

Tourniquet Section 01
06/11/2018

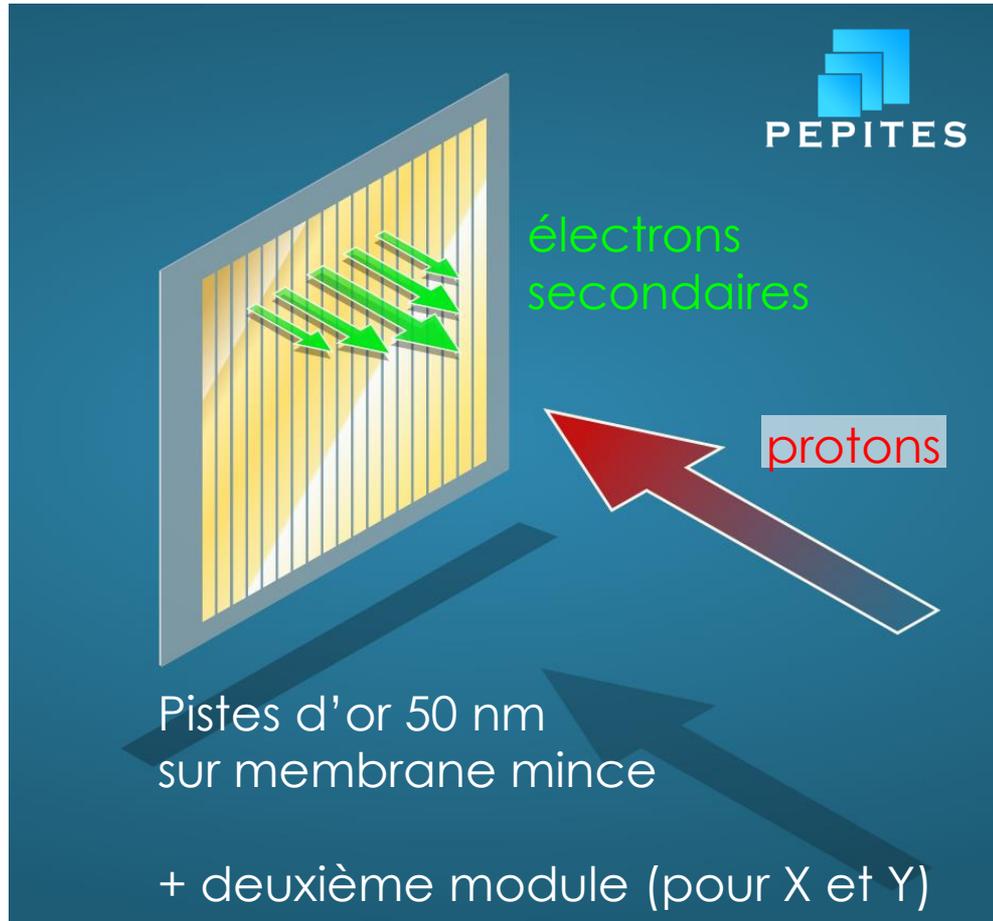
PEPITES

Groupe PEPITES

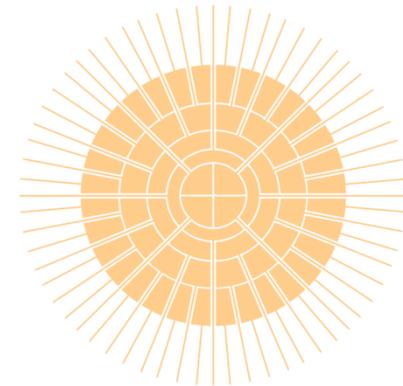
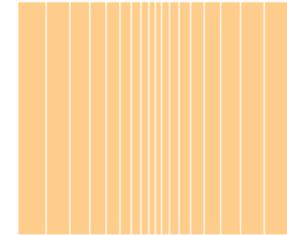
Bilan 2013-2018

PEPITES

Profileur à Electrons secondaires Pour Ions Therapeutiques



Construction par méthodes de « Couches Minces »
nombreuses déclinaisons possibles



Composition actuelle du groupe

- 5 permanents :

- **Yannick GEEREBART** (IR élec.) 10%
- **Frédéric MAGNIETTE** (IR info.) 5%
- **Pascal MANIGOT** (IE méca.) 75%
- **Christophe THIÉBAUX** (CR) 75%
- **Marc VERDERI** (DR) 60%

- 0 doctorants

- 1 postdoc :

- **Bruno BOYER** (postdoc) 100%
 - CDD 3 ans IN2P3 nov. 2014 – oct. 2017 ;
 - CDD 18 mois ANR nov. 2017 – mar. 2019;
 - Sujet : « Développement d'un moniteur ultra-mince pour faisceau de particules chargées »
 - Notamment en charge de l'acquisition des données, du pilotage des setups de test et de l'analyse des données

Evolutions récentes:

- -1 permanent :
 - **Denis BERNARD** (DR) jusqu'en 2014 (en parallèle d'HARPO, maintenant sur FERMI), co-initiateur du projet ; mais toujours dans la boucle pour les questions de brevet
 - **Rémi CORNAT** (IR élec.) jusqu'en juin 2017 (maintenant au LPNHE)
 - Suite prise par Yannick
 - **Miguel RUBIO-ROY** (IR info.) jusqu'en mai 2017 (maintenant à SPINTEC, Univ. Grenoble Alpes / CNRS / CEA-INAC)
 - Suite prise par Frédéric
- 0 thèses soutenues
- 0 HDR
- 0 postdoc

Organisation-fonctionnement du groupe

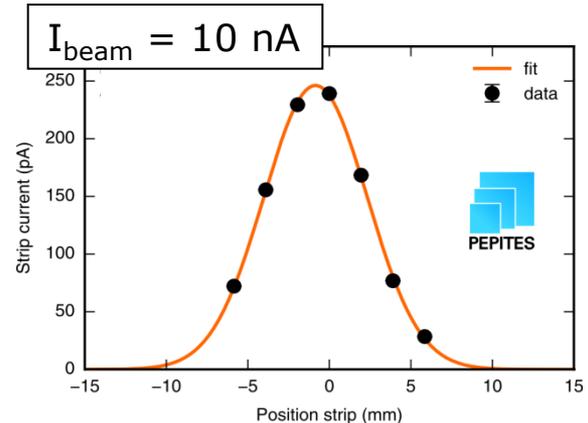
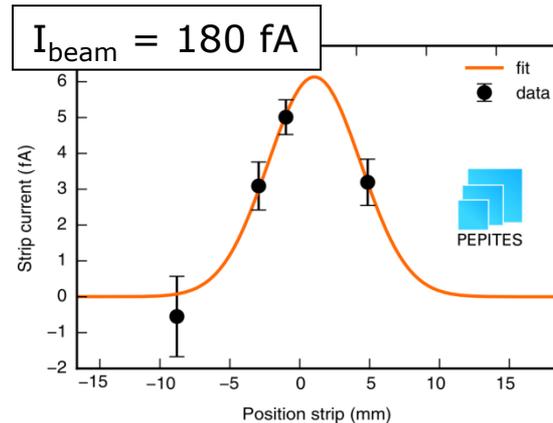
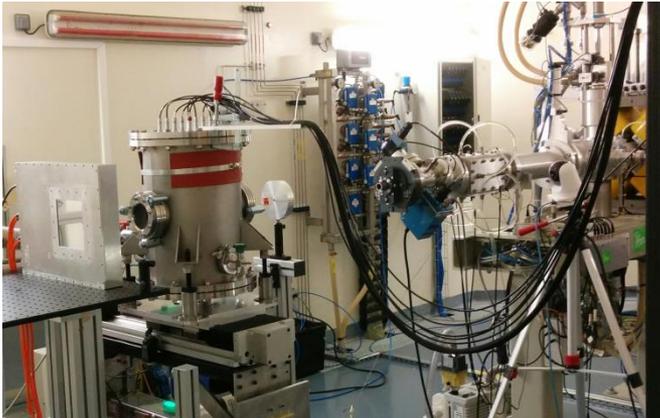
- **Contexte:** l'activité PEPITES, initiée au LLR en 2012, bénéficie depuis l'été 2017 d'un financement ANR et d'un autre de P2IO
 - LLR, porteur du projet (resp. tâches ANR [X])
 - [1] conception et réalisation zone sensible, [2] mesure taux SEE, [3] système d'insertion sur la ligne, [6] intégration, [7] outreach
 - Partenaires :
 - ARRONAX : [4] étude d'endommagement sous irradiation
 - CEA/Irfu/DEDIP : [5] ASIC de lecture bas-bruit
- **Au LLR:**
 - Bruno Boyer (Postdoc) : analyse, acquisition & pilotage beam test, outreach
 - Yannick GEEREBAERT (IR élec.) : acquisition beam test et finale, interface avec ASIC CEA, définition hybridation électronique – détecteur, interface vers acquisition
 - Frédéric MAGNIETTE (IR info.) : software d'acquisition (Pyrame), acquisition
 - Pascal MANIGOT (IR méca.) : responsable projet mécanique, R&D et réalisation zone sensible, prod. échantillons à irradier, méca. détecteur, syst. insertion, recherche partenariat
 - Christophe THIÉBAUX (CR) : coordination technique, design zone sensible, intégration, outreach
 - Marc VERDERI (DR) : responsable groupe, porteur projet ANR
- **Fonctionnement du groupe:**
 - Recherche de consensus
 - Réunion hebdomadaire
 - Bookkeeping réunions et documents dans Git

Faits marquants

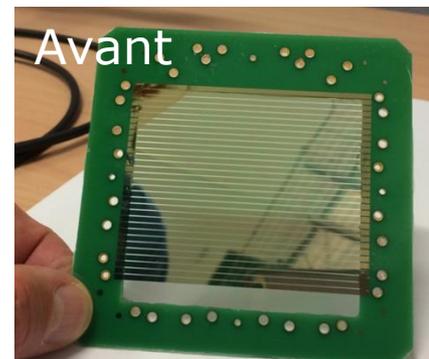
- **2013:**
 - Accord de confidentialité entre IBA et le LLR/Ecole polytechnique/IN2P3:
 - Information sur caractéristiques faisceaux et besoin de monitoring en protonthérapie : moniteur ultra-mince ($< 15 \mu\text{m}$ « **Water Equivalent Thickness** »), résistant aux radiations, fonctionnant entre 70 et 230 MeV/c, à une intensité faisceau $O(\text{nA})$
- **2013-2015:**
 - Élaboration d'une solution de moniteur ultra-mince pour faisceau de particules chargées (après élimination de plusieurs options):
 - Moniteur à électrodes segmentées émettrices d'électrons secondaires, construites par méthodes de couches minces.
- **2016-2017:**
 - Obtention preuves de principes:
 - Fabrication électrodes ultra-minces
 - Connectique pistes d'or 50 nm épaisseurs
 - Premier profilage de faisceau à ARRONAX
 - Vérification haute linéarité du système
- **Été 2017:**
 - Obtention financement ANR sur 3 ans et P2IO sur 2 ans
- **Février 2018:**
 - Dépôt de brevet (technique applicable bien au-delà du médical)
- **Mai-Juin 2018:**
 - Premier poster en conférence et premier proceeding (Oct. 2018)
- **Septembre 2018:**
 - Tenue à 1000 MGy en e^- 2.0 MeV observée (dégâts minimales), test au LSI

Production Scientifique - Analyses de Physique -

- 2016 - 2017:
 - Tests en faisceau de proton de 68 MeV, à ARRONAX
 - Démonstration de la viabilité de l'approche
 - Mesure taux d'émission e^- secondaires aux énergies intermédiaires (en cours)
 - Vérification de la haute linéarité du phénomène d'émission d' e^- secondaires
 - **Ouverture machines médicales hautes intensités (escalade de dose)**



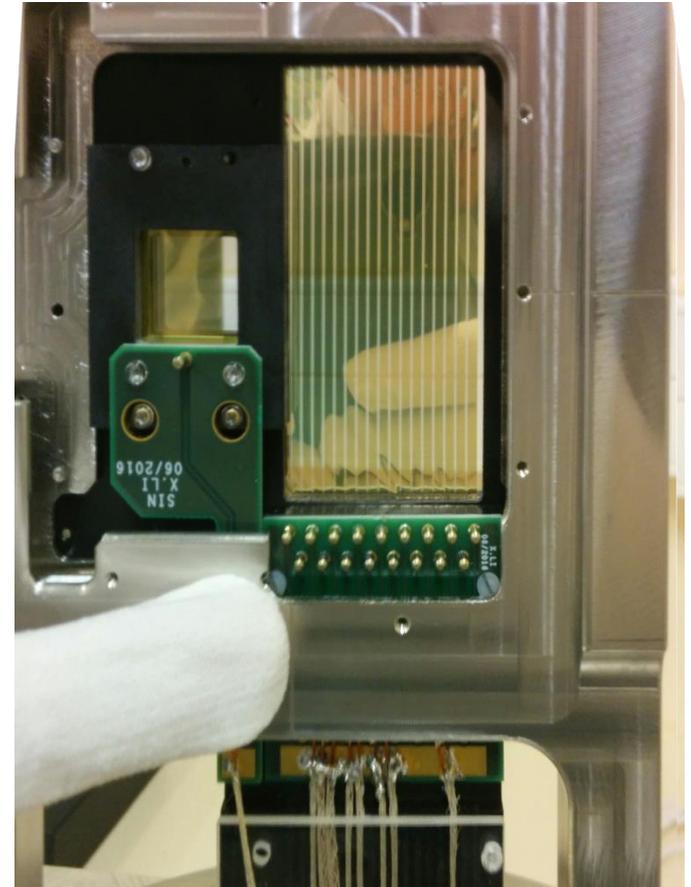
- 2018:
 - Tests de tenue aux radiations au LSI
 - Pistes d'or sur CP1
 - Faisceau e^- 2.0 MeV
 - Tests à 10, 100, 1000 MGy
 - **Soit 10 fois la dose annuelle requise en médical**



Production Scientifique

- Contributions techniques -

- Réalisation d'un setup pour premiers tests:
 - Enceinte à vide:
 - Destinée à accueillir le prototype de moniteur
 - Assure dérive des électrons sous vide
 - Système de lecture de signaux
 - à base de modules commerciaux
 - Système d'acquisition:
 - Pyrame
 - Prototype de moniteur:
 - Deux plans en regards:
 - Un à pistes 50 nm épaisseur, émetteur
 - Un plein 100 nm épaisseur, de collection
 - Or sur Kapton 8 μm ou PEEK 6 μm
 - Et connectique pistes !
 - Aussi testé:
 - Or sur SiN, 100 nm épaisseur, radiorésistant
 - Mais surface petite et très délicat à manipuler
- Nouvelles réalisations (2018):
 - Nouveau matériau: CP1, un polyimide
 - Développement pour voile solaire
 - Société NeXolve, US
 - 1.5 μm épaisseur
 - Dont nous avons donc testé la tenue aux radiations au LSI
 - **Notre option pour le moniteur final !**



Production scientifique

- Bilan des Publications 2013-2018 du groupe PEPITES

- Contexte brevet :
 - Dépôt brevet prévu sur ce développement
 - Questions d'antériorité et confidentialité ont contraint à limiter les communications
- Brevet :
 - Dépôt:
 - Demande Française n° 1850979 **06/02/2018**
 - Aux noms de : ECOLE POLYTECHNIQUE, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
 - « SYSTEME DE CARACTERISATION D'UN FAISCEAU DE PARTICULES CHARGEES ET MACHINE DE PRODUCTION D'UN FAISCEAU DE PARTICULES CHARGEES COMPRENANT UN TEL SYSTEME
 - BERNARD Denis, BOYER Bruno, MANIGOT Pascal, THIEBAUX Christophe, VERDERI Marc
 - En cours d'instruction à l'INPI
- Publication:
 - Première publication :
 - Proceeding de "Frontier Detectors for Frontier Physics, 14th Pisa meeting on advanced detectors" Ile d'Elbe, 27 mai - 2 juin, 2018
 - Bruno BOYER *et al.*
 - <https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.09.134>

Visibilité et rayonnement

- 1 présentation à des conférences et séminaires:
 - 2018:
 - Frontier Detectors for Frontier Physics, 14th Pisa meeting on advanced detectors
 - Ile d'Elbe, 27 mai - 2 juin, 2018
 - poster Bruno Boyer (postdoc)
- Highlights récents:
 - Invitation "JeudiX", Marc Verderi, 14 Jun 2018
 - https://www.youtube.com/watch?v=_rsVtJNPObU&t=8s



Development of an ultra thin monitor for charged particle beams

B. Boyer^a, R. Cornat^d, E. Delagnes^d, Y. Geerebaert^a, O. Gevin^d, F. Haddad^{b,c}, C. Koumeir^b, F. Magniette^a, P. Manigot^a, F. Poirier^b, M. Rubio-Roy^f, N. Servagent^c, C. Thiebaux^a, M. Verderi^d

^aLLR, Ecole polytechnique, CNRS/IN2P3, 91128 Palaiseau, France, ^bGP ARRONAX, Saint-Herblain, France, ^cSUBATECH, IMT Atlantique CNRS/IN2P3, Université de Nantes, France, ^dIFREPA, CEA, Université Paris-Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette, France, ^eLaboratoire de Physique Nucléaire, Sorbonne Université - CNRS/IN2P3, UMR 8501 - SPHINX et technologie des composants

Protontherapy

- Maximum dose near end of proton track → Bragg peak
- Low lateral scattering in the tissue → beam stays focused on the tumor
- Bragg peak position adjustable by beam energy → Spread Out Bragg Peak (SOBP)
- Therapeutic energy range: 70 - 330 MeV
- Beam current → nA
- Application: resistant, inoperable (skull) or pediatric cancers

Pencil Beam Scanning Technique

Thickness is a critical parameter the thicker the profiler, the larger is the geometrical dispersion

Our beam monitor fulfills this requirement through its features

- Low beam perturbation thanks to a 10 μm WET (Water Equivalent Thickness)
- Durability (dose deposited > 10⁶ Gy)
- Wide dynamic range
- Easy maintenance

Generating a signal with a thin material

Secondary Electron Emission (SEE)

- Surface process
- Only electrons close to the surface escape
- Low energy (few eV) → vacuum mandatory
- Yield $\sigma \propto dI/dx \rightarrow$ Strong signal = High Z

Detector principle

- Beam sampling with thin SEE emissive pattern deposited on thin dielectric substrate layer
- (X) sampling using SEE currents from strips
- Signal readout from the emission side → unaffected by EM fields in the beamline
- No filling gas → no mechanical constraint → thin materials usable

Gold

- High Z: 79 → Good signal level
- SEE is a surface process → 50 nm is enough (emission and conductivity)
- Oxide free → SEE yield is not modified
- Delamination can occur → Intermediate layer of chromium or plasma surface treatment

Polymer

- Light elements (C,H,O,N) → low perturbation
- Kapton and PEEK sustain high temperature (> 300°C)
- Radioresistance due to aromatic cycles
- Thicknesses available on the market: Kapton 8 μm, PEEK 6 μm, Mylar 1.5 μm and less.

Ceramic

- Ti decays → 900°C
- Nanometer thicknesses
- Brittle (handle with care!)
- No large self-standing foil → RSP

Detector principle validated
Next beam test planned at Orsay Proton Therapy Center

Future studies

- 2x8 channels
- Low noise electronics
- Radiation effects
- New materials
- New patterns

Acknowledgments
The authors wish to acknowledge Denis Tondelier from the IPEM, Denis Bernard from the LLR and Haffels. This project is funded by the ANR (ANR-17-CE31-0001) and the LLR PhD.

- Accueil de la réunion annuelle du Consortium ANR PEPITES
 - Au LLR, en décembre 2017
- Co-organisateur de la réunion annuelle du Consortium ANR PEPITES
 - À ARRONAX, en octobre 2018

Responsabilités (2013-2018)

- 2013 – 2017, l'avant ANR:
 - Projet développé en interne au LLR, avec contacts au LPICM → responsabilité en interne au LLR
 - Printemps 2016 : proto-collaboration avec ARRONAX, accord de confidentialité signé
- Depuis l'été 2017:
 - Projet ANR et formalisations afférentes
 - Projet comporte 8 tâches
 - Les responsables de tâche au LLR sont indiqués en gras

#	Task name	Contributors (ordered)
0	Coordination	LLR
1	Sensitive Area Designs, Production & Studies	LLR / ARRONAX
2	Secondary Electron Emission Signal Studies	LLR / ARRONAX
3	Beam Pipe Insertion Module	LLR / ARRONAX / CEA
4	Radiation Hardness & Damages	ARRONAX / LLR
5	Low-noise Electronics Readout	CEA / LLR
6	Integration and Final Prototype Characterization	LLR / CEA /ARRONAX
7	Impact strategy and Outreach	LLR

Responsables
Marc Verderi
Christophe Thiébaux
Marc Verderi
Pascal Manigot
Freddy Poirier (ARRONAX)
Olivier Gevin (CEA)
Christophe & Marc
Christophe

Responsabilités administratives et d'enseignement

- Enseignements:
 - Rien / PEPITES ; mais :
 - Christophe T. : - Organisateur Master Classes au LLR jusqu'en 2017
 - Marc V. : - Ecole de la physique au détecteur "analyse de physique : méthodes et outils", jusqu'en 2014
- Implications dans la vie de l'Université:
 - Rien / PEPITES
- Implications au niveau national:
 - Rien / PEPITES ; mais :
- Implications dans la vie du laboratoire:
 - Rien / PEPITES ; mais :
 - Pascal M. : - Correspondant valorisation jusqu'en 2015
 - Christophe T. : - Correspondant communication jusqu'en 2017
 - Journées portes ouvertes, Fête de la Science, Twitter LLR, etc.
 - Poster grand public Bruno B. protonthérapie
 - Responsable des séminaires jusque début 2015.
 - Marc V. : - Président du CS 2013 - 2014
- Demandes et gestion de supports financiers spécifiques:
 - ANR PEPITES (2017, sur 3 ans): LLR porteur
 - Allocation P2IO « R&D » (2017, sur 2 ans) : LLR seul

Projet scientifique

- **Projet ANR:**
 - Balise notre développement à moyen terme (2 – 3 ans)
 - But : réalisation d'un prototype entièrement fonctionnel de moniteur de faisceau ultra-mince ($< 10 \mu\text{m}$ équivalent eau), fonctionnant aux énergies intermédiaires, dans la gamme en intensité de $O(100 \text{ fA})$ à $O(10 \text{ nA})$
 - Inclut:
 - Zone sensible
 - Électronique de lecture
 - Système d'installation sur la ligne
 - Études de dégâts sous radiation
 - Ce moniteur sera installé sur une ligne d'ARRONAX, et utilisé en routine
- **Au-delà : maturation, valorisation**
 - Maturation : retour d'expérience d'ARRONAX
 - Retour essentiel sur la fiabilité, la robustesse, etc. du moniteur
 - **Véritable atout quant à l'adoption de la technique dans le médical !**
 - Valorisation :
 - Aspects industrialisation ne pourront être traités lors du projet ANR
 - Mais des difficultés et limitations pourront être identifiées
 - Contact avec SATT Paris-Saclay, en vue de répondre à ce type de questions
 - Poursuite contacts CPO / Institut-Curie pour promouvoir la technique

Evolution du groupe à venir

(FTE estimés)

- Effectif prévu / souhaité globalement stable
- Départ prévu : Bruno Boyer mars 2019 ou mars 2020
 - Dépendra du retour de l'AAP P2IO Postdoc
 - Financement d'un an de postdoc
 - Réponse le 15 novembre
 - Et si embauche CNRS, a priori, autre activité que PEPITES
- Thèse ?
 - Taille et durée du projet : idéales pour une thèse !
 - Nous avons candidaté à l'école doctorale PHENIICS/IDI en 2017 et 2018
 - Financement IDI 2018 supprimé après dépôt candidature
 - Tentative infructueuse auprès d'une fondation
 - Demande d'une bourse ou 1/2 bourse auprès de l'in2p3 cette année
 - En attente de la réponse
 - Si pas de succès cette année, pas de réitération l'année prochaine
 - Car décalage avec les échéances ANR serait trop important

Auto analyse du groupe

- **Points forts:**
 - Motivation et implication des gens du groupe
 - Artisan du développement de la technique
 - Complémentarité et solidité du Consortium ANR
 - ARRONAX et CEA/Irfu/DEDIP
 - Utilisation routinière prévue à ARRONAX → retour d'expérience
 - Projet très bien reçu par le public (outreach)
- **Opportunités:**
 - Environnement favorable : LPICM, LSI, ...
 - Intérêt manifesté par Institut Curie (CPO)
 - Proximité SATT Paris-Saclay
 - Invité récemment au réseau instrumentation faisceau de l'in2p3
- **Points faibles:**
 - Petite taille / criticité du groupe
 - Pas de financement de thèse trouvé
- **Risques:**
 - Extrême sensibilité aux fluctuations de financement