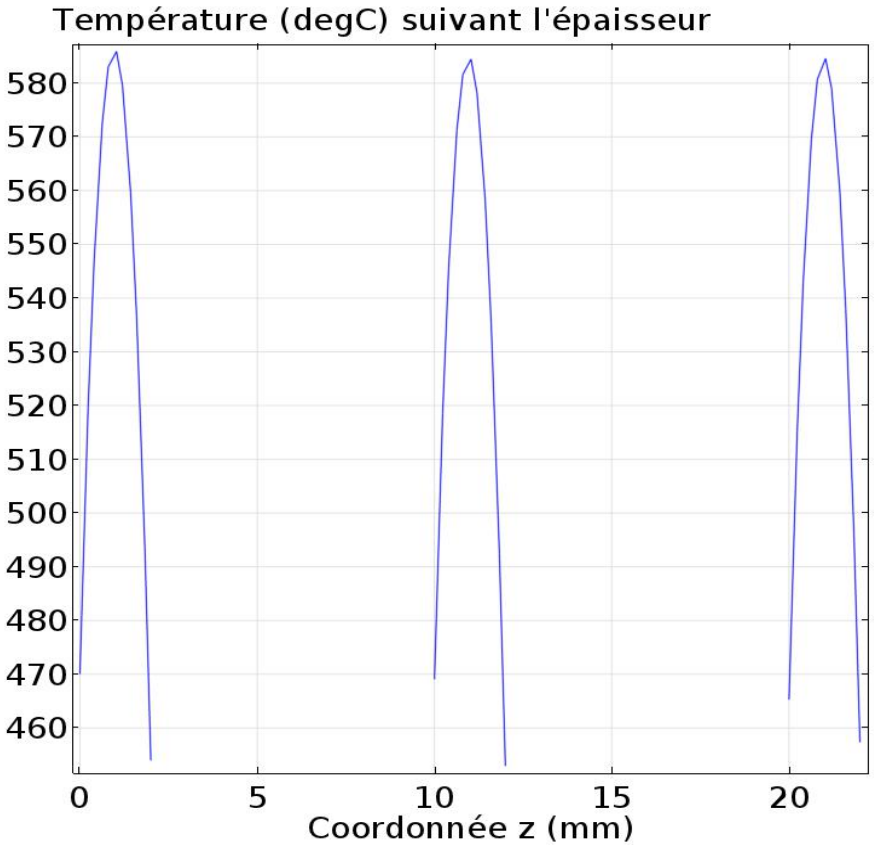
Postulat de départ pour notre architecture :

- Utilisation de cristaux Yb:YAG de d=70mm et e=2mm
- 3 disques cascadés pour répartir la chaleur
- Immersion dans de l'eau circulante
- Espacement entre les disque de 500µm
- Le signal laser traverse l'ensemble



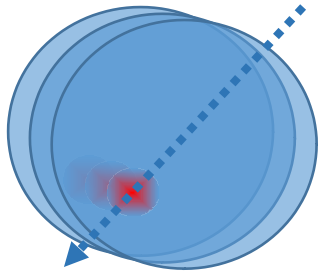
Simulations thermiques



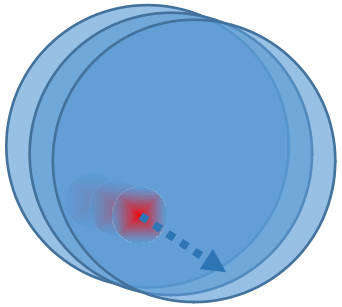


Paramètres de simulation:

Densité de pompage: 16kW/cm²
Diamètre pompe: 10mm
Diamètre signal: 8mm

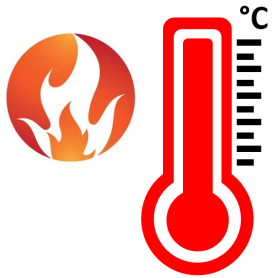


Coupe radiale



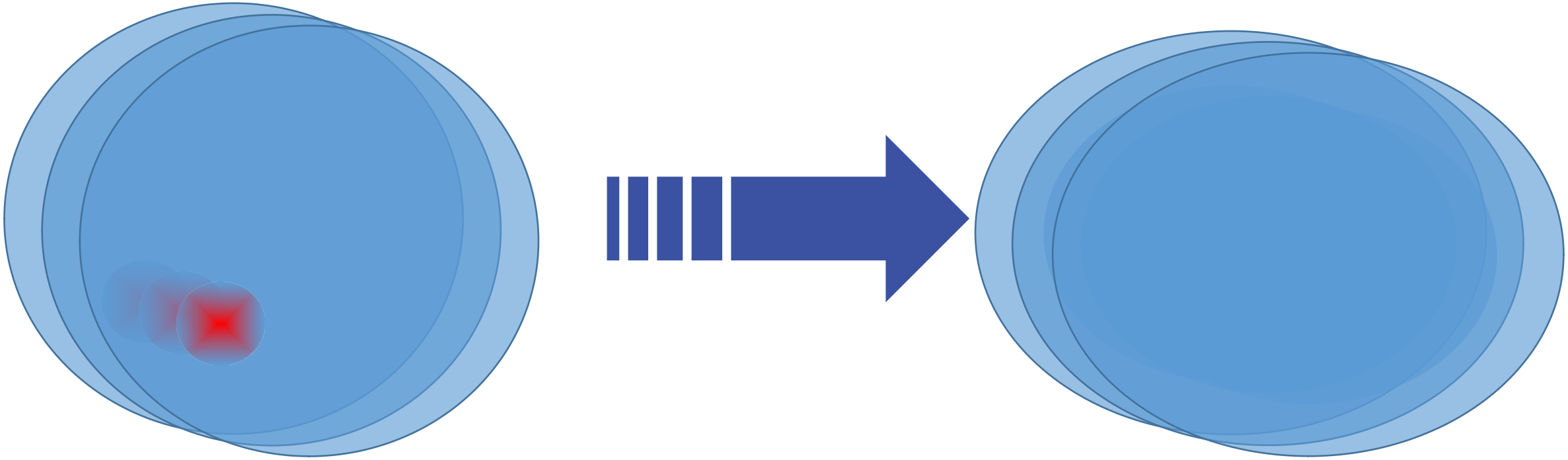
Coupe longitudinale

T max = 585 °C



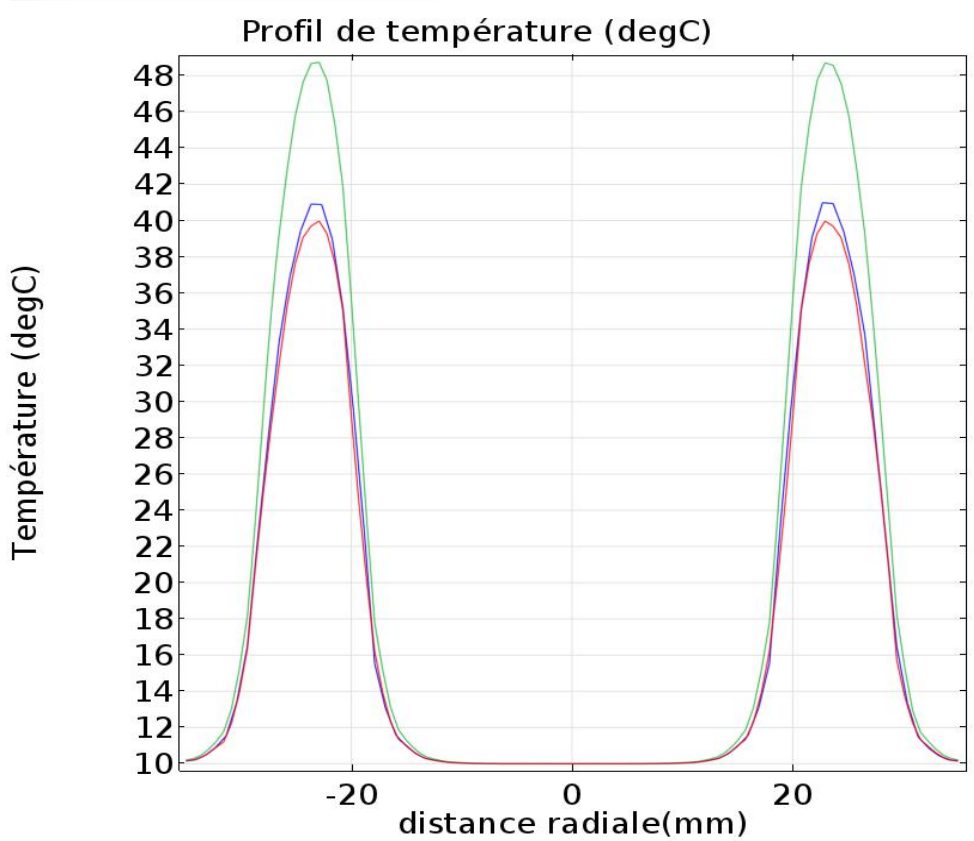
Comment améliorer la dissipation de la chaleur ?

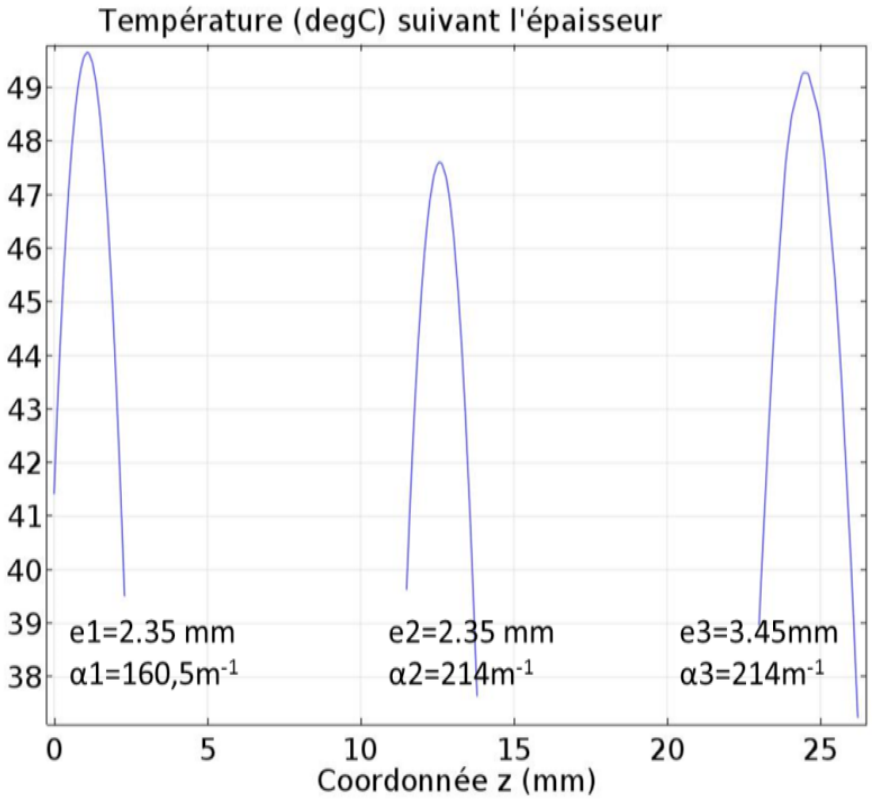
Mise en rotation des disques



- Etalement de la charge thermique sur un anneau

Simulations thermiques : **Avec rotation**

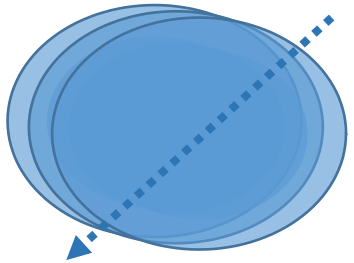




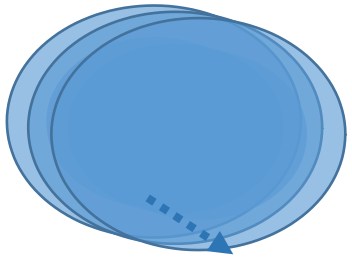
Paramètres de simulation:

Densité de pompage: 16kW/cm²
Diamètre pompe: 10mm
Diamètre signal: 8mm

Disks in ROTATION
- **F = 2Hz**

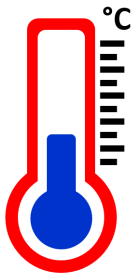


Coupe radiale



Coupe longitudinale

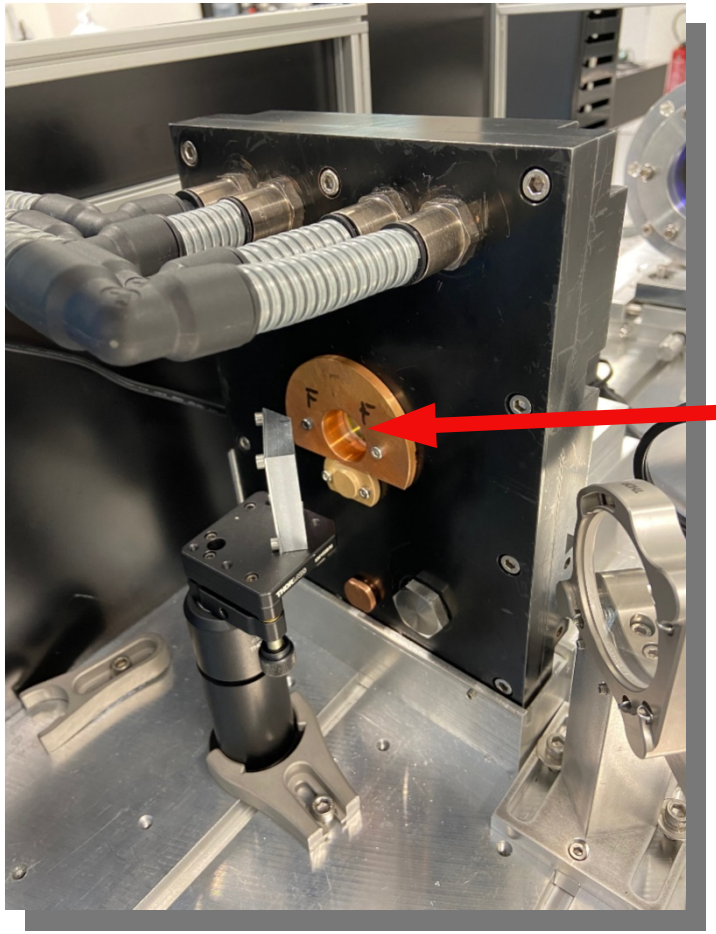
T max = 49 °C



La tête rotative

Sorties d'eau

Entrées d'eau



Signal laser

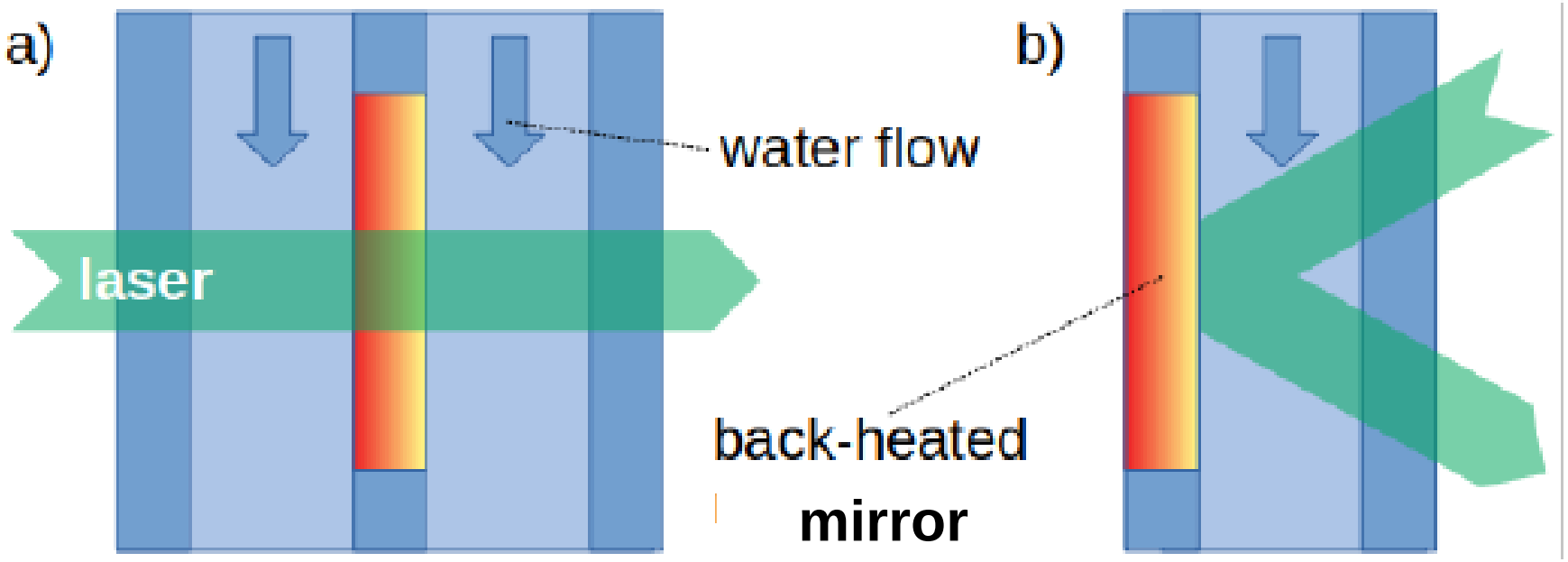
Brevet : INPI N°1860215

2018-11-06 (CNRS – Univ Bordeaux – CEA)

Auteurs : C. Féral (CEA), J. Brandam (CNRS), J. Lhermite (CNRS), D. Marion (CEA)

Refroidissement facial par nivellement d'indice

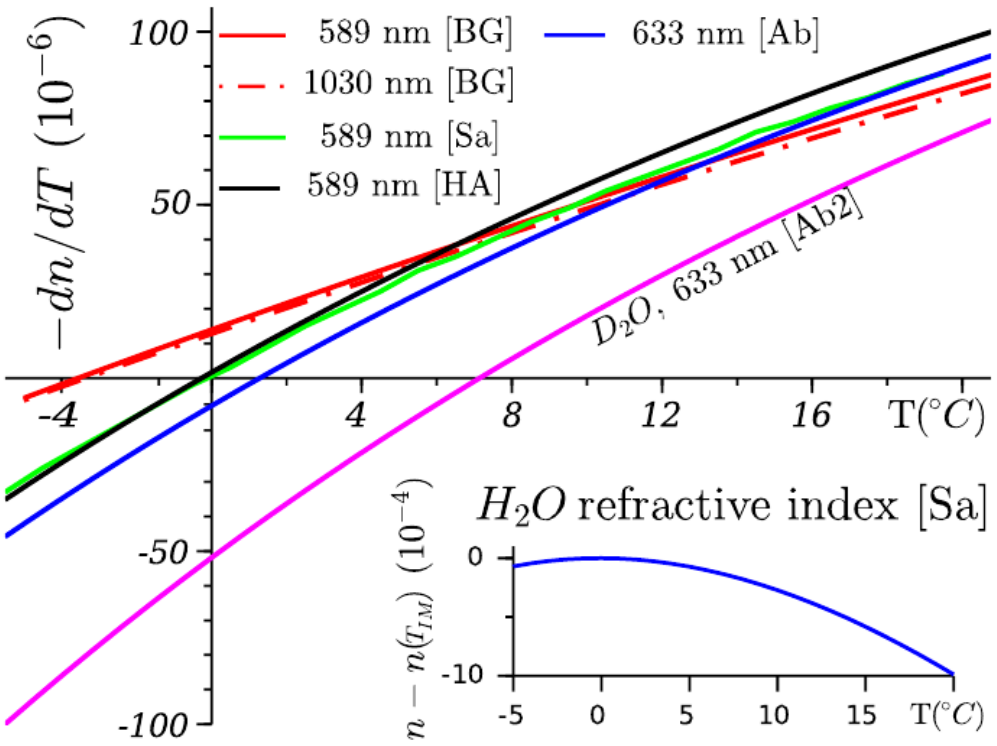
Refroidissement facial : passage direct du fluide frigorifiant sur les faces → régime laminaire obligatoire… ou pas ?



Refroidissement facial par nivellement d'indice

Turbulence : mélange aléatoire de particules

de T différents et donc de n différents → diffusion



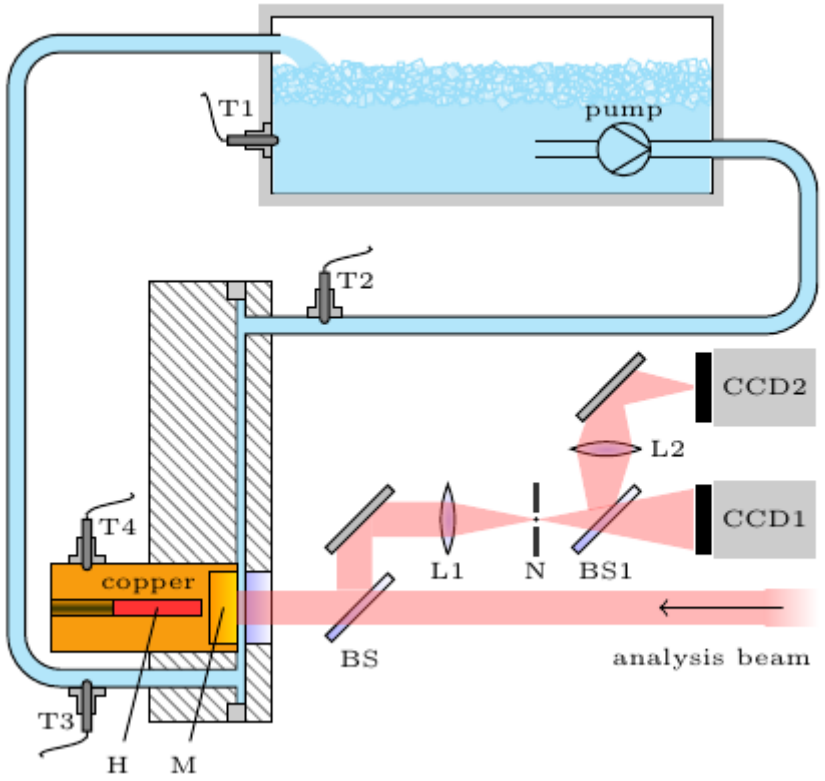
vers 0 °C, dn/dT ~ 0 !

→ n indépendant de T local

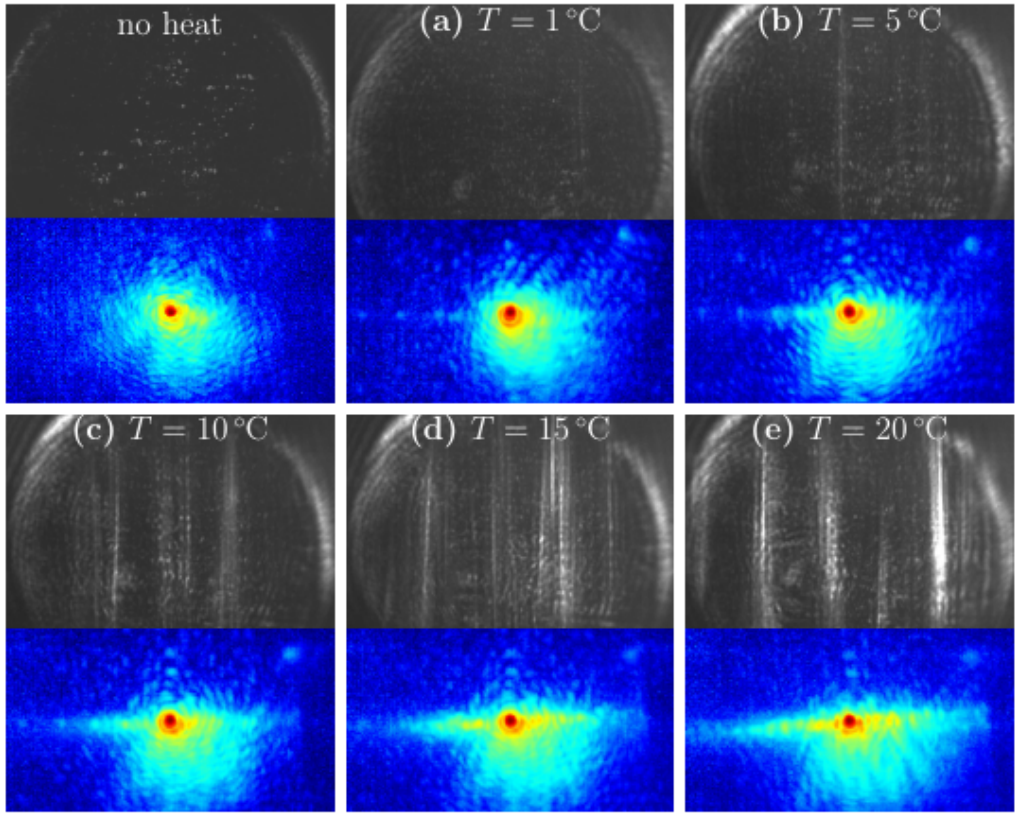
→ blanchiment de la turbulence ?

Refroidissement facial par nivellement d'indice

Test optique sur maquette d'amplificateur



Marion et al,
Opt Lett 2022



- *Stries de turbulence thermo-hydrodynamique*
- *Nivellement d'indice pour $T \sim 0$*

Refroidissement facial par nivellement d'indice

Forte amélioration espérée du refroidissement

Brevet déposé // Projet prématuration CNRS

Concept extrapolable aux systèmes haute énergie

→ vers le kilowatt kilojoule ?

Messages clés sur LEAP / HORIZON

- **Exploitation des disques minces, R&D associée**
- **Nouvelles technologies de refroidissement des multi-disques**
- **kW sans cryo en vue**
- **Travaux nécessaires pour l'accélération :**

  Ions : accroître E // électrons : diminuer τ

- **Méthodes extrapolables aux Ti:Sa et aux lasers HDE**