



L'accélération diélectrique : vers des accélérateurs compacts à fort courant crête ?

EIC pathfinder

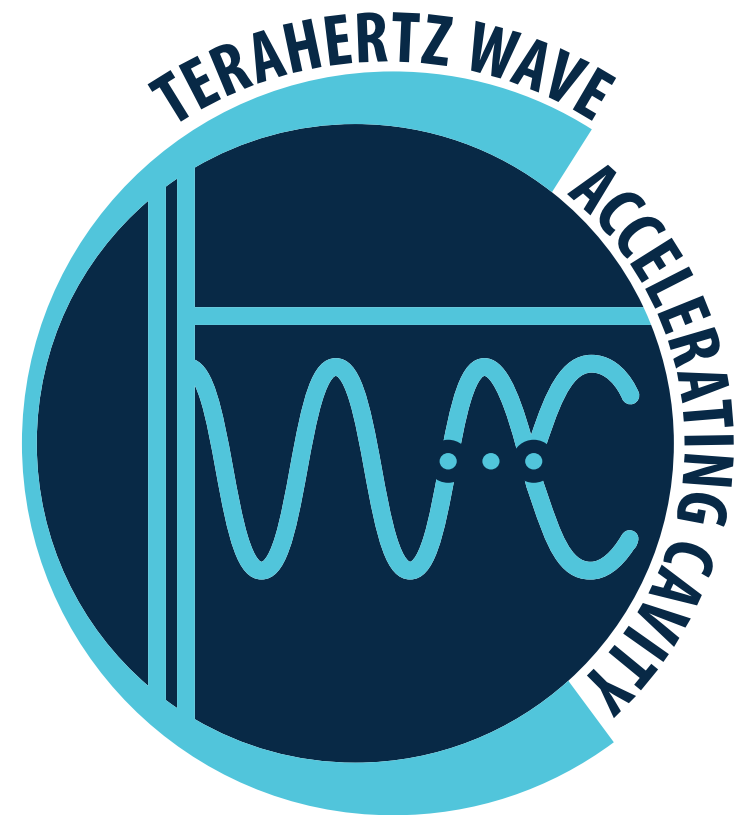
2022-2026



Funded by the
European Union

Christelle Bruni

Au nom de la collaboration **TWAC**





Plan

- La quête des forts gradients, une histoire de fréquence ?
- Exemple d'accélération par lasers dans les diélectriques : accelerator on chip
- Exemple d'accélération par champ THz
 - Par gyrotron
 - Par laser
- Le projet TWAC : fort courant crête
 - Le projet
 - La source THz
 - La section accélératrice innovante
 - Des paquets ultra-courts à mesurer
 - TWAC pour la flash ?

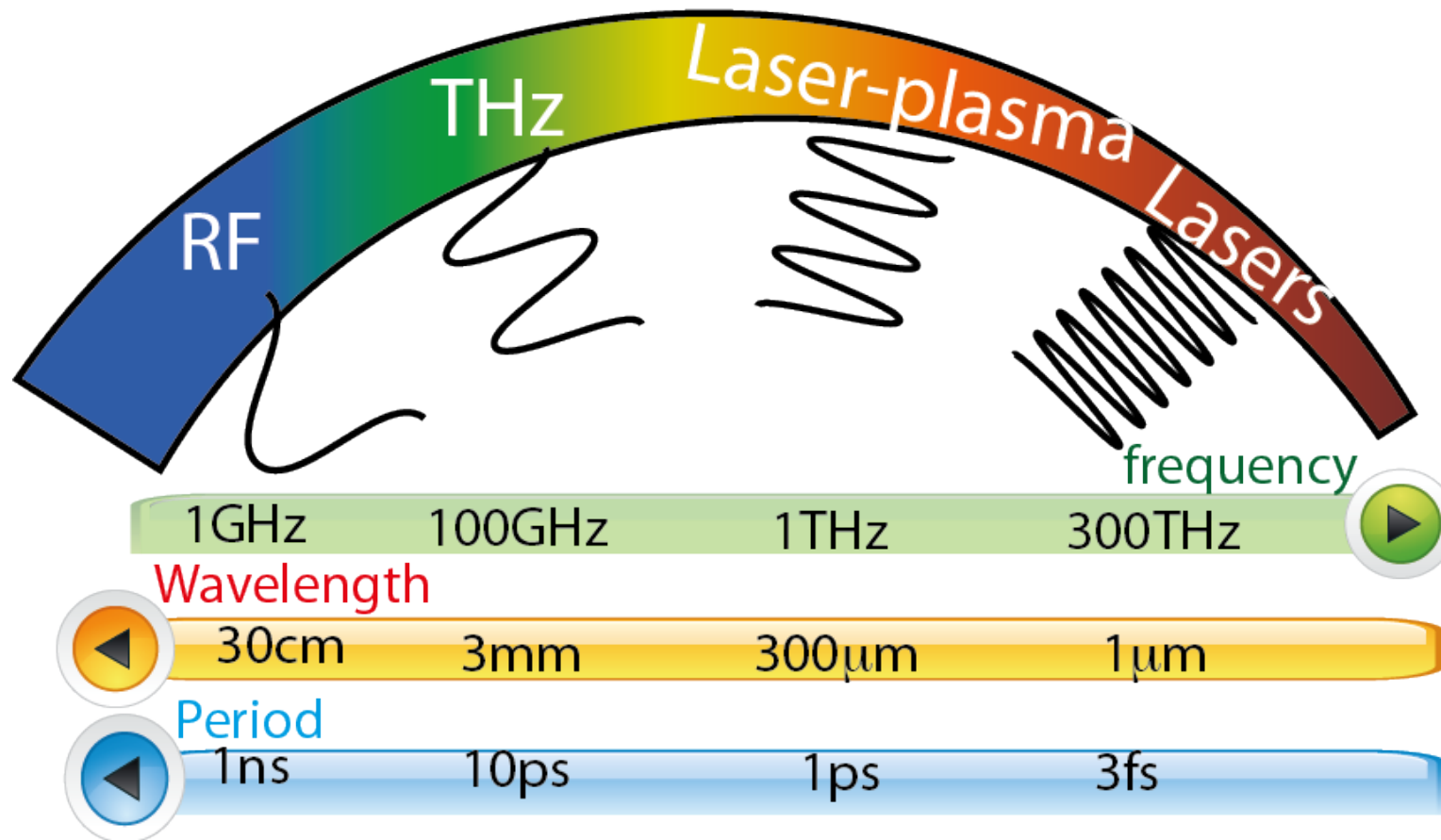




Positionnement – fréquence

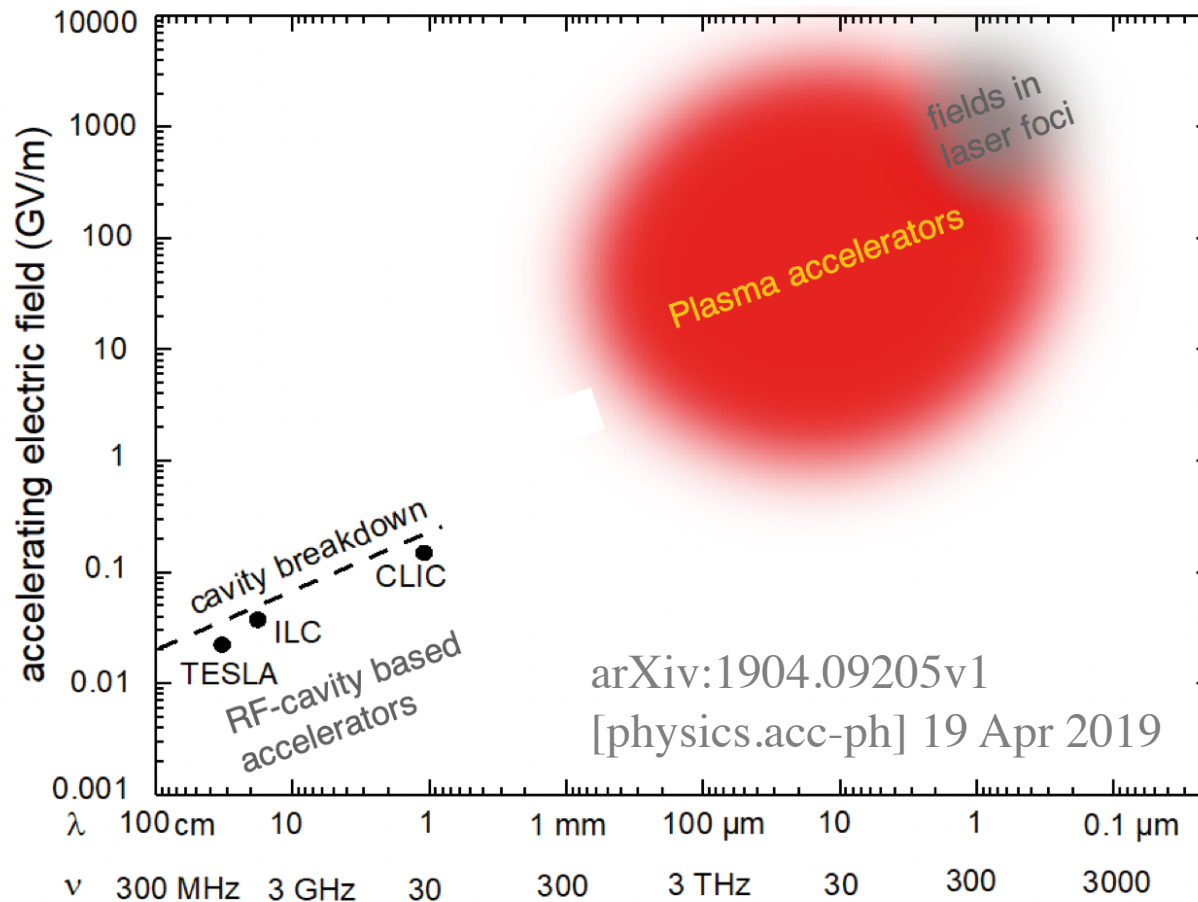
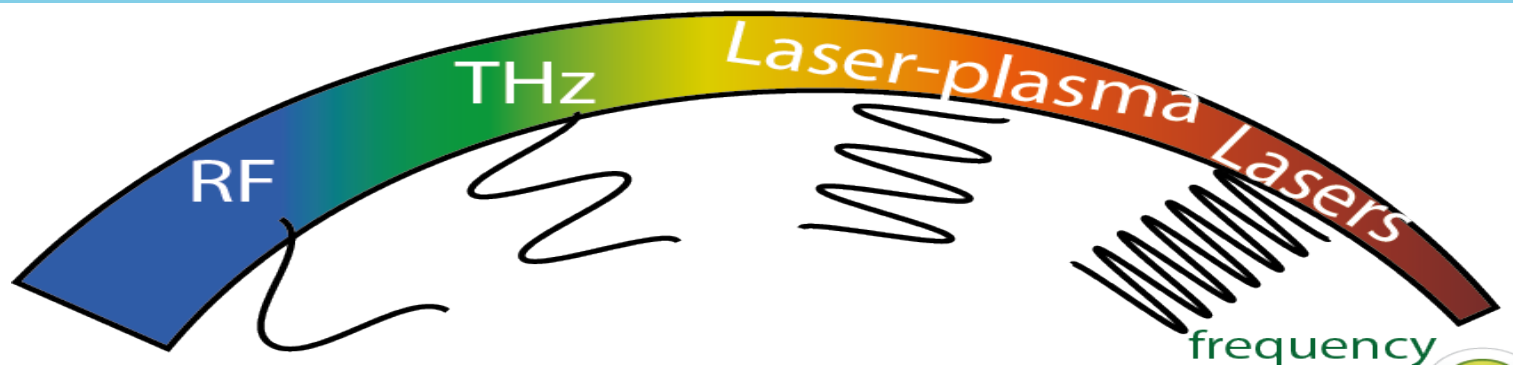
RF- micro-onde

Optique



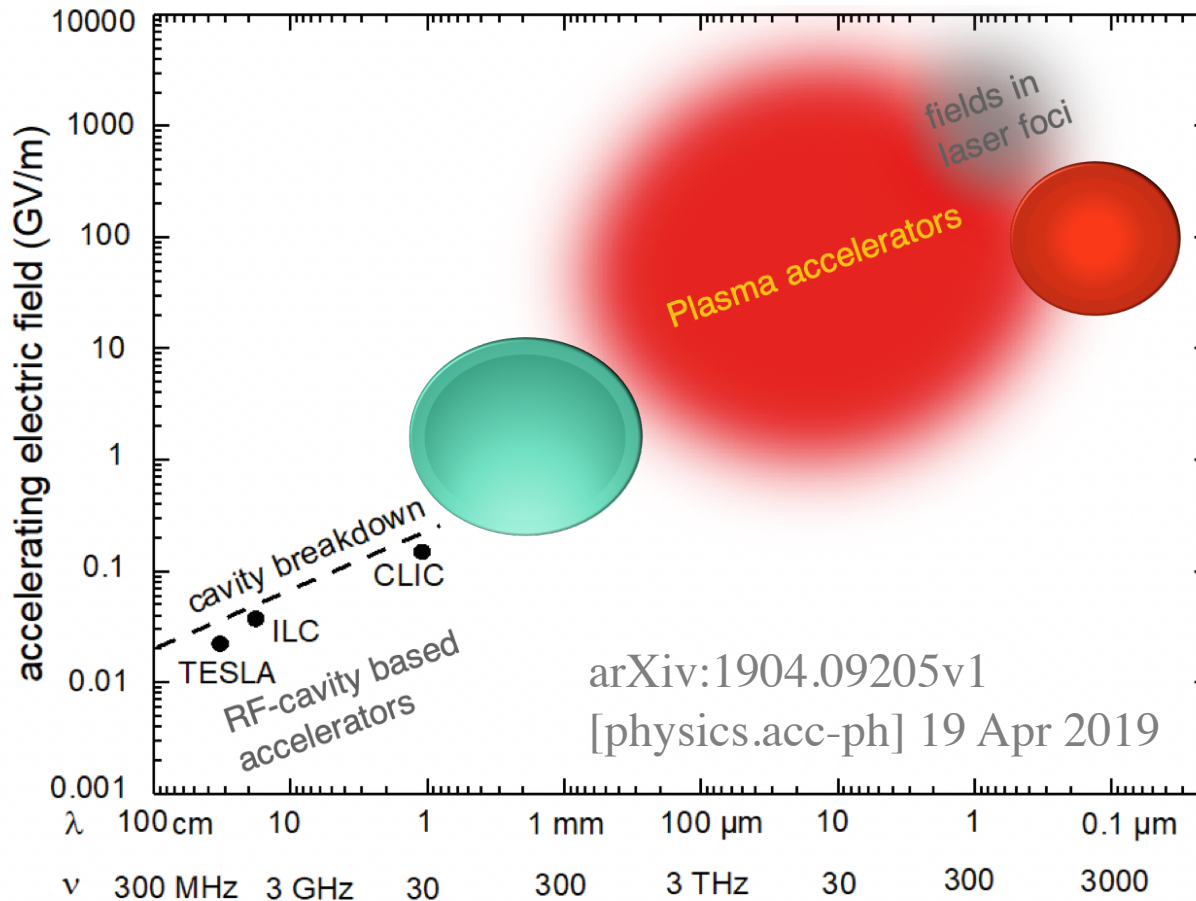
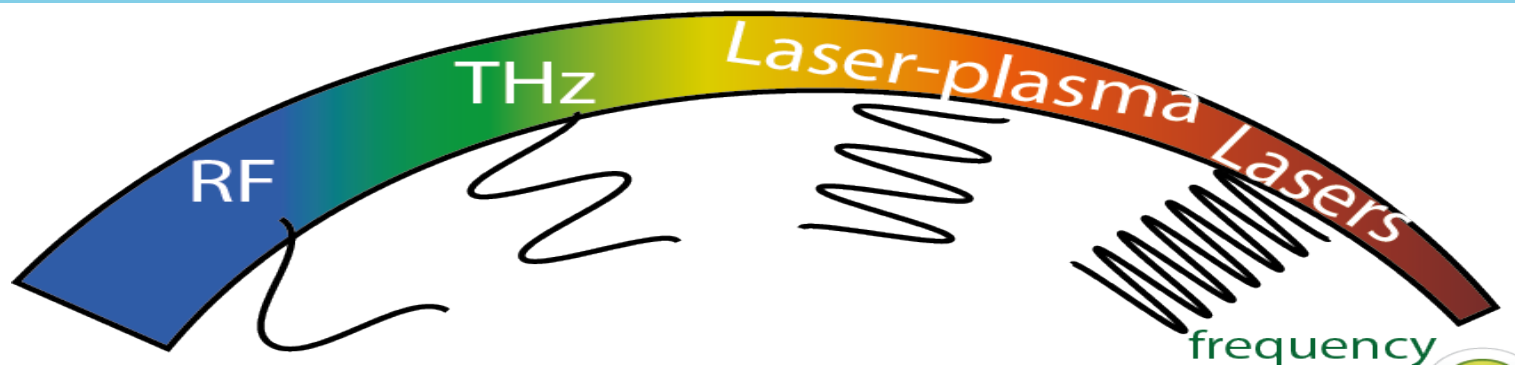


Positionnement – forts gradients





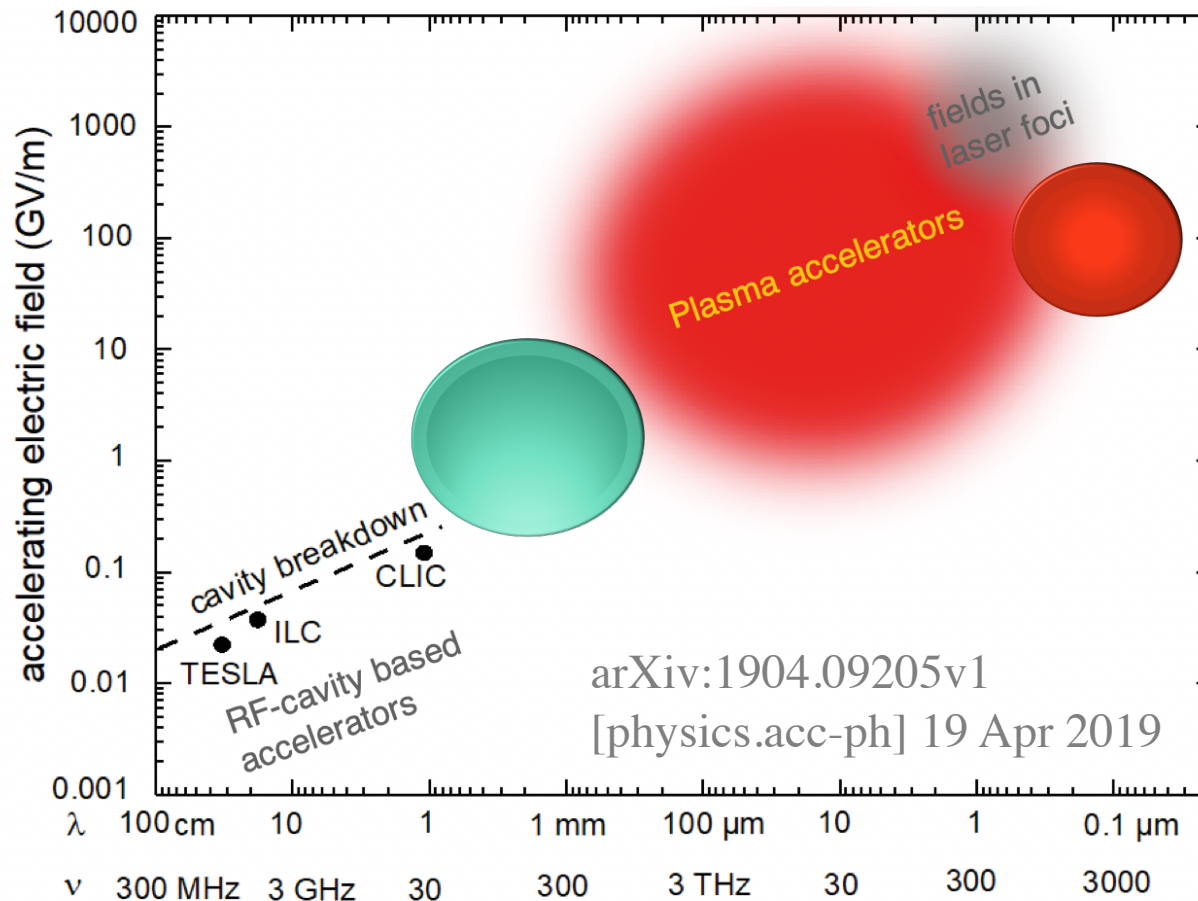
Positionnement – forts gradients





Positionnement – forts gradients

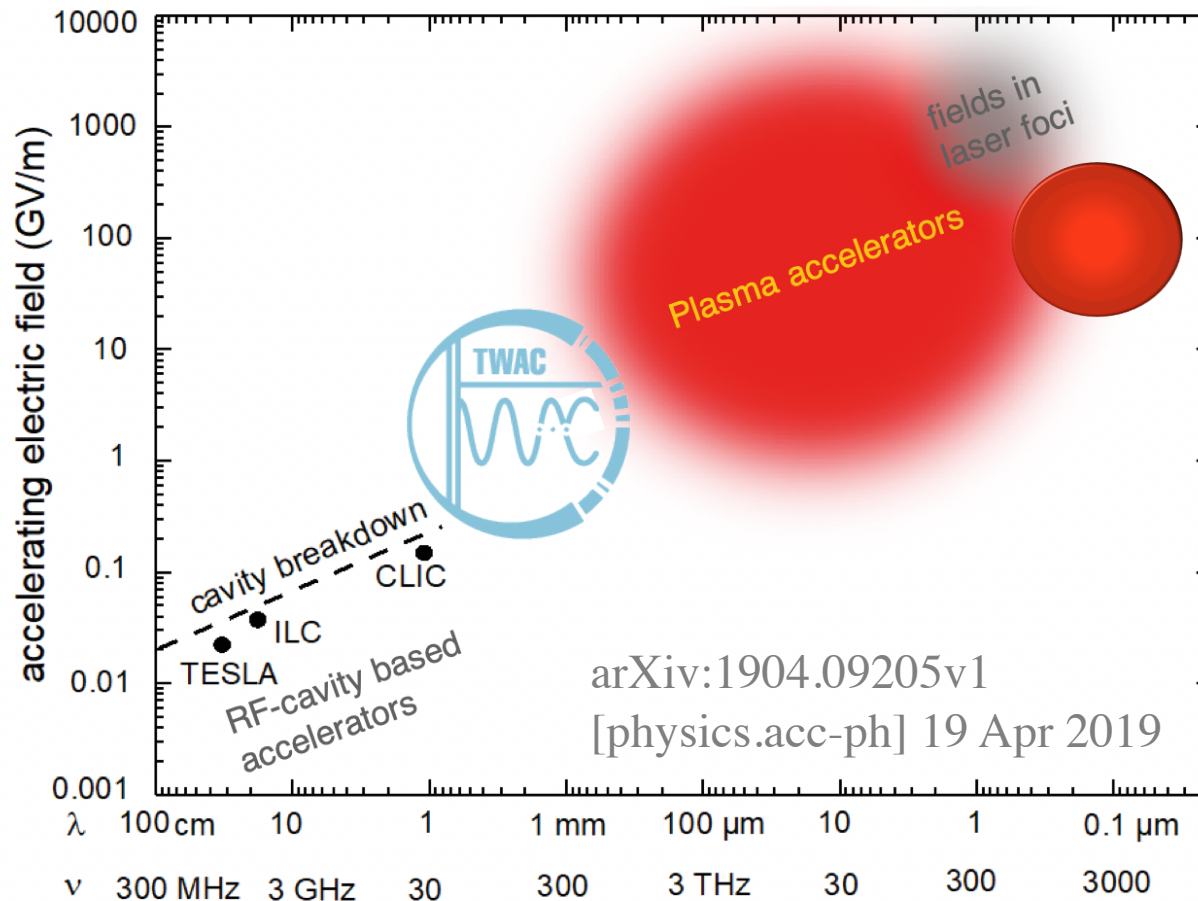
- Pour obtenir des forts gradients :
 - Augmenter la fréquence de l'onde accélératrice (eg. X band, Laser plasma, lasers)
 - Avoir un milieu qui supporte ces champs : dielectric, plasma





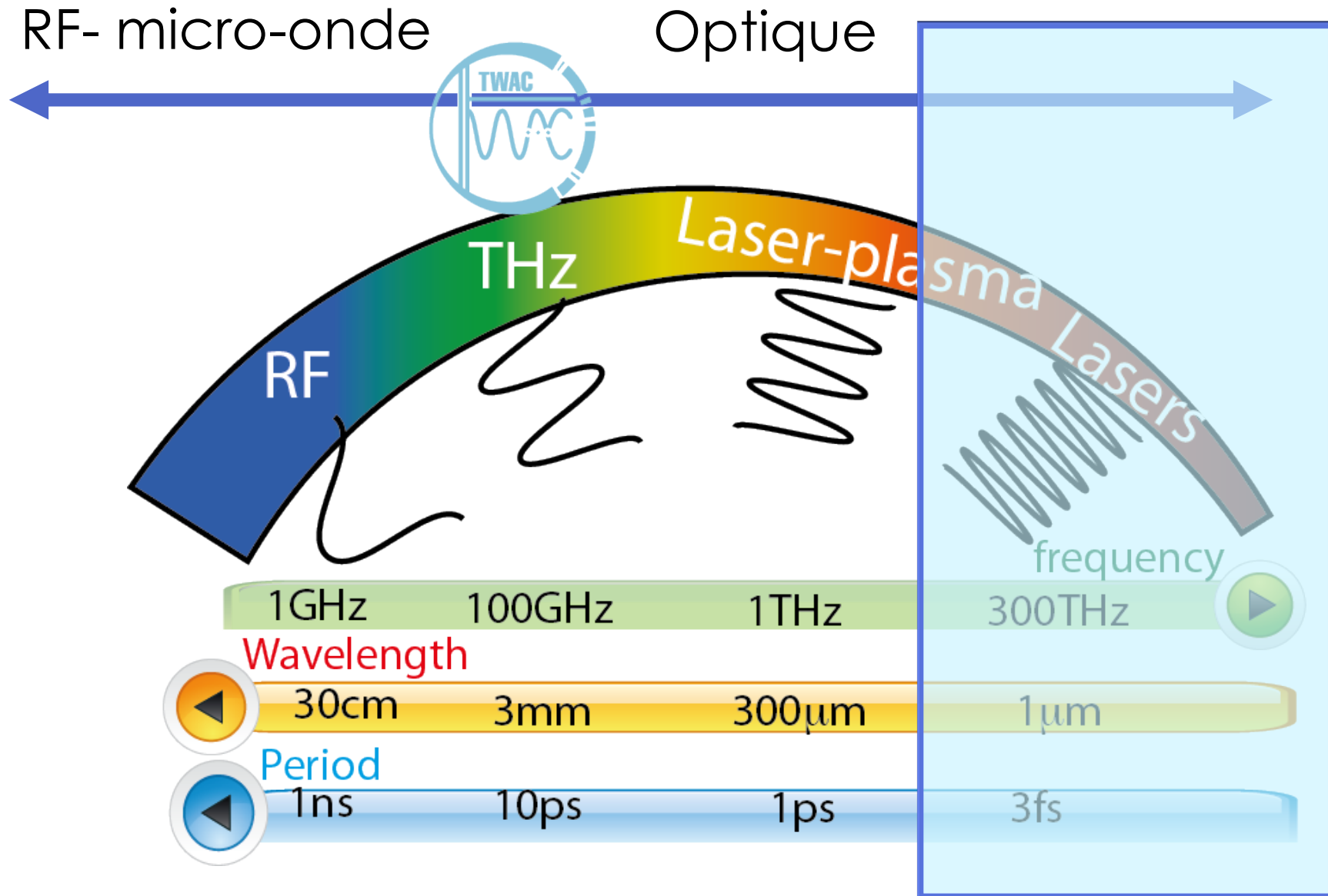
Positionnement – forts gradients

- Pour obtenir des forts gradients :
 - Augmenter la fréquence de l'onde accélératrice (eg. X band, Laser plasma, lasers)
 - Avoir un milieu qui supporte ces champs : dielectric, plasma





Positionnement – fréquence





DLA : Dielectric laser acceleration

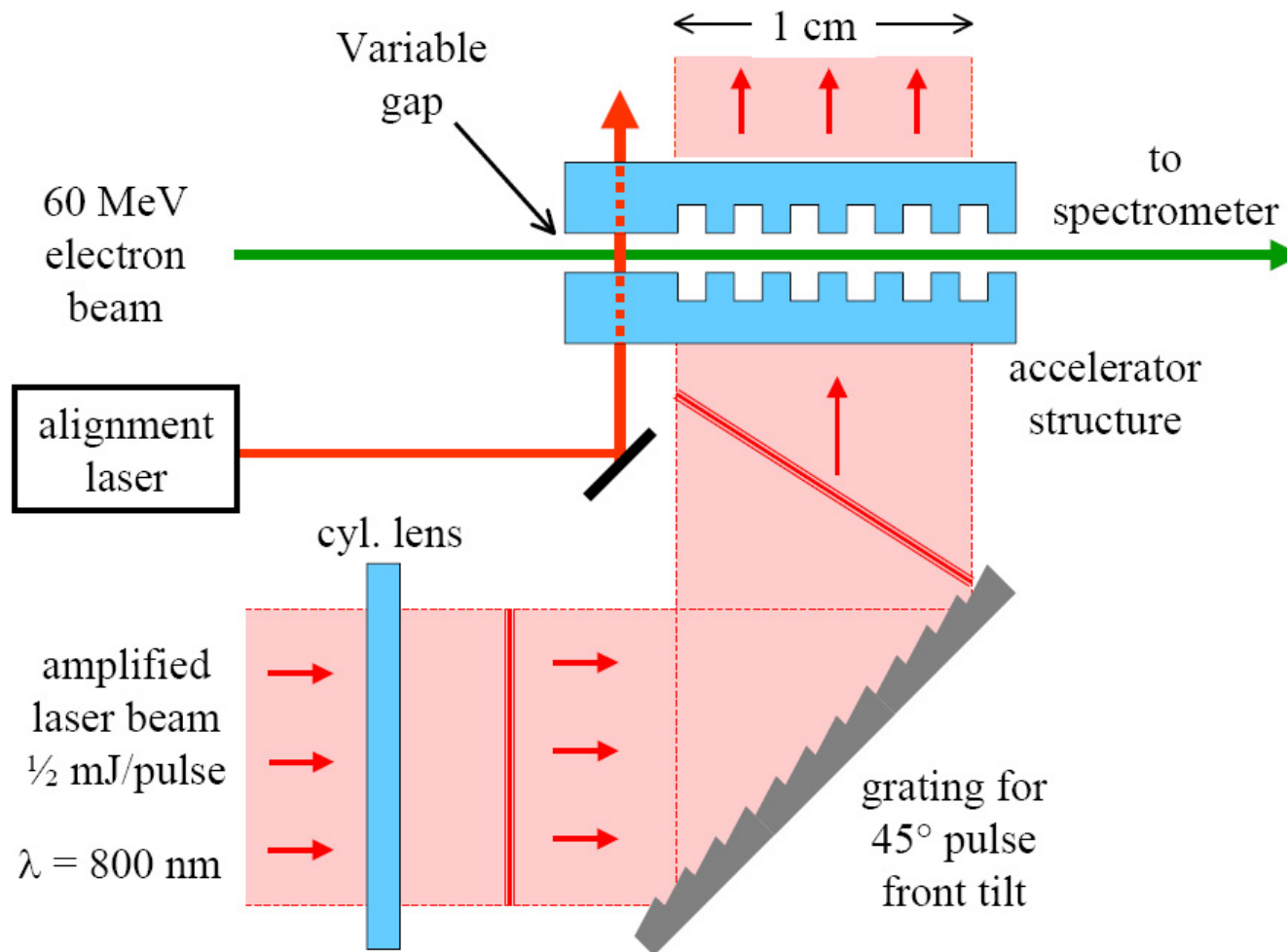


FIG. 9. (Color) The proposed setup for beam experiments with the double-grating structure.





DLA : Dielectric laser acceleration

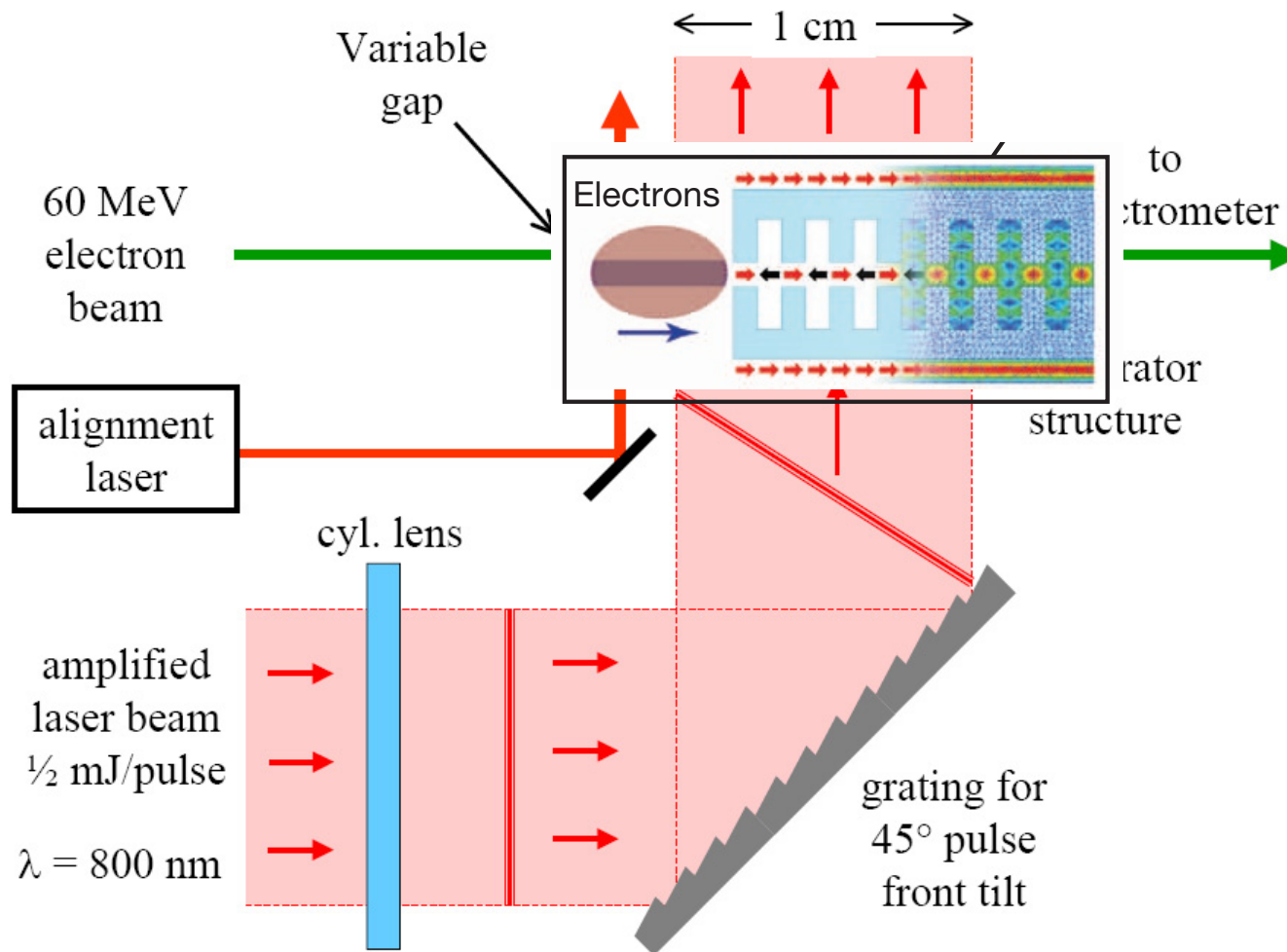


FIG. 9. (Color) The proposed setup for beam experiments with the double-grating structure.





DLA : Dielectric laser acceleration

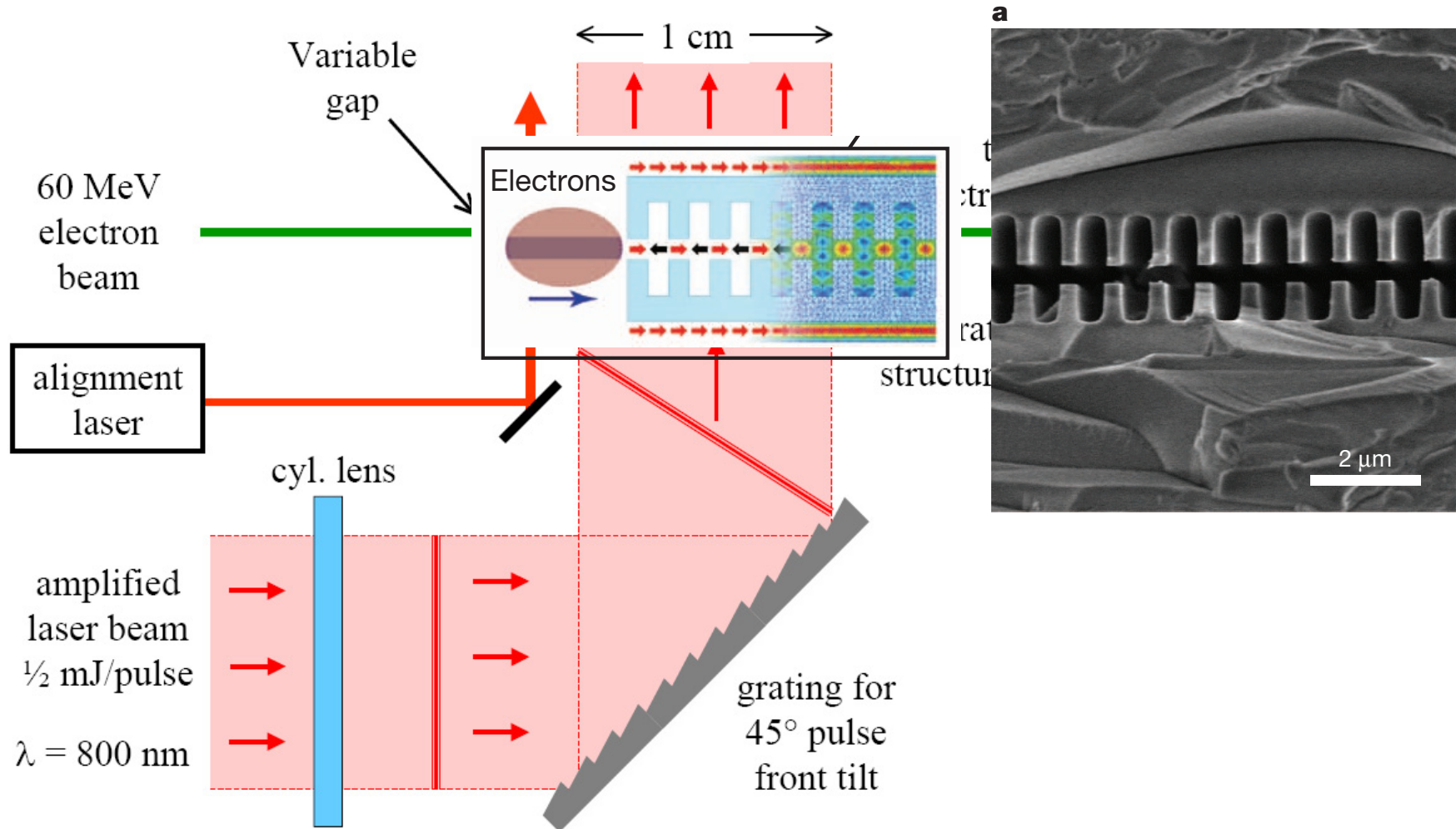
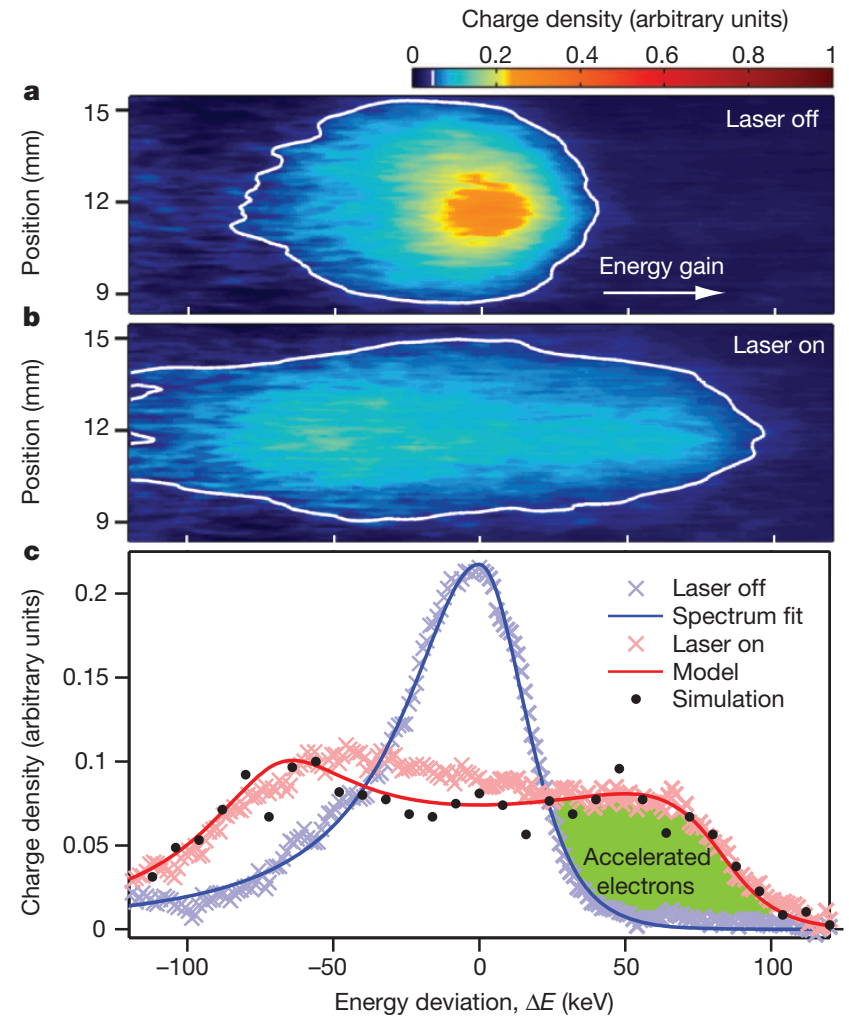
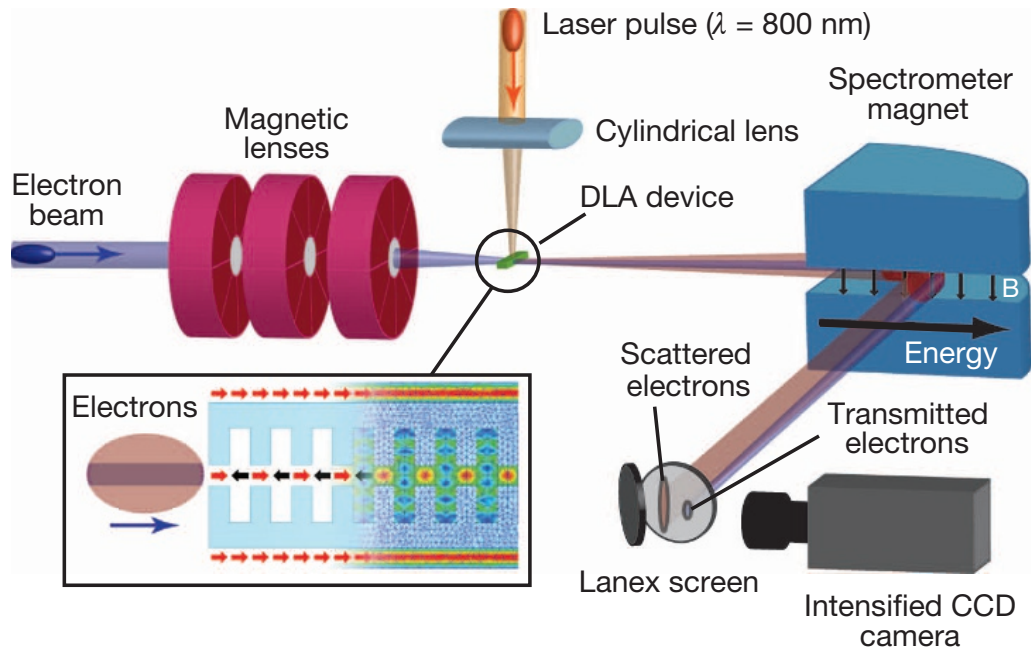


FIG. 9. (Color) The proposed setup for beam experiments with the double-grating structure.



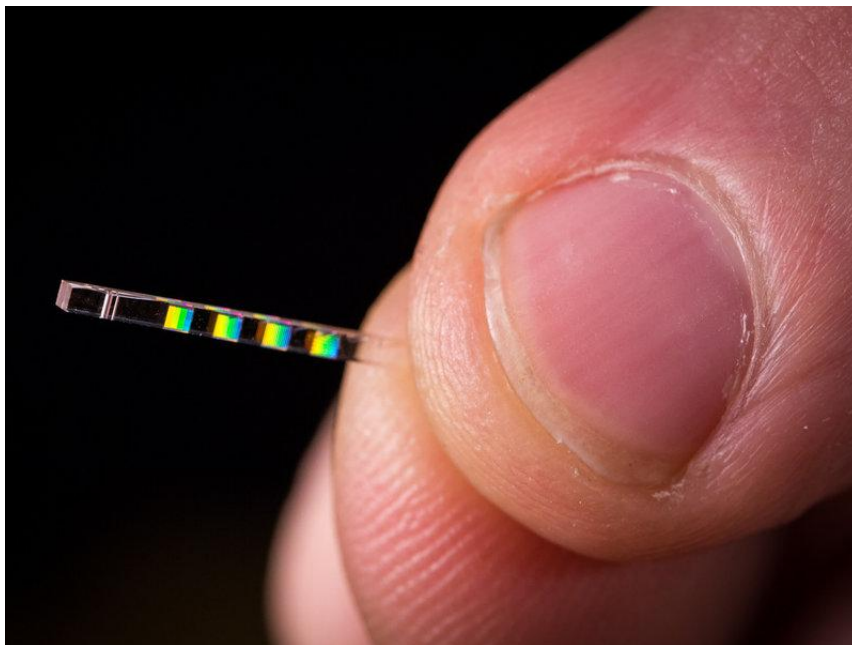
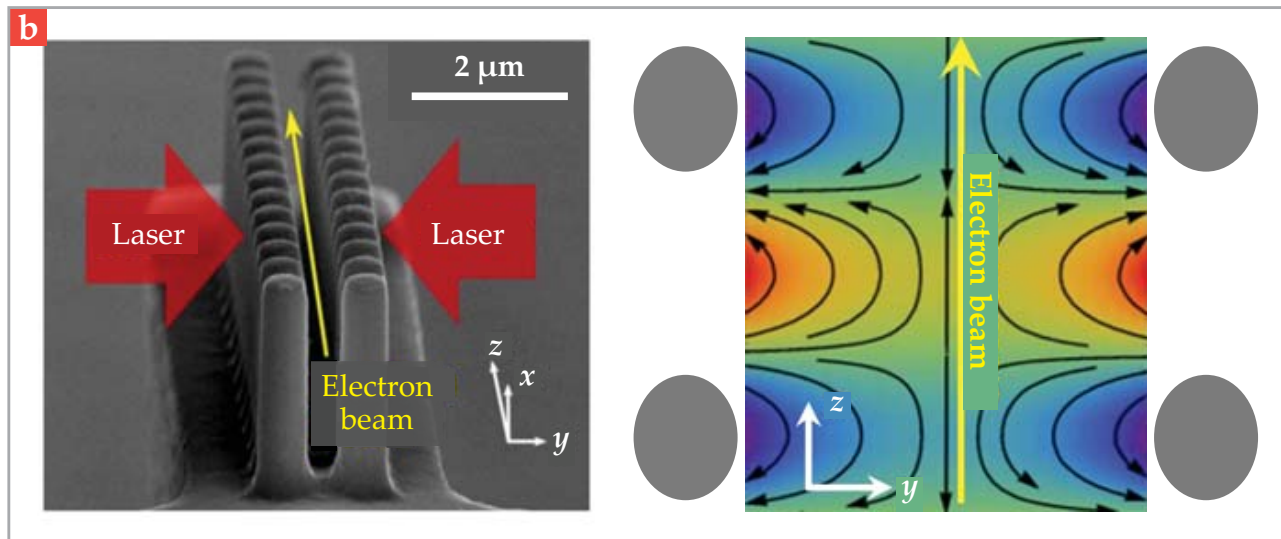


DLA : gain en énergie



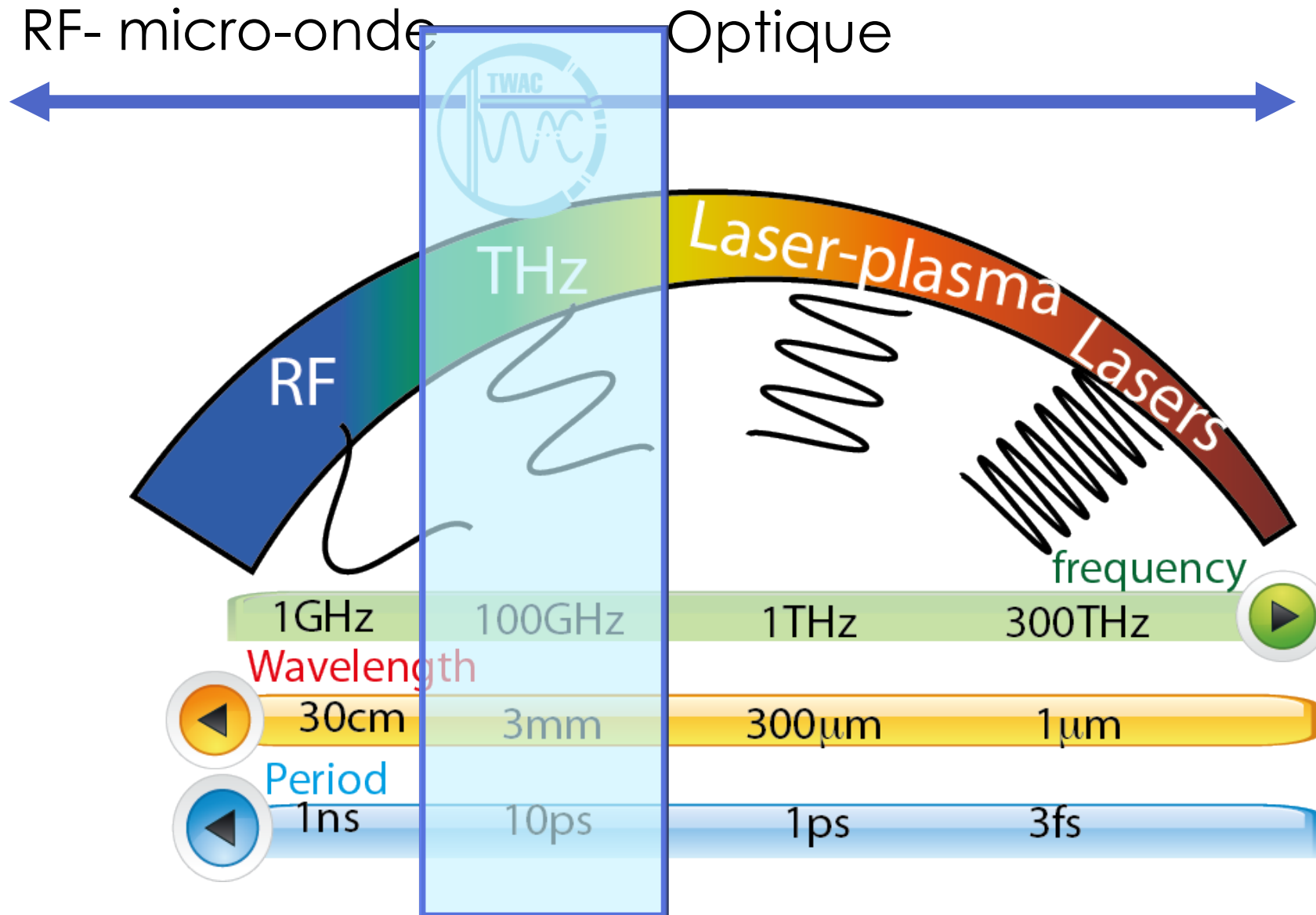


DLA : Projet Achip





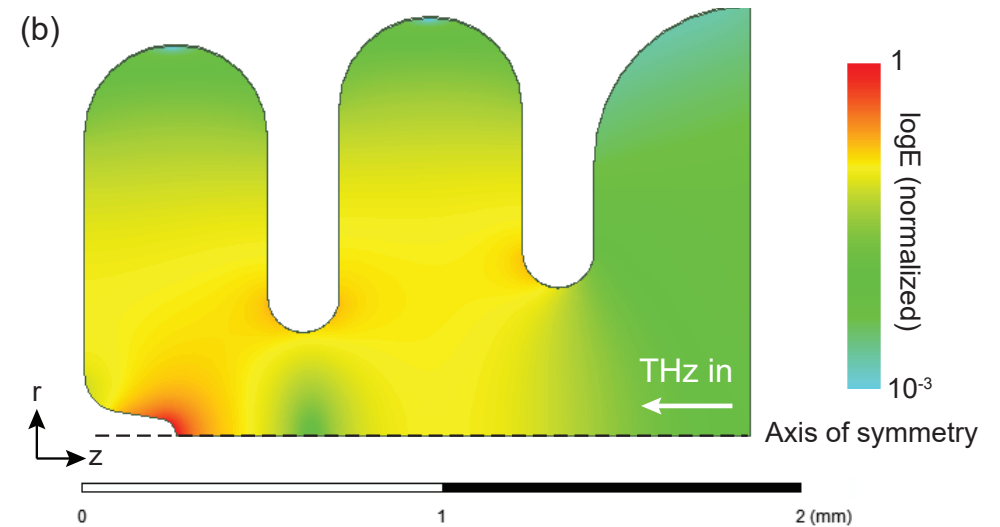
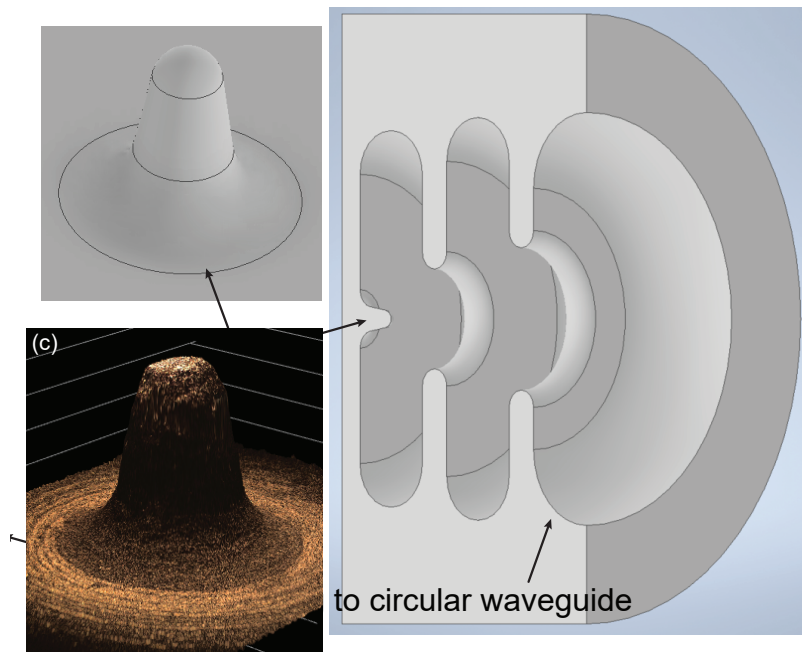
Positionnement – fréquence





SLAC cavités THz avec source gyrotron

- ▣ Canon THz à emission de champ @110GHz



[arXiv:2203.15939](https://arxiv.org/abs/2203.15939)

[physics.acc-ph]

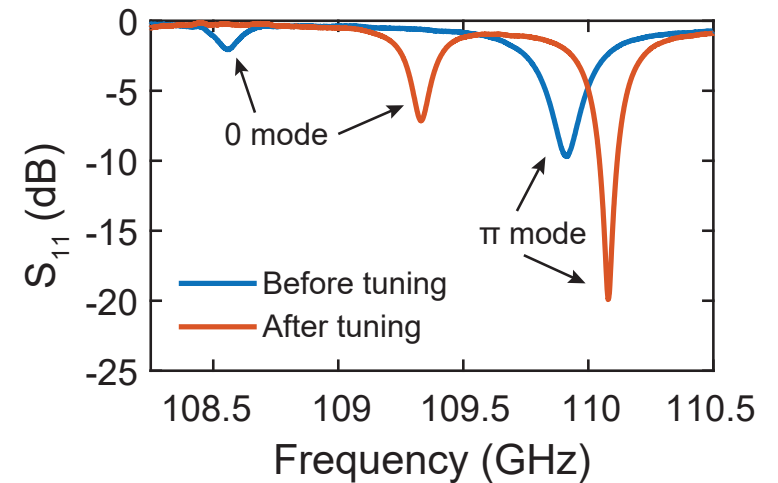
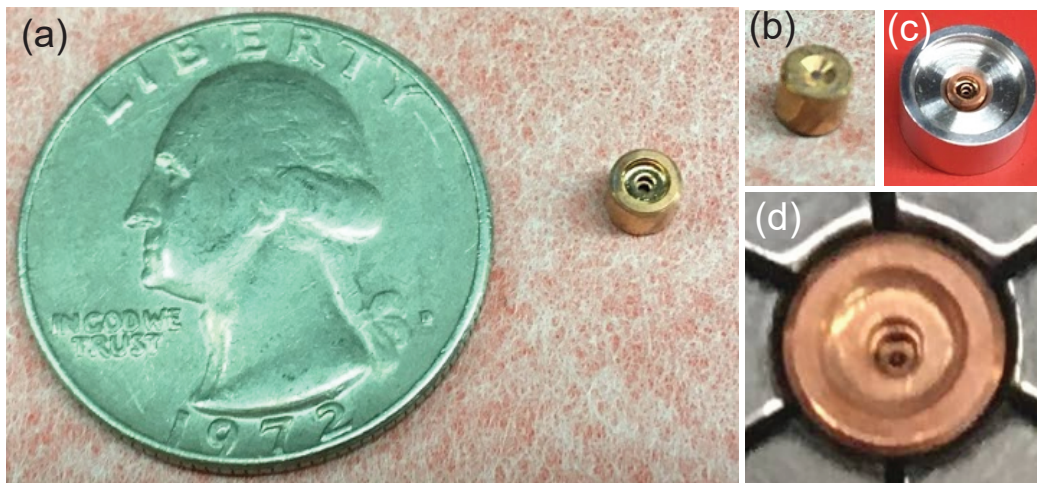
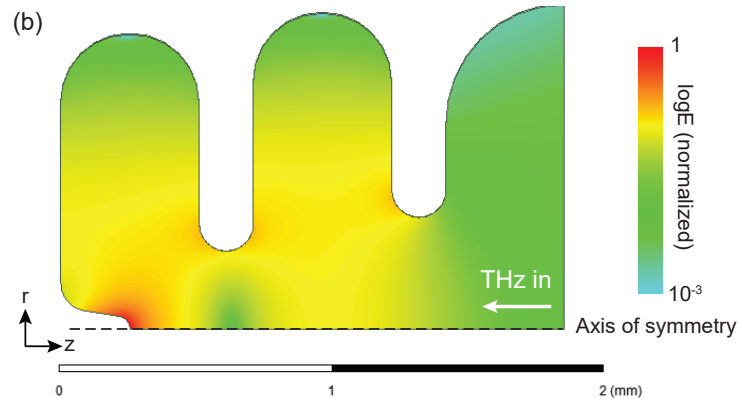
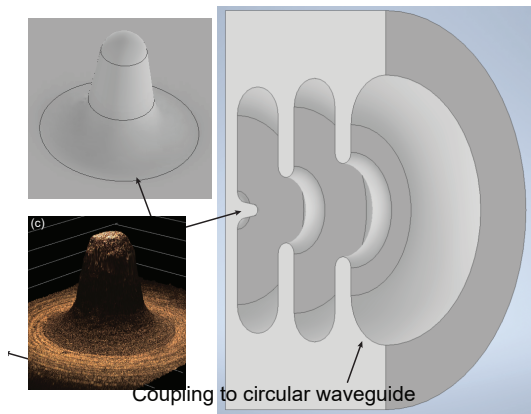
Expected 50 fC, 360 keV electrons





SLAC cavités THz avec source gyrotron

▣ Canon THz à emission de champ @110GHz



[arXiv:2203.15939](https://arxiv.org/abs/2203.15939)

Expected 50 fC, 360 keV electrons

[physics.acc-ph]

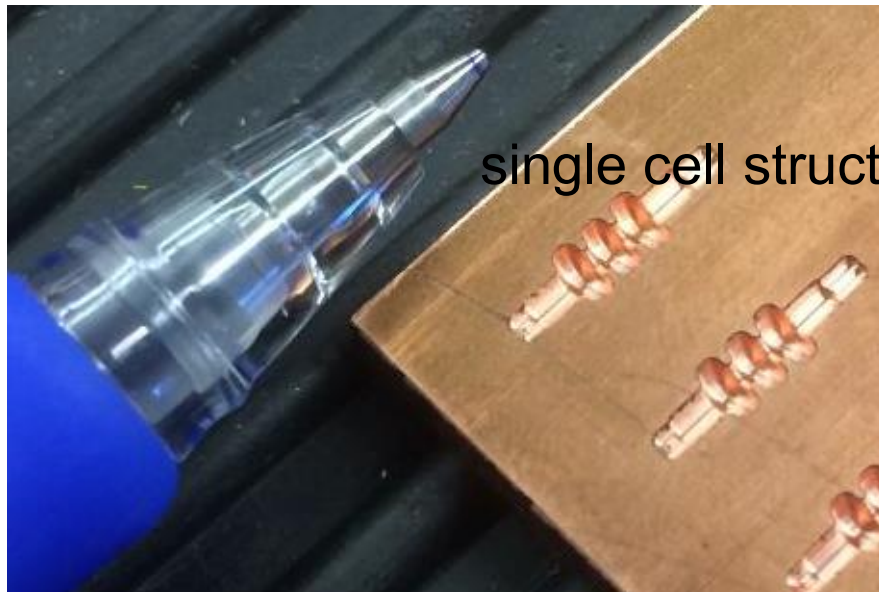




SLAC cavités THz avec source gyrotron

- ▣ Sections accélératrices Onde stationnaire

3 cellules onde stationnaires @110GHz
Nanni et al., IPAC 2016



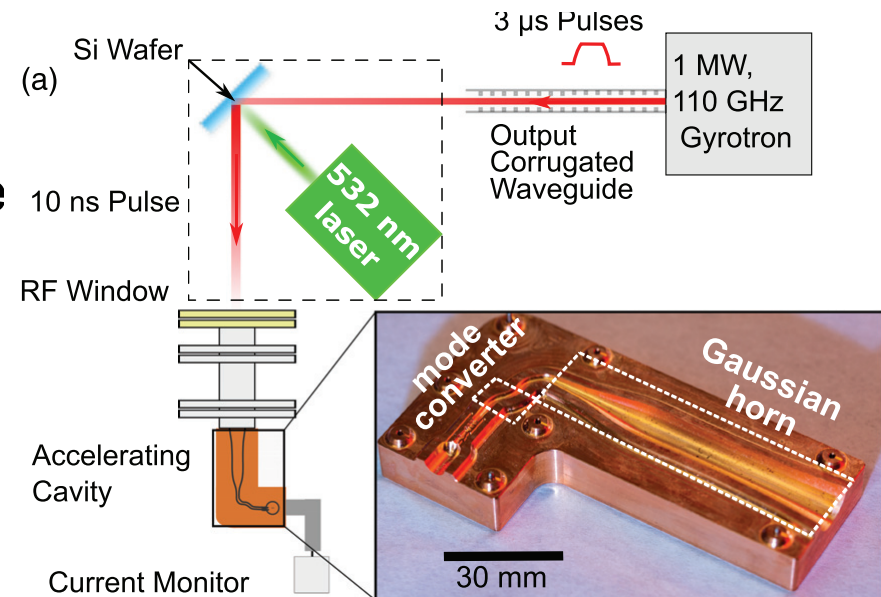
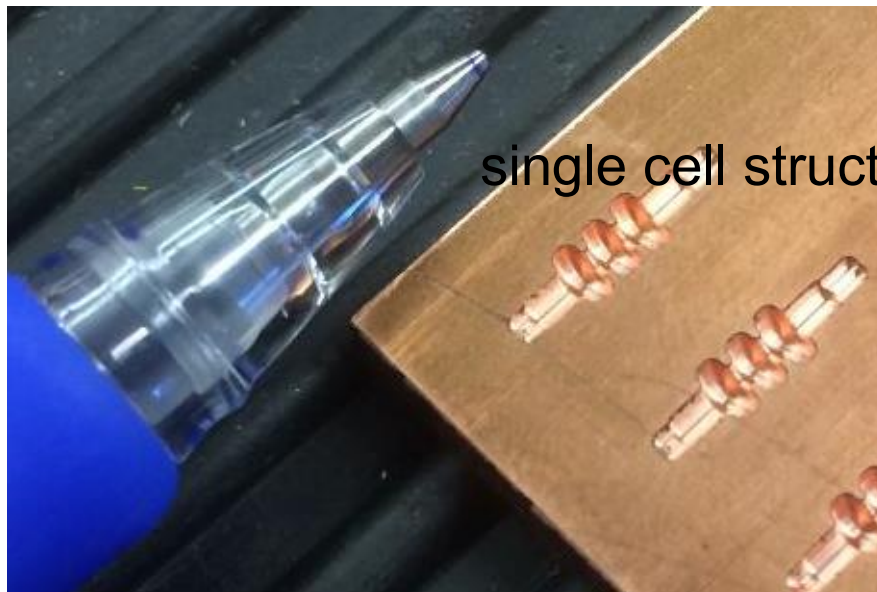
single cell structure



SLAC cavités THz avec source gyrotron

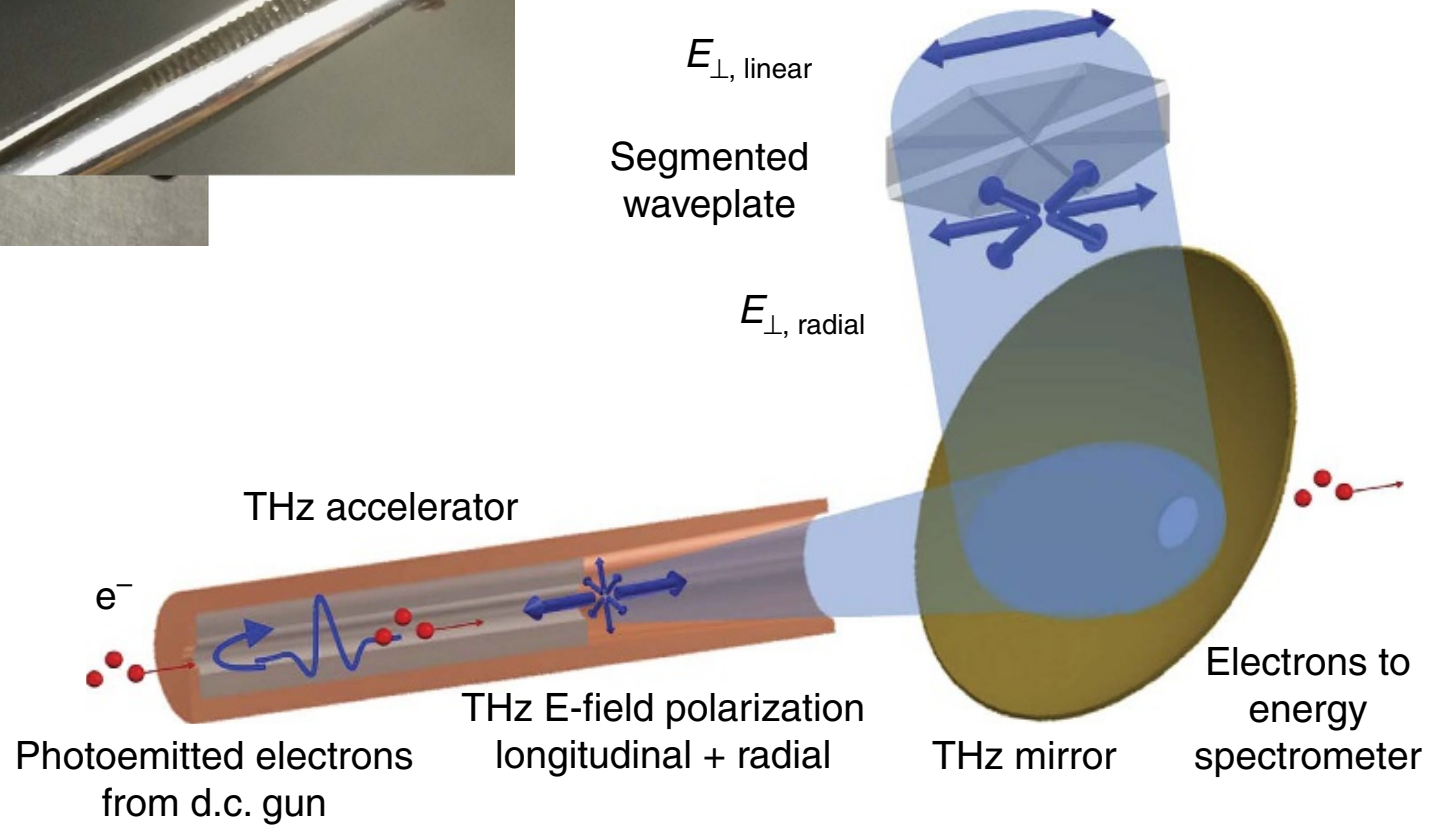
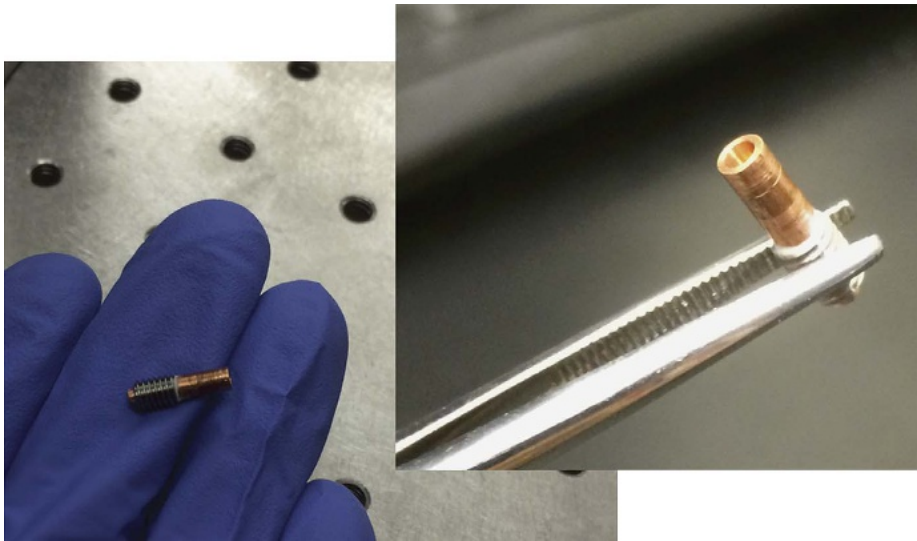
- ▣ Sections accélératrices Onde stationnaire

3 cellules onde stationnaires @110GHz
Nanni et al., IPAC 2016



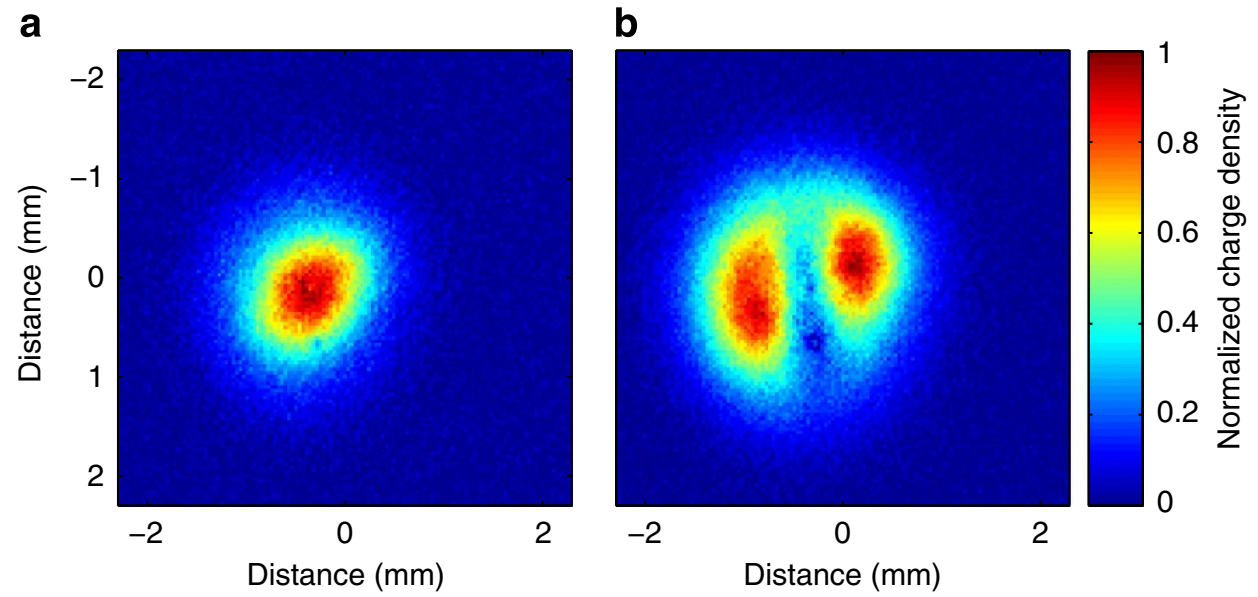
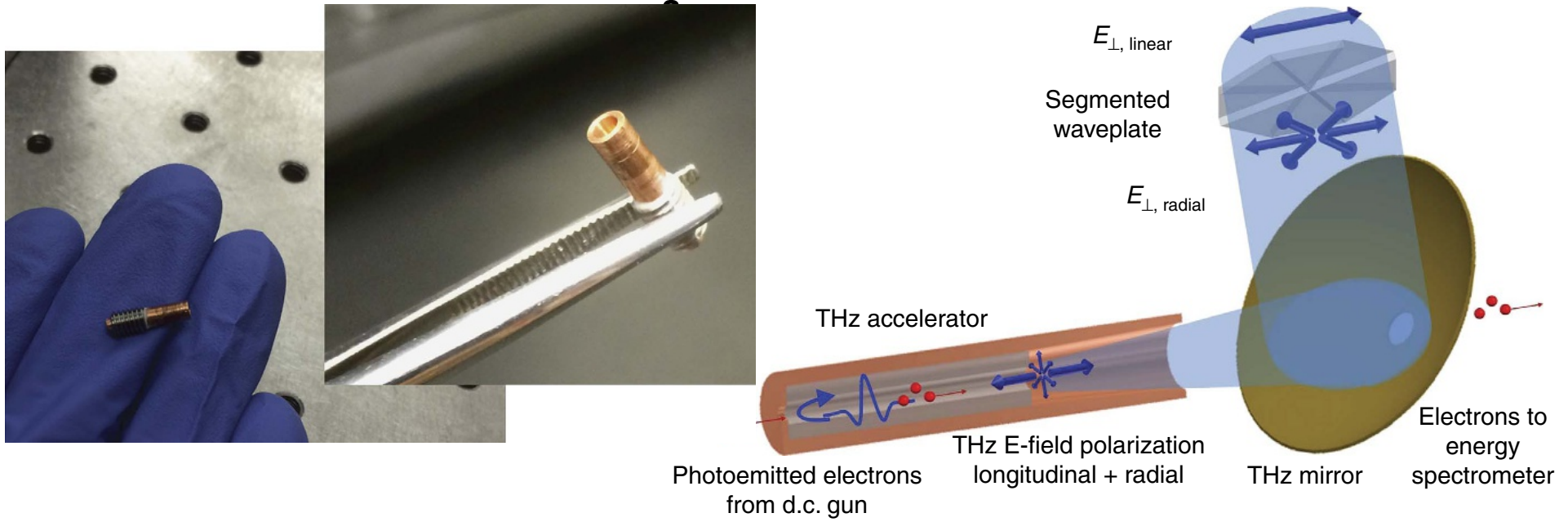


Dielectric THz Acceleration : THz linac/STEAM



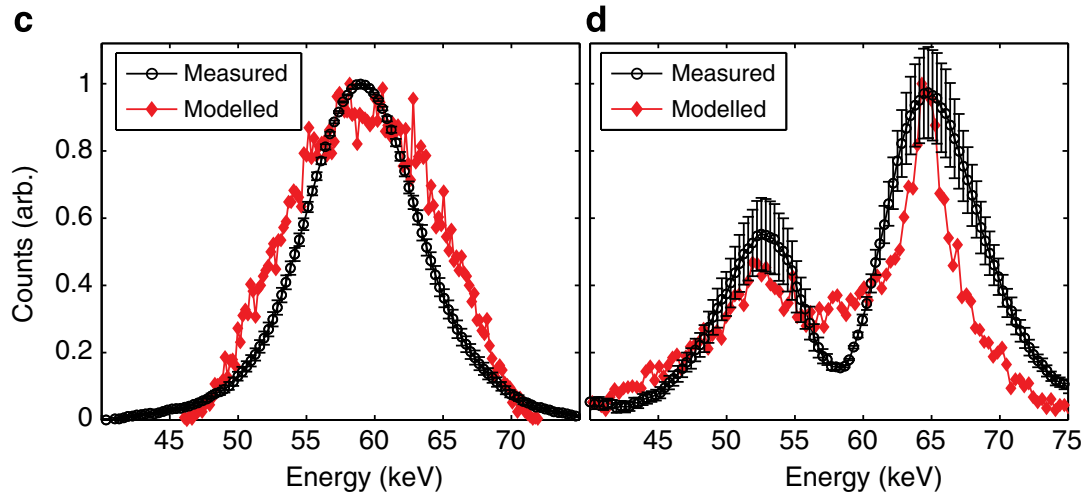
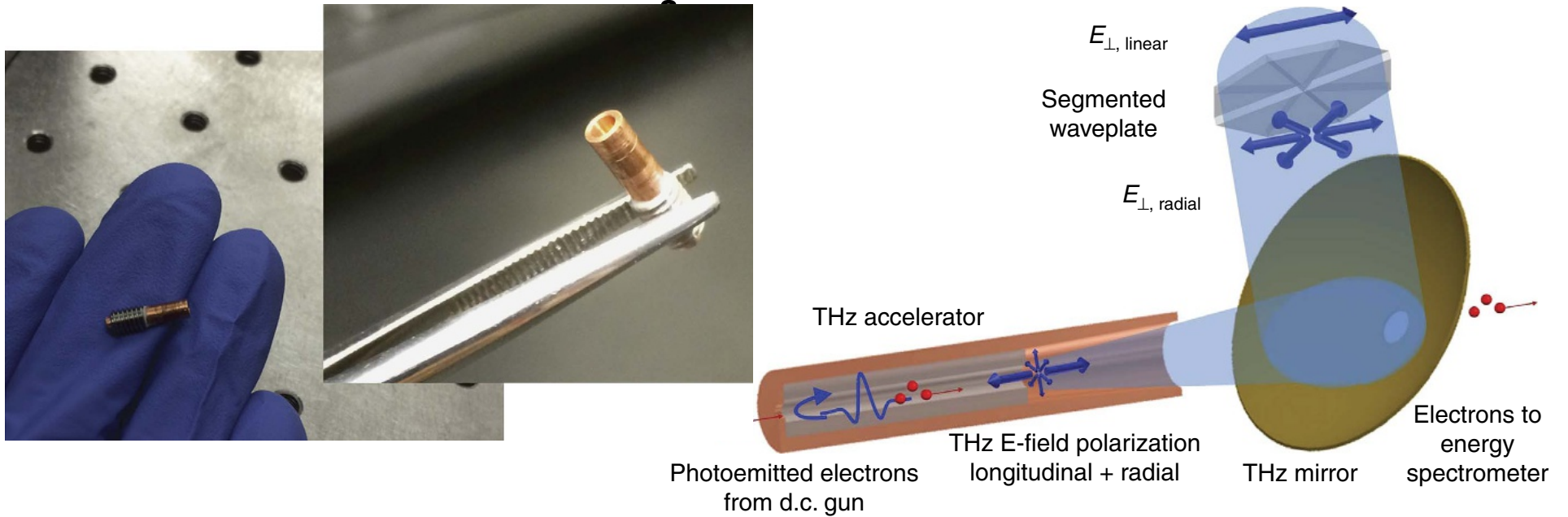


Dielectric THz Acceleration : THz linac/STEAM





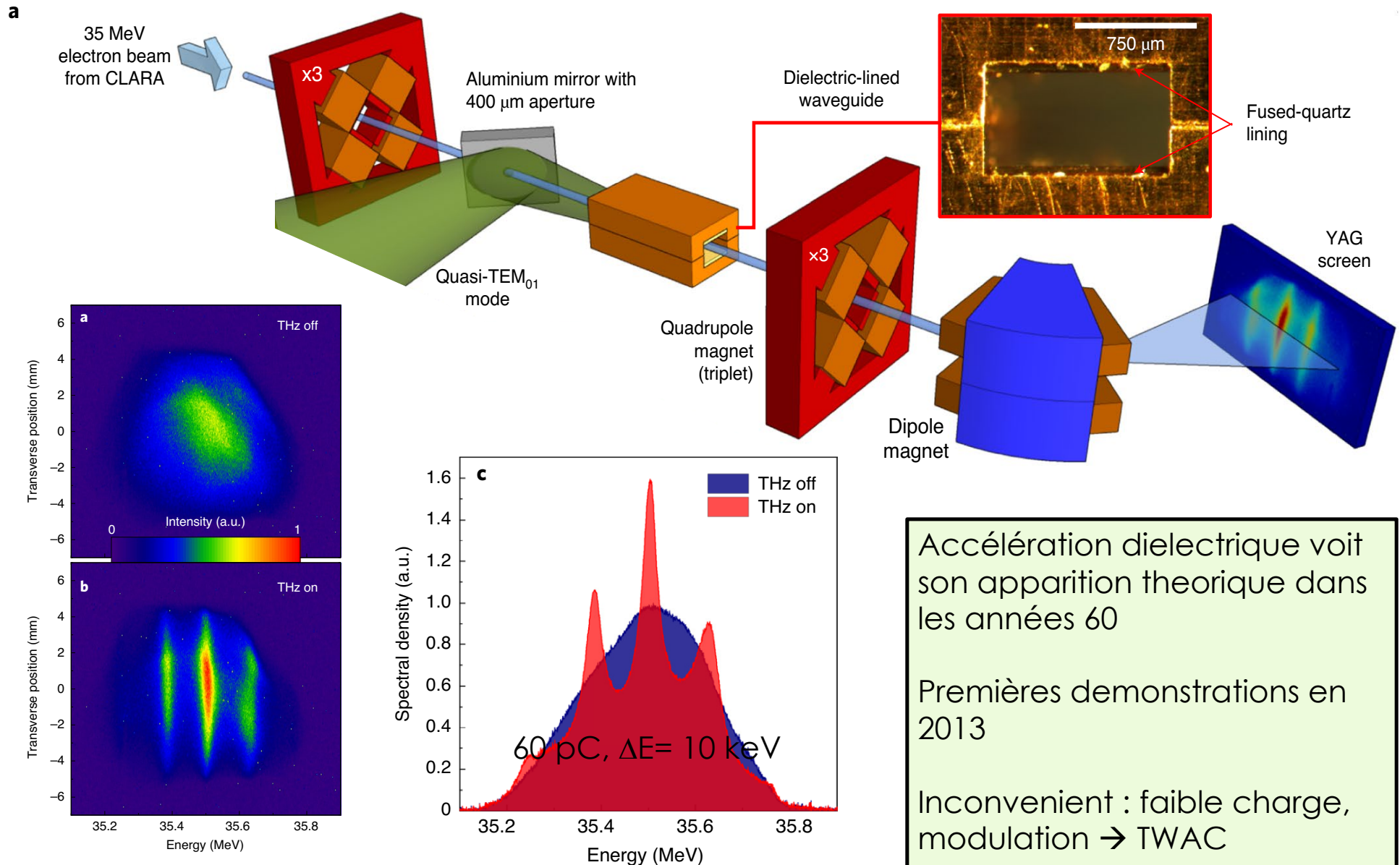
DTA : THz linac



Electron 59 keV, 25 fC



DTA : Tests @CLARA



Accélération diélectrique voit son apparition théorique dans les années 60

Premières démonstrations en 2013

Inconvenient : faible charge, modulation \rightarrow TWAC



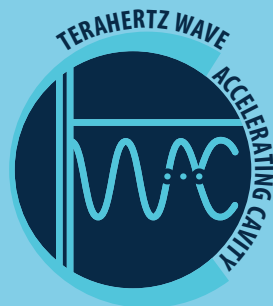
The logo for CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) is displayed in white lowercase letters on a dark blue circular background.

TWAC : terahertz wave accelerating cavity

Technologie de rupture

EIC pathfinder

2022-2026



Funded by the
European Union

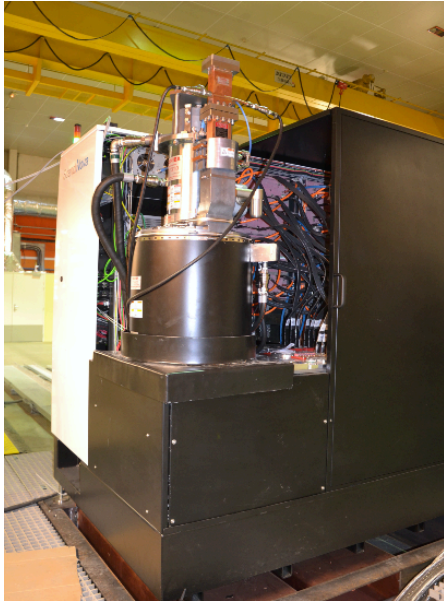
Chaque champ d'application des accélérateurs doit faire des compromis à cause des limitations des technologies existantes

TWAC propose une nouvelle approche pour surpasser plusieurs limites simultanément tout en réduisant la taille des accélérateurs

A la fois pour la recherche et pour l'industrie avec l'objectif d'aller vers des accélérateurs « plus propres » et plus légers pour les applications allant des accélérateurs pour la recherche aux traitements des cancers



Comment ?



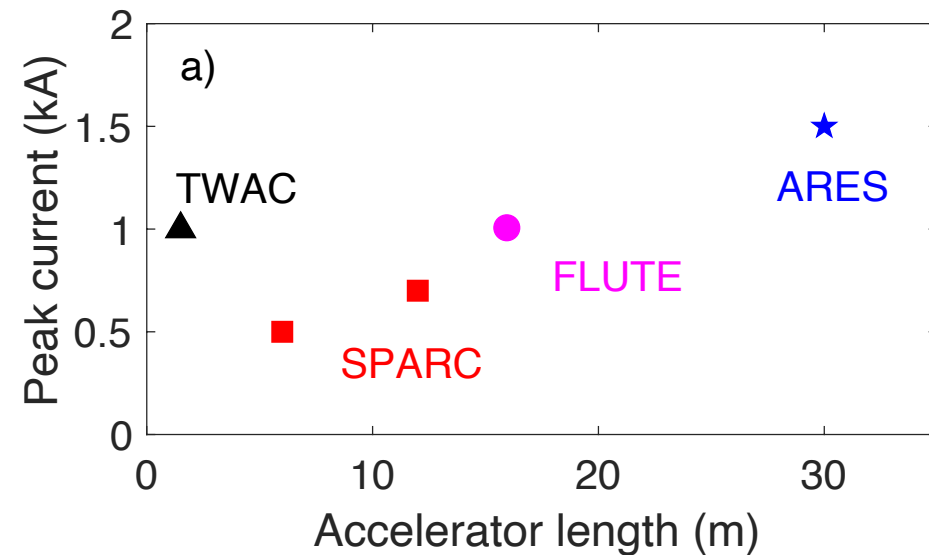
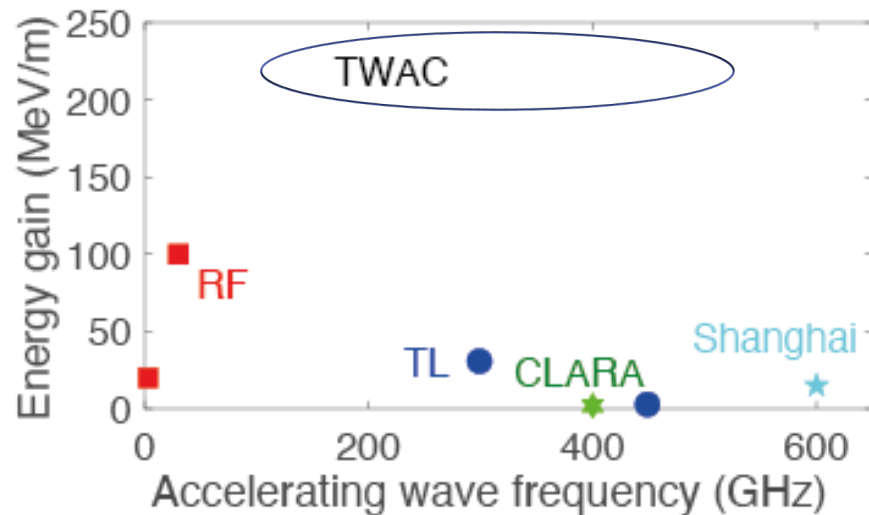
- ▣ Twac propose de simplifier les infrastructures en remplaçant les sources RF par des sources optiques
- ▣ ZITA (cannelonni paste),
 - ▣ la structure diélectrique pourra supporter de fort champ accélérateurs
 - ▣ Dimensions millimétriques
 - ▣ Combinée à une source de puissance THz





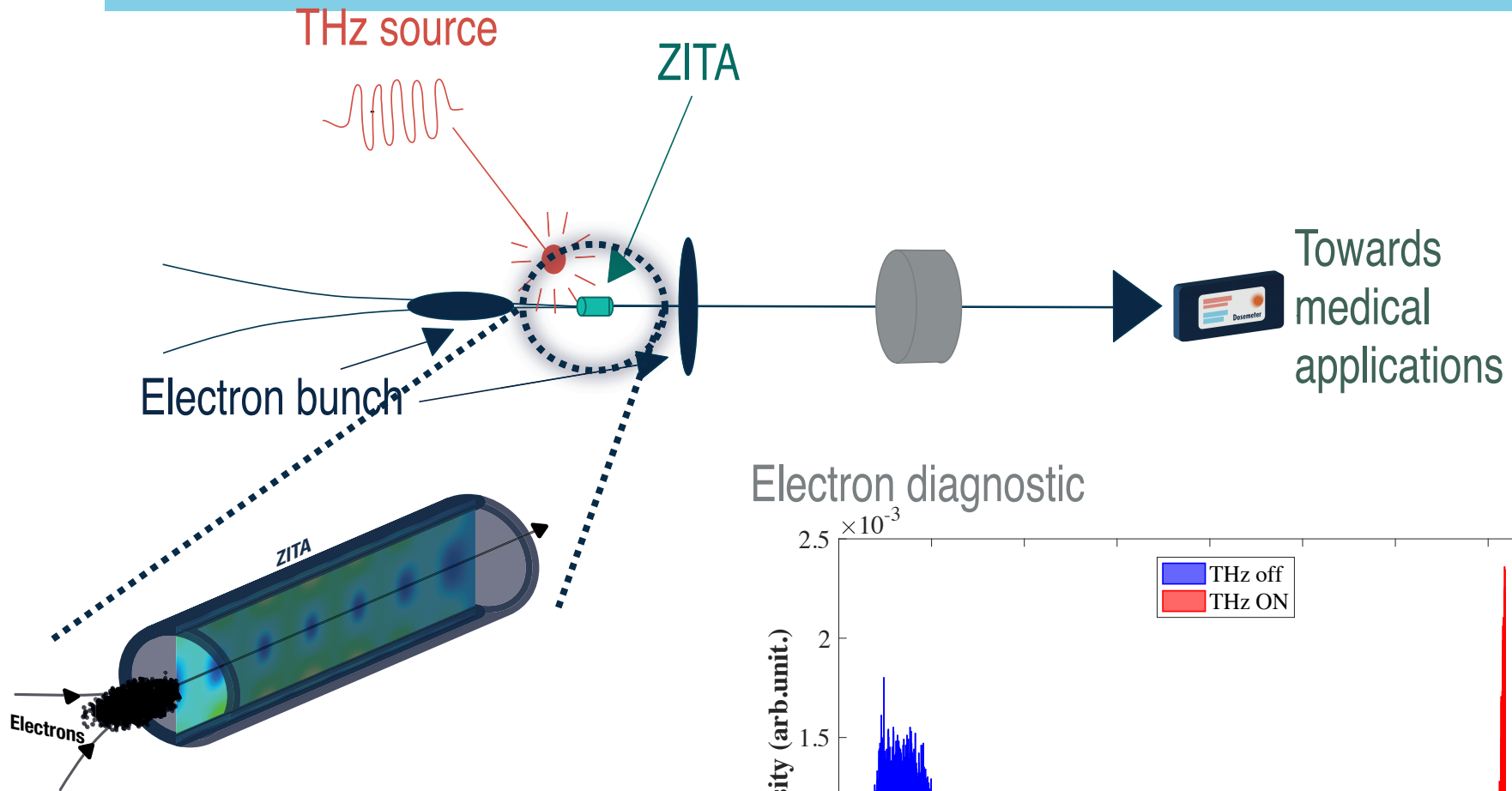
Fort courant crête

- La vision à long terme de TWAC est de développer **un accélérateurs d'électrons léger et compact** avec un important gradient de gain d'énergie avec de nombreuses applications pratiques, en particulier dans le domaine de la **radiothérapie**
- Structure à fort gradient dans la bande THz
- Charge 10-100pC, paquets dizaine de femtoseconde de long → fort courant crête

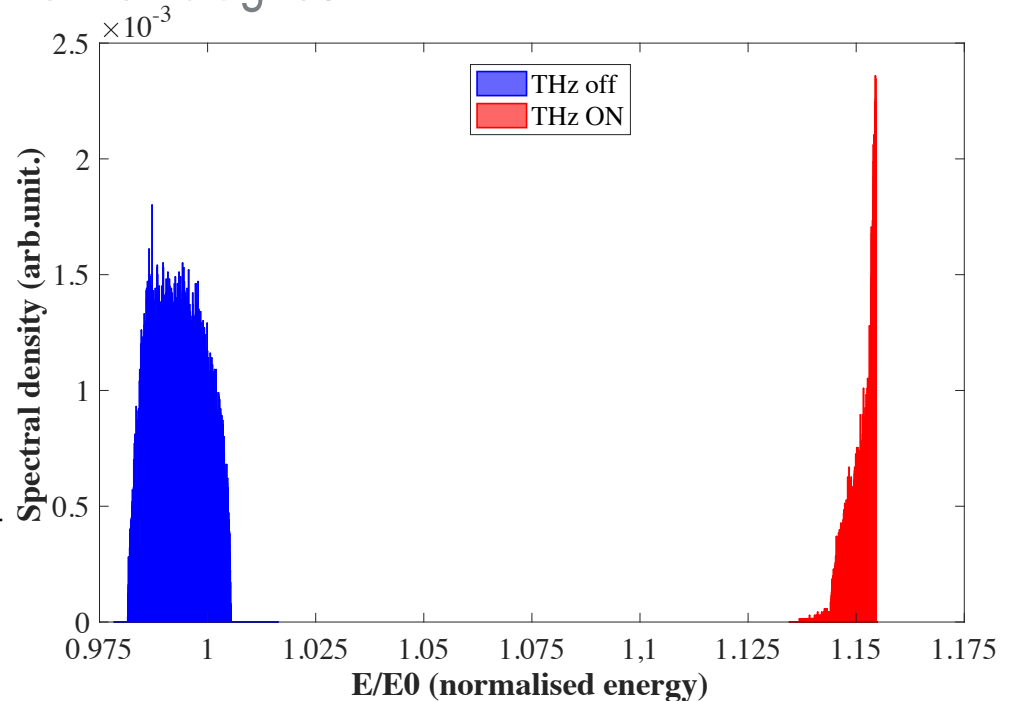




TWAC : gain d'énergie attendu



Electron diagnostic



Financement European innovation council
L'EIC **soutient les équipes de recherche** pour la recherche et le développement de **technologies innovantes qui sont à fort risque** et à fort potentiel avec des collaborations scientifiques interdisciplinaires de pointe



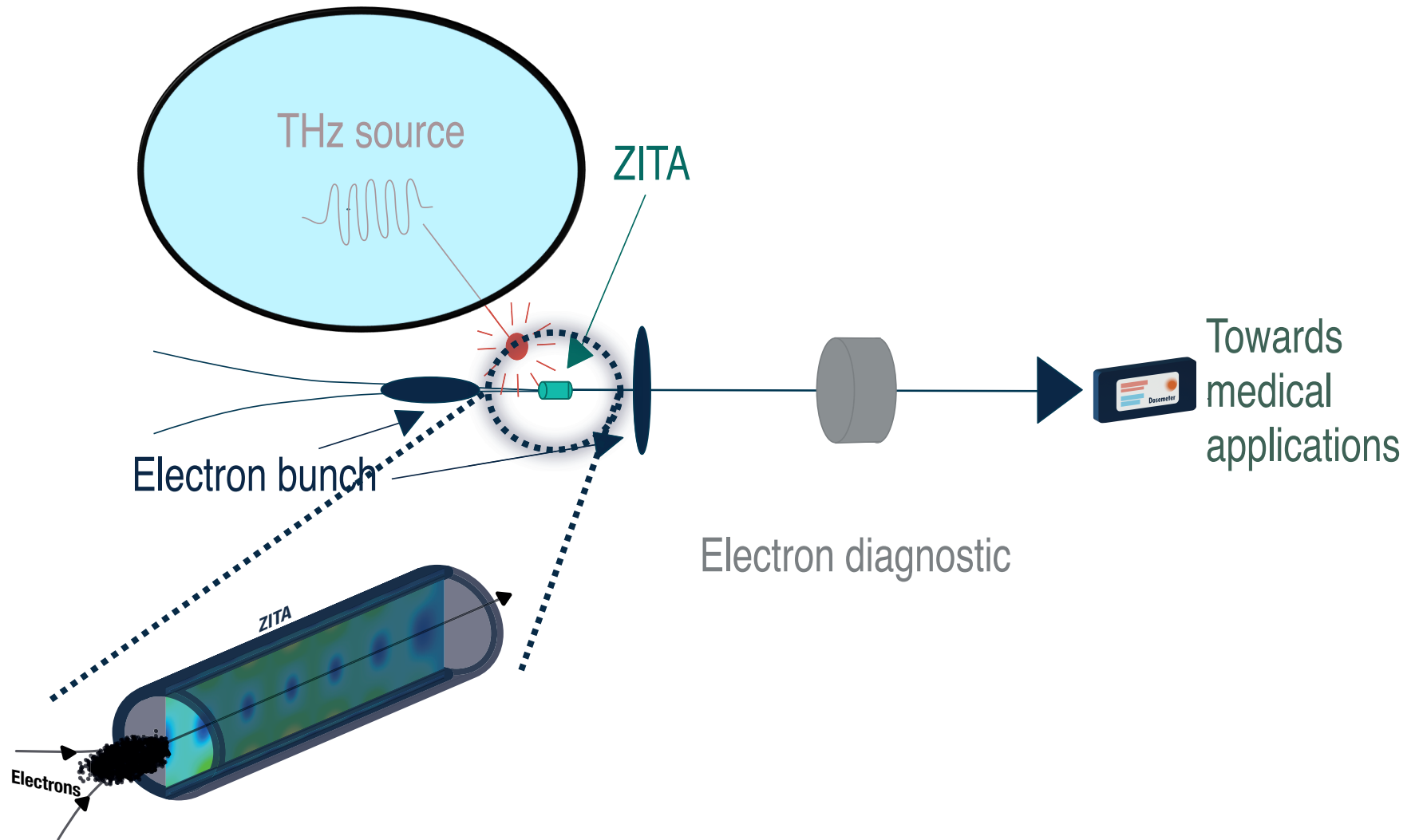


Le consortium



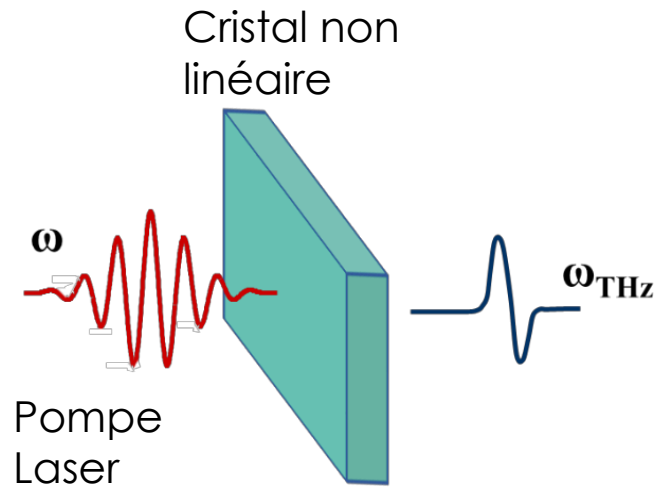


TWAC

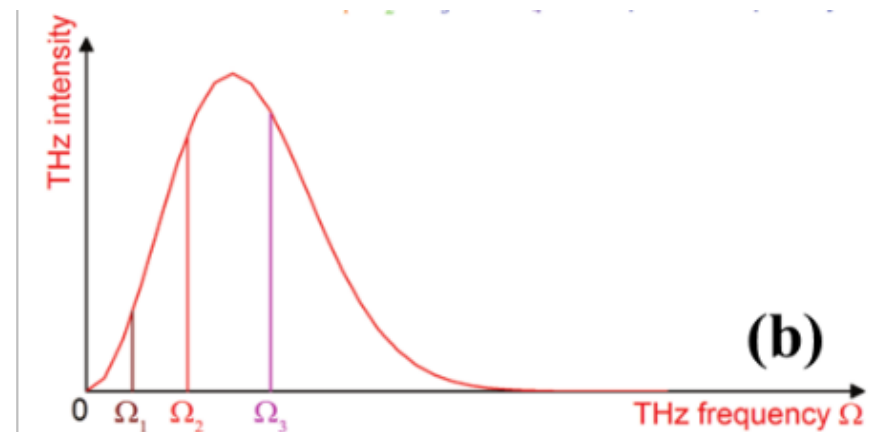
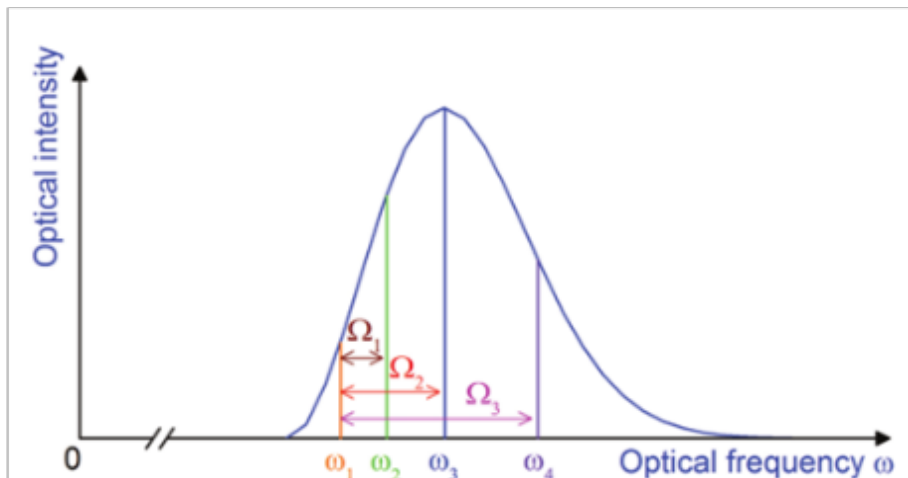




Génération THz : rectification optique

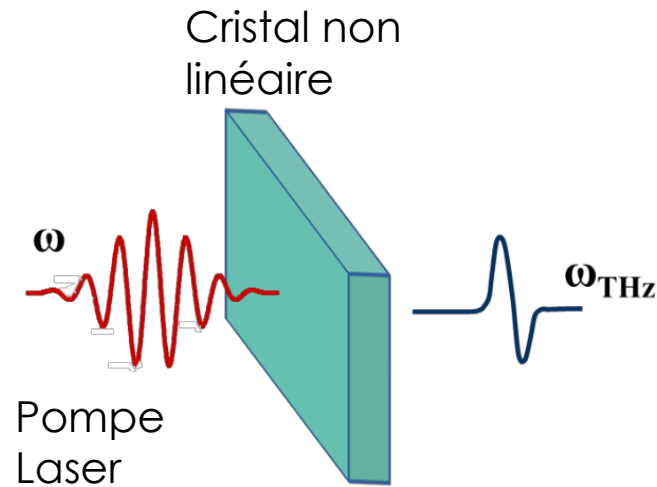


- La generation des differences de fréquence au passage d'un cristal non linéaire (susceptibilité optique)

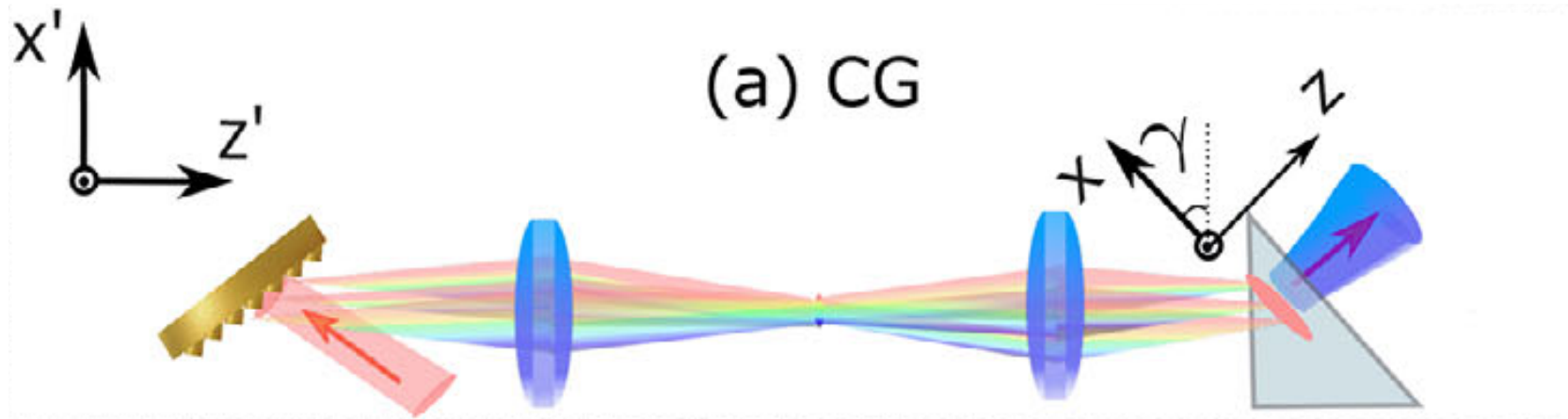




Génération THz : rectification optique



- J. Hebling@pecs est l'un des pionniers de la génération THz par tilted pulse front

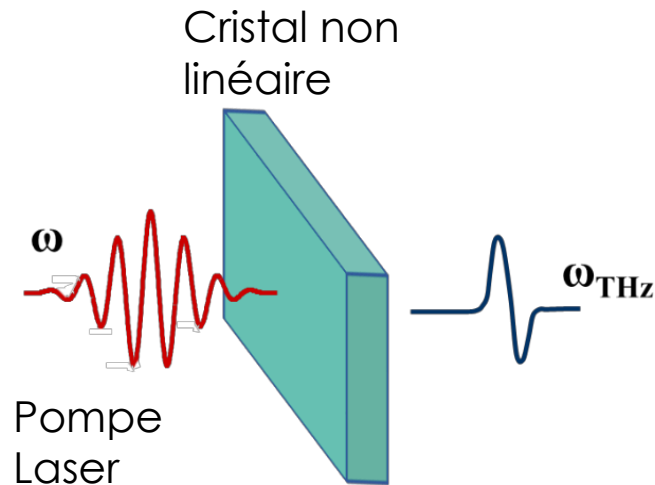


Laser Photonics Rev. **2020**, *14*, 2000021

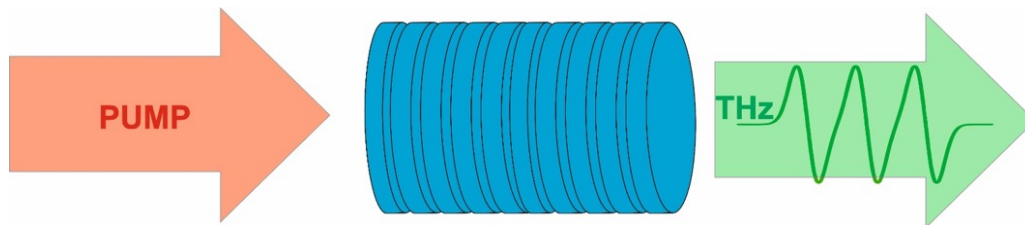




Génération THz : rectification optique

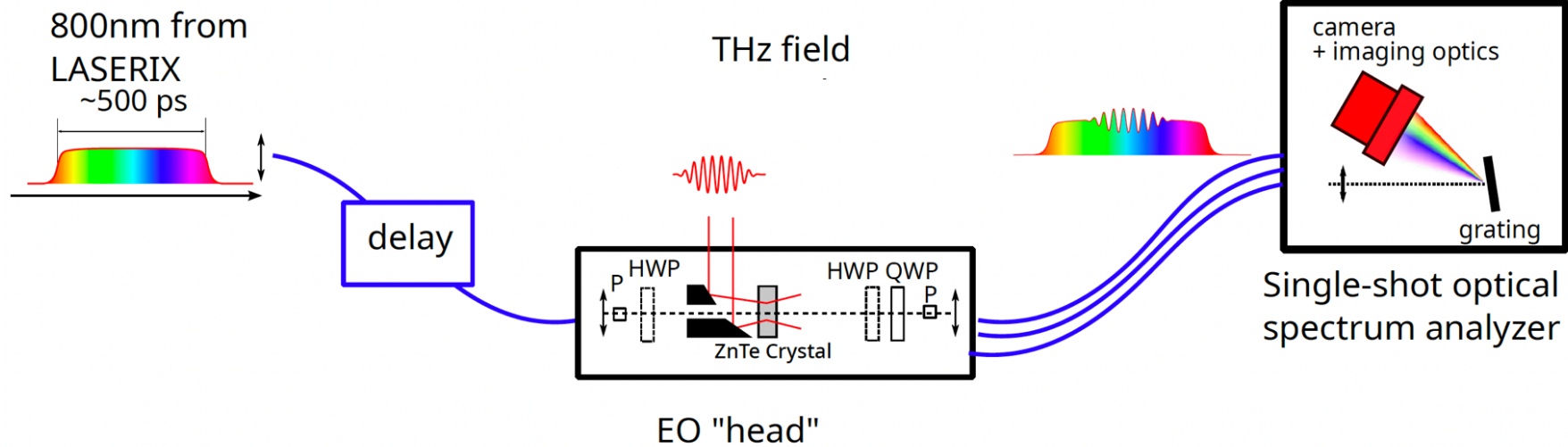


- J. Hebling@pecs est l'un des pionniers de la generation THz par tilted front pulse
- Simulation et premiers design de la source → Gradient attendu jusqu'à ~100 MV/m





Diagnostic THz



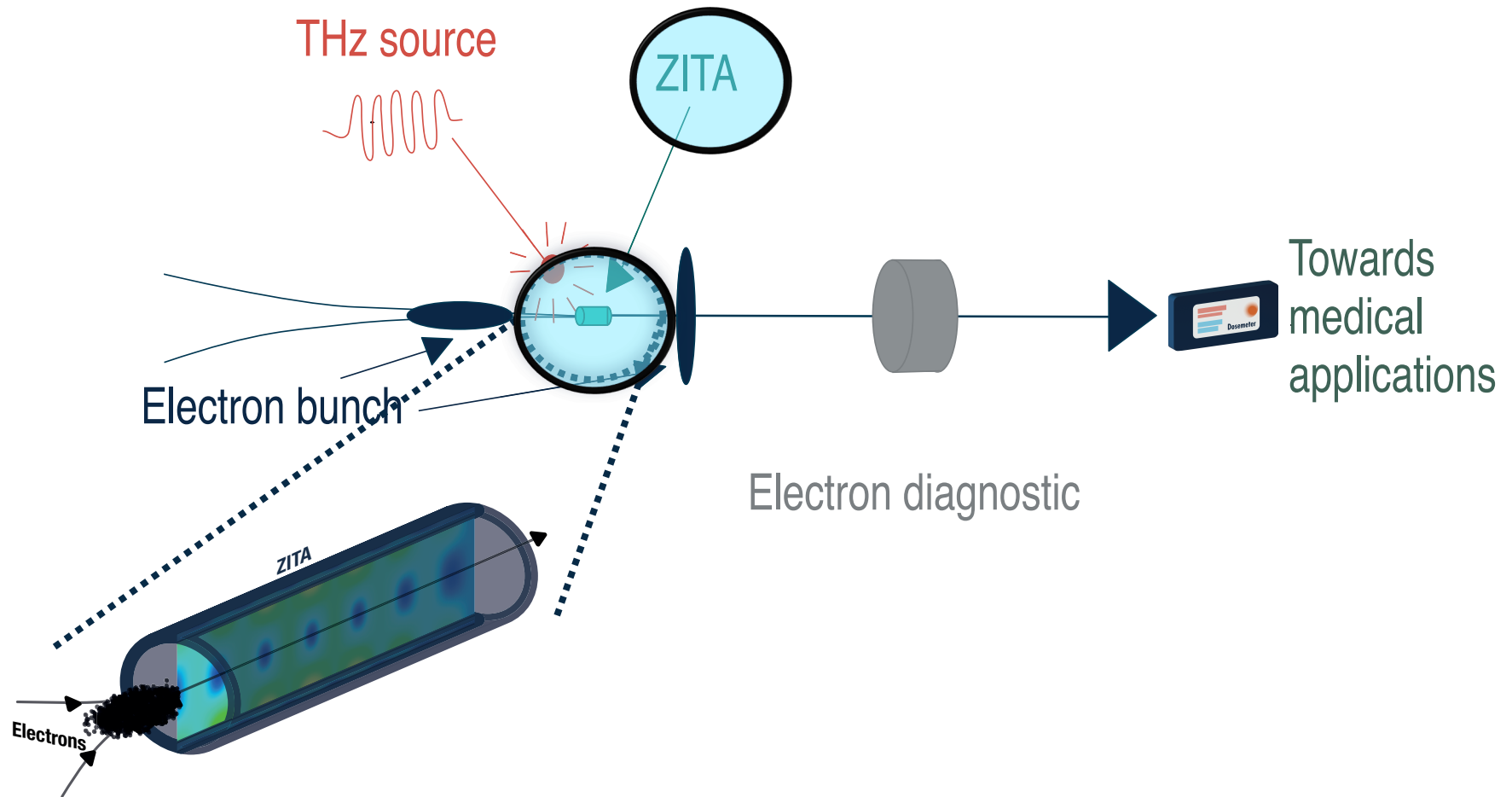
PhLAM

Roussel et al. Light Science & Application 11, 1-14 (2022)





DTA : TWAC

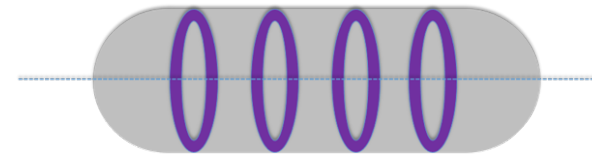




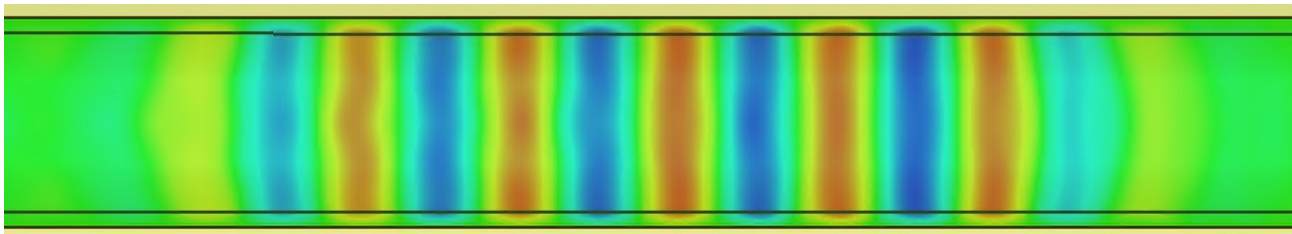
Principe d'accélération

- Guide d'onde circulaire est la base des cavités accélératrices
- Mais la vitesse de phase de l'onde dans un conducteur parfait est plus grande que la vitesse des électrons
- Pour conserver le synchronisme entre les deux, il faut ralentir l'onde

Iris dans les structure standard RF

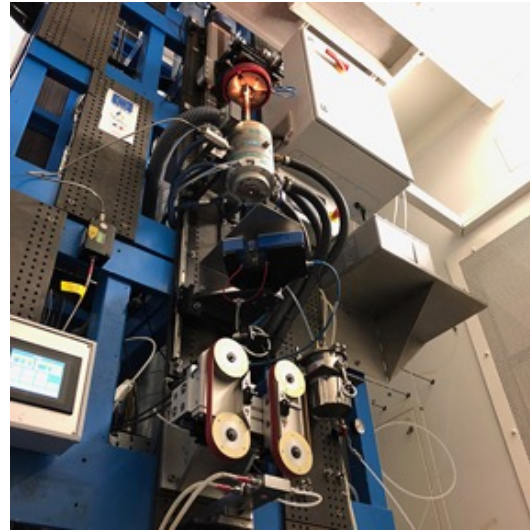
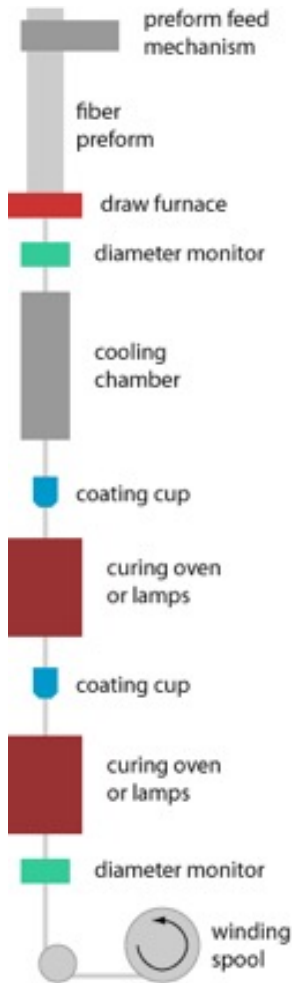


En utilisant un diélectrique





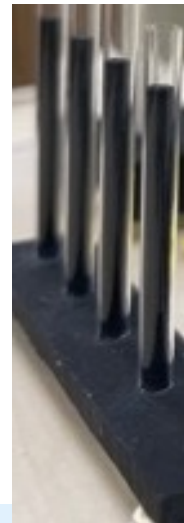
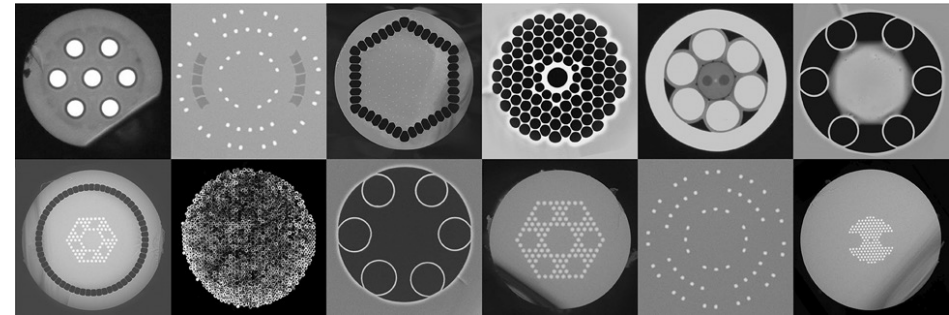
ZITA : Zita Is The Accelerator



- utilisation de préforme de fibre (cm-scale)



PhLAM

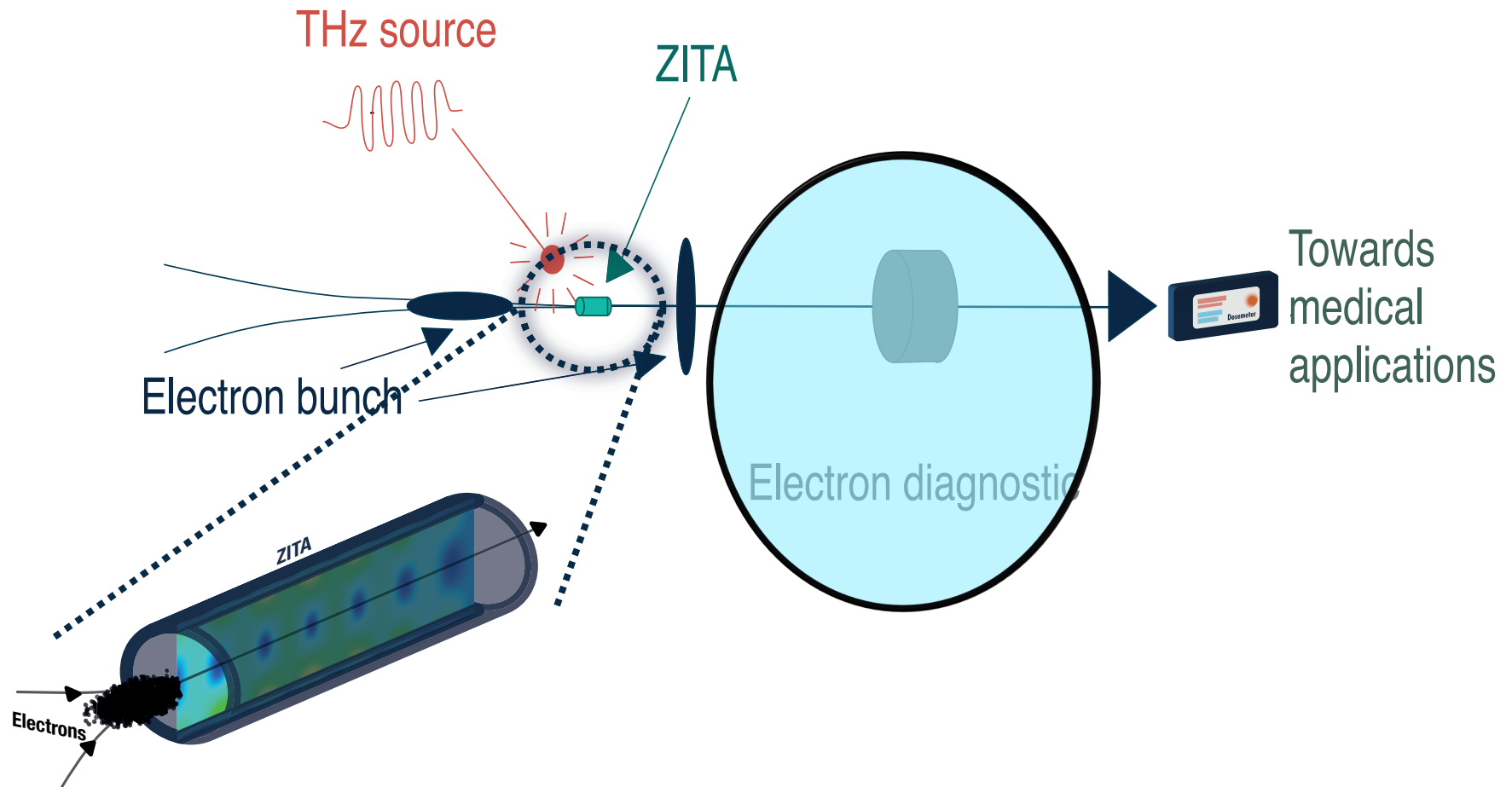


ZITA : Premiers prototypes prêts pour des tests avec la source THz





DTA : TWAC



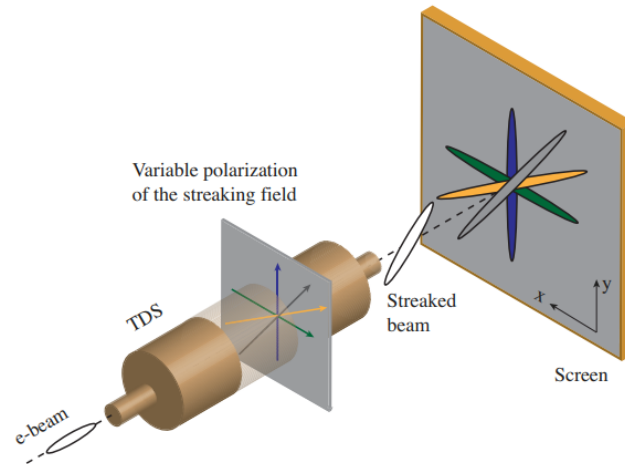


Diagnostic temporel

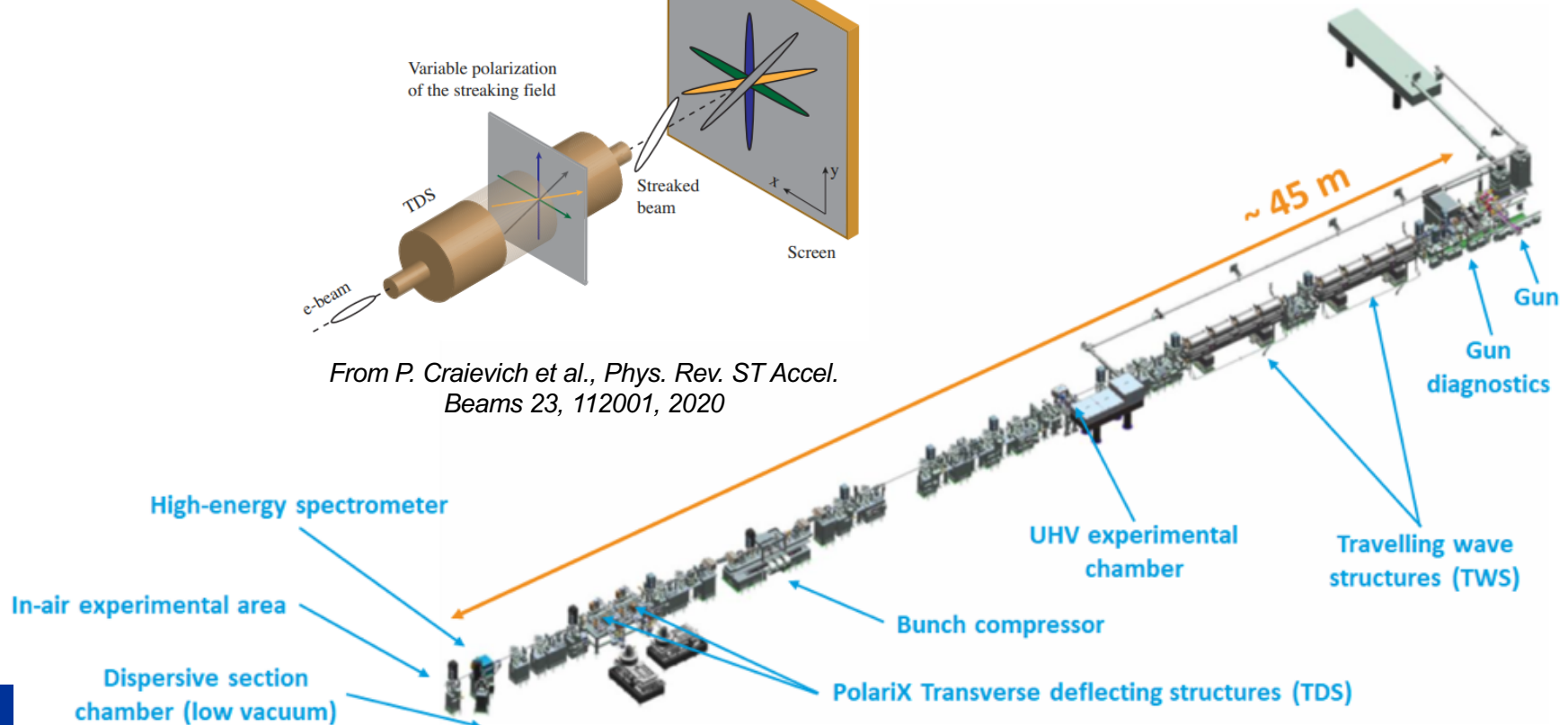


- ▣ ARES : nouvel accélérateur de DESY
- ▣ Banc de test et benchmark des diag.temporal – paquets courts

Properties	Target value	Status
Charge	0.05 to 200 pC	0.03 to 280 pC
Momentum	50 to 150 MeV/c	20 to 150 MeV/c
Momentum spread	10^{-4}	10^{-4} (res. lim.)
Transverse emittance	$< 0.8 \pi \text{ mm.mrad}$	$\approx 0.07 \pi \text{ mm.mrad}$
Duration	Sub-fs to ≈ 10 fs	≈ 20 fs (res. lim.)
Arrival time stability	≤ 10 fs rms	???



From P. Craievich et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams 23, 112001, 2020





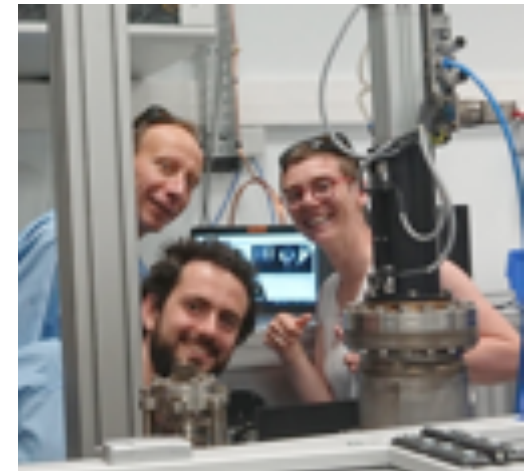
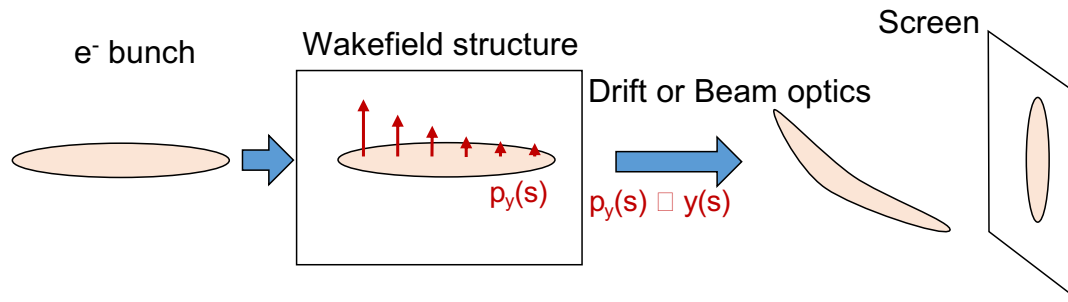
Diag : Passif contre optique !



Passive streaking : Beam driven wakefield

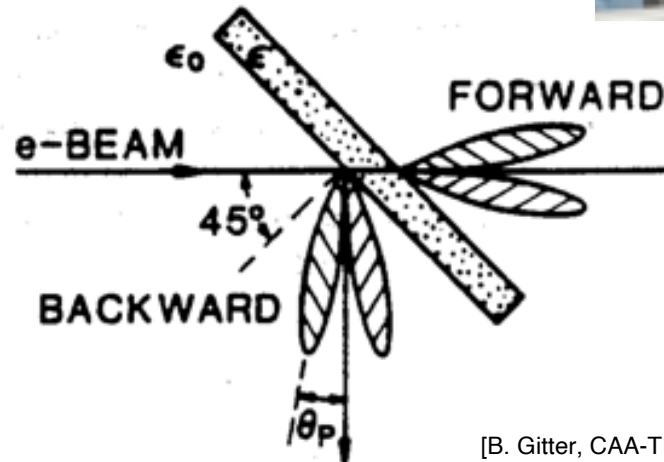
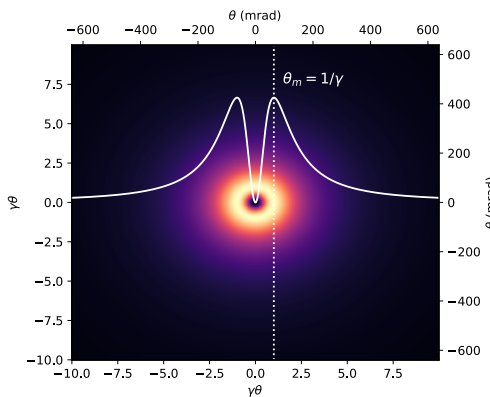
- Pas de source de puissance nécessaire ⚡
- Auto-synchronisé ⌚

Bettoni, S. et al. *Phys. Rev. Accel. Beams* 19, 021304, 2016.
 Seok, J. et al. *Phys. Rev. Accel. Beams* 21, 022801, 2018.
 Dijkstal, P. et al. *Phys. Rev. Research* 4, 013017, 2022.



Rayonnement de transition coherent

- auto-référencé: pas besoin de trigger externe
- Information qualitative sur la compression

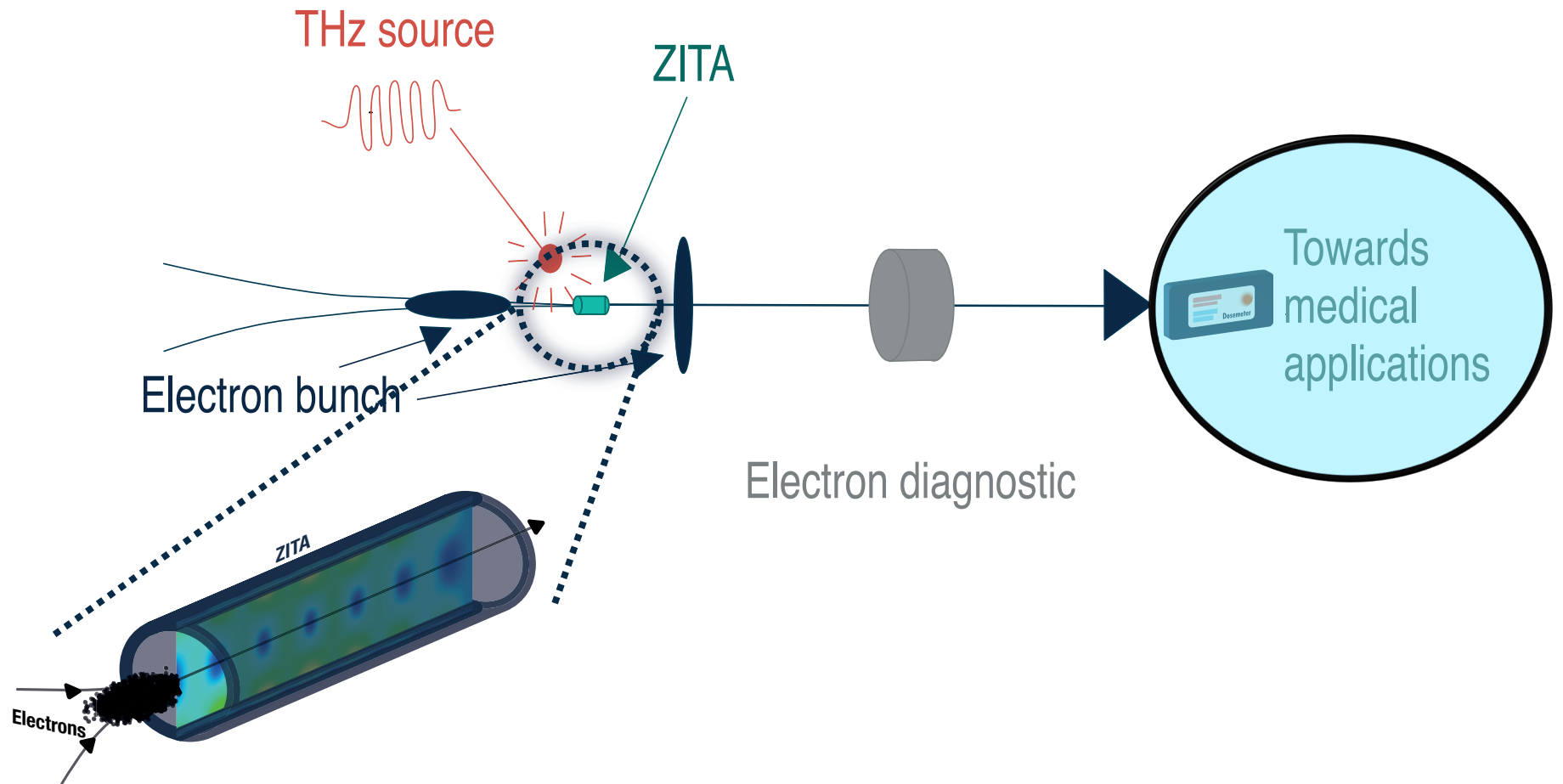


[B. Gitter, CAA-TECH-NOTE, 1992]



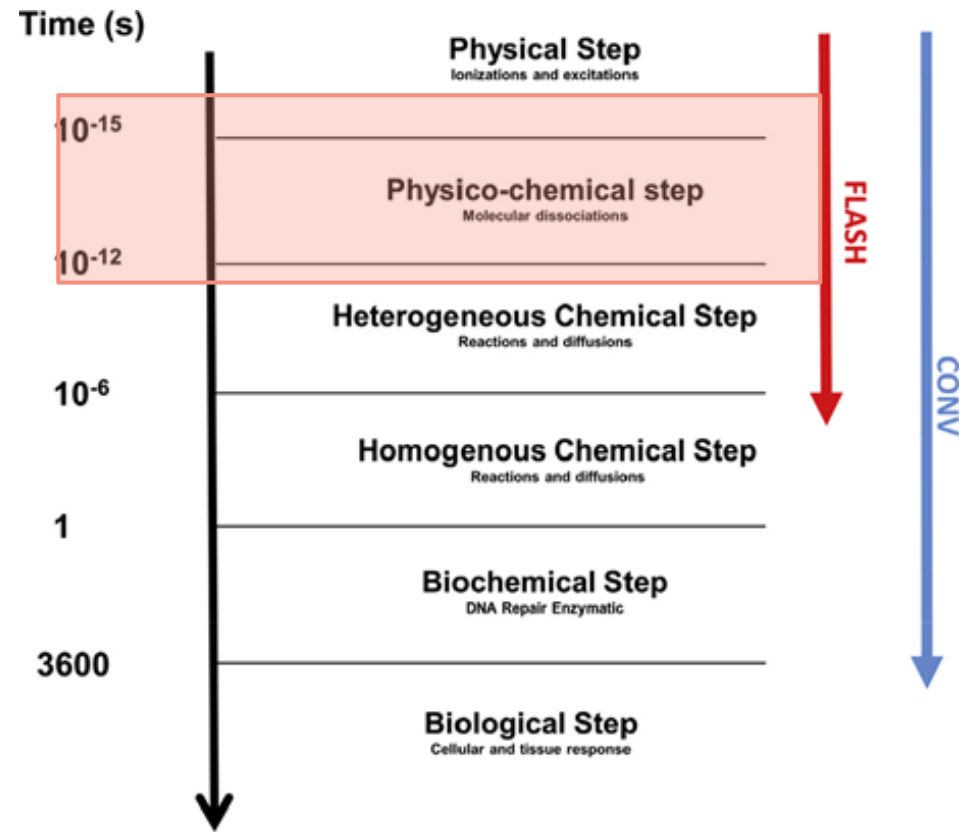
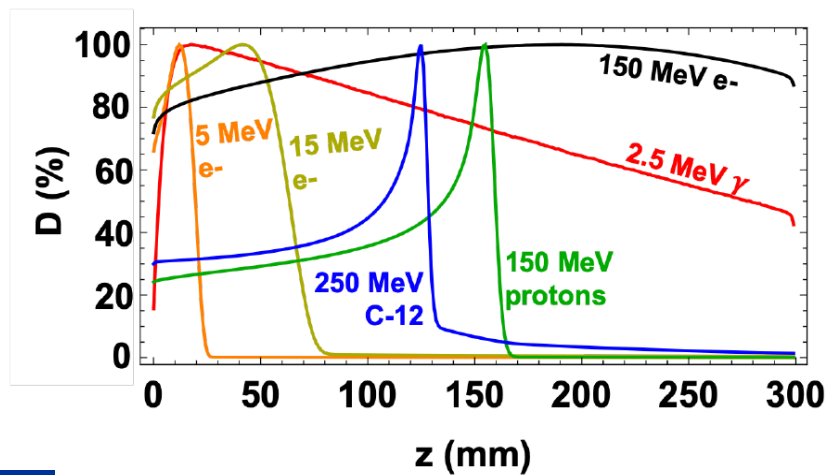
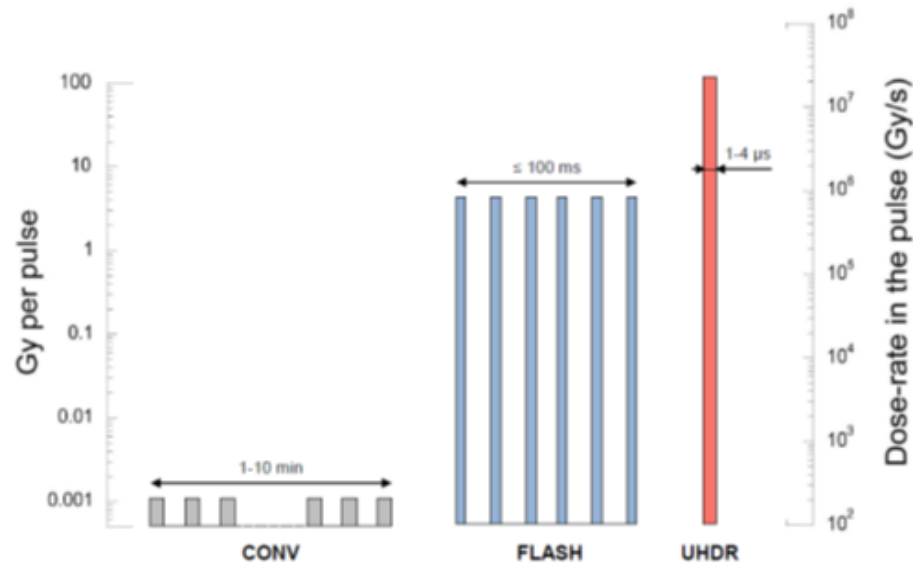


DTA : TWAC



La flash thérapie

Temporal structure of energy deposition

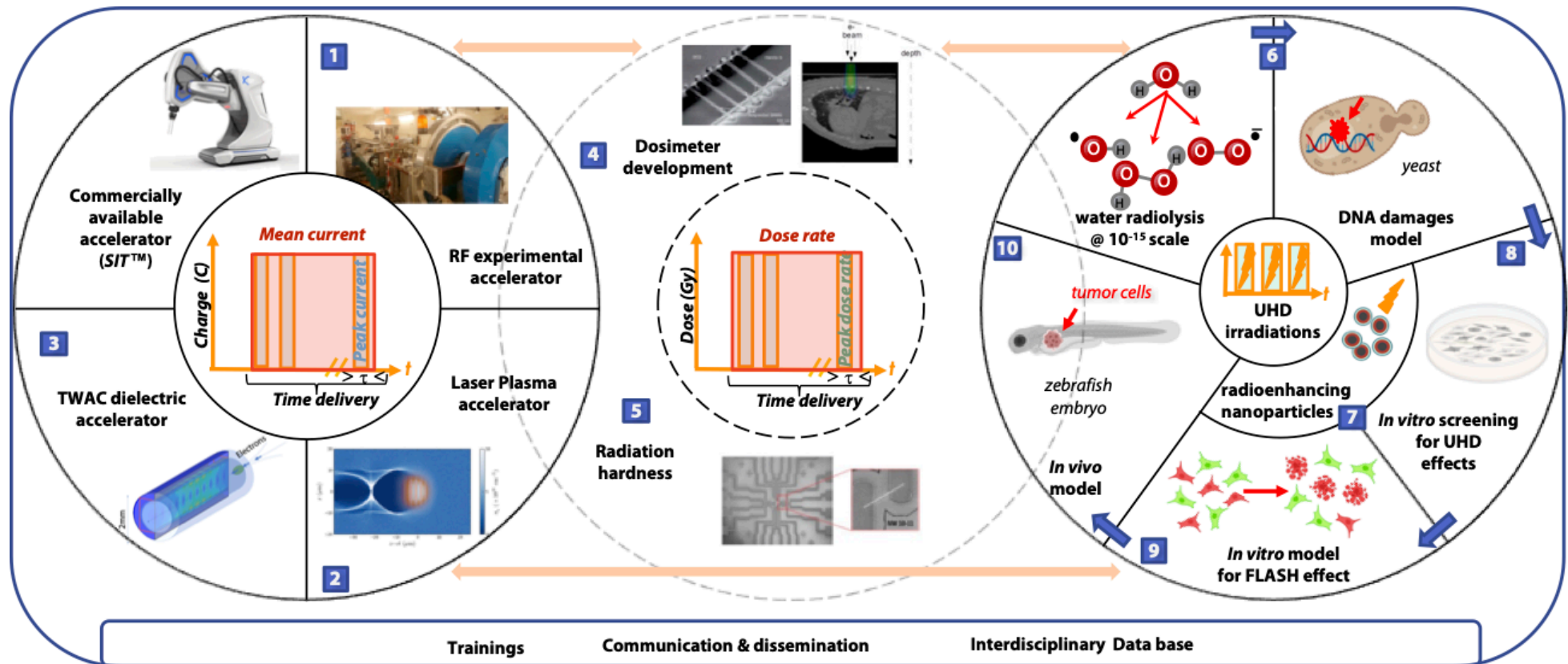


Vozenin et al., ClinicalOncology 31 (2019) 407e415



Acceleration par laser et flash thérapie: un rêve pour les deux ?

- Compacité et le besoin de monter à 250 MeV pour la flash requière des nouvelles méthodes d'accélération
- Les deux communautés (bio et accélérateurs) doivent répondre à la question :
 - Est-ce que les paquets courts sont adaptés à la flash (ps-fs time scale) ?





Conclusions et perspectives

Premier projet évalué (RP1) par la CE sous horizon europe!

Sélectionné pour l'Innovation radar questionnaire de l'EIC

Nonbreuses sollicitations pour les rdv innovation

Exemple de montage pour les correspondants Europe et ingénieur projet européen

- ▣ THz source
 - ▣ Conception validée gradient attendu ~ 100 MV/m pour la v0
 - ▣ Validation expérimentale de la source fin 2023
 - ▣ Diagnostic par electro optic sampling

- ▣ ZITA
 - ▣ Etudes théorique v0 terminée, v1 en cours
 - ▣ Premiers prototypes réalisés
 - ▣ Caractérisation 'bas niveau' en cours

- ▣ Diagnostic temporal
 - ▣ Passive streaking : premier modèle validé
 - ▣ CTR : premier tests en faisceau à venir 2023-2024

Next

- Première démonstration expérimentale d'accélération : 2024
- Démonstration de la compression : 2025



Collaboration TWAC

CNRS (France)



IJCLab: G. Martinet, C. Bruni, J.-N. Cayla, R. Ollier, M. Amiens, V. Chaumat, A. Gonnin, D. Auguste, K. Cassou, O. Dalifard, V. Soskov, P. Puzo, M. Pittman, M. Omeich, M. Ben Abdillah, P. Gauron, V. Dalifard

PhLam: E. Roussel, C. Szwaj, S. Bielawski, M. Le Parquier, H. Damart, G. Dekyndt



PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
UNIVERSITY OF PÉCS

University of Pécs (Hungary)

- J. Hebling, G. Krizsan, G. Toth, Z. Tibai, L. Palfalvi, G. Polonyi, S. Turnar, G. Almasi



Funded by
the European Union

CSIC (Espagne)



- C. Guardiola, C. Fleta

DESY (Germany)



- T. Vinatier, M. Kellermeier

ITEOX (France)



- T. Oksenhendler, R. Ollier

Radiabeam EU (Switzerland)

- A.-L. Lamure



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement N° 101046504.