

Intégration de solutions mécatroniques DIY au service de la recherche

P. Roblin

*^a Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées; INPT,
UPS Laboratoire de Génie Chimique;
118 Route de Narbonne, F-31062 Toulouse France
^b CNRS, UMR 5503, F-31062 Toulouse, France*



Formation de biochimiste, bio ingénierie et biophysique structurale

1997 -2001 : Master de recherche en biochimie/biologie structurale, Université Paul Sabatier

2001 -2003 : Ecole d'ingénieur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse

2003 -2007: Doctorat de biophysique structurale, Université Paul Sabatier

Expériences professionnelles

2007 – 2009 : CDD chercheur CNRS au laboratoire d'enzymologie et de biologie structurale (Paris)

2009 – 2016 : Ingénieur de recherche/développement au synchrotron SOLEIL sur la ligne SWING

Depuis Septembre 2016 : Ingénieur de recherche CNRS au Laboratoire de génie chimique
responsable plateforme diffusion RX

Compétences développées au cours de la carrière

Caractérisation structurale de la matière à l'échelle du nanomètre par diffusion des rayons X

Conception et fabrication de systèmes automatisés et d'instruments scientifiques (CAO, Mécanique, Electronique et Informatique)

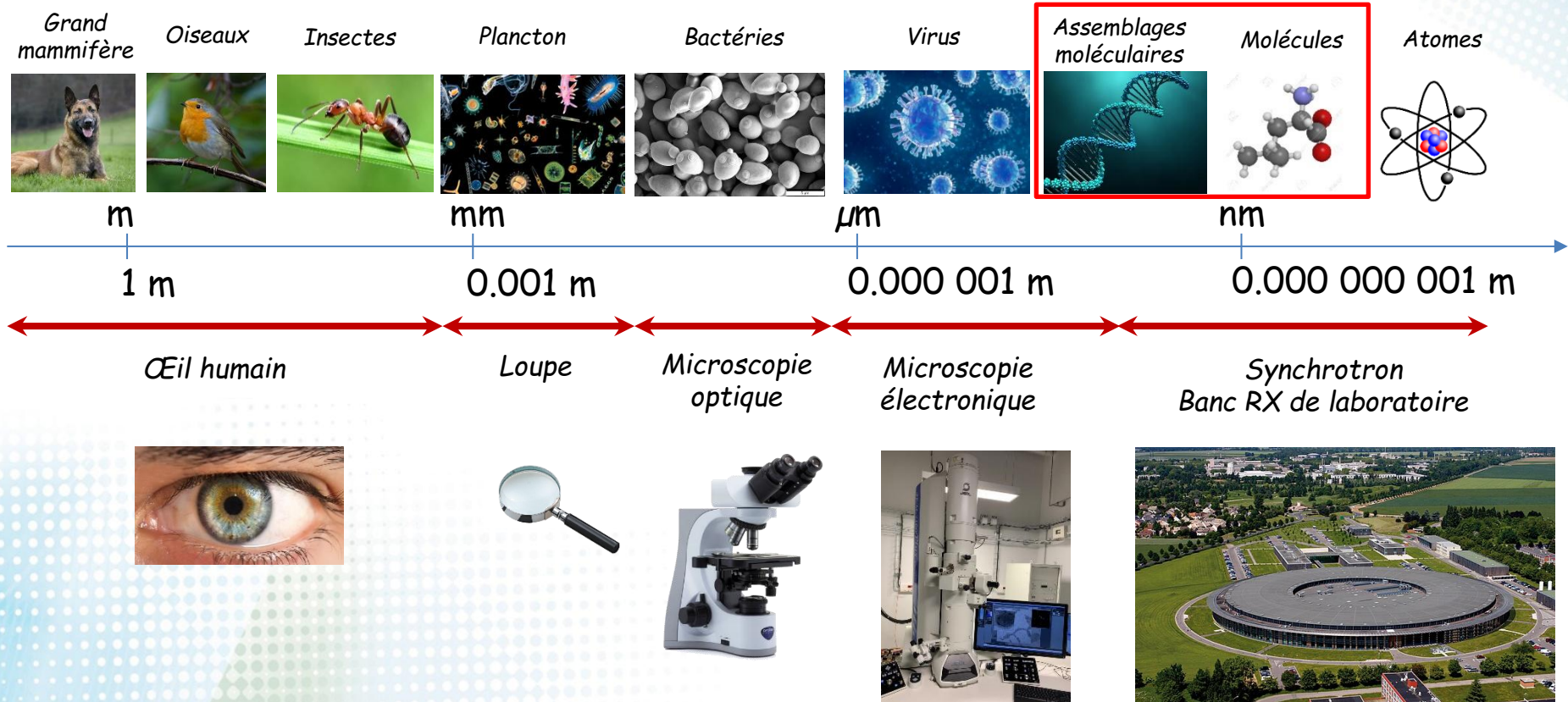
Introduction à la diffusion des rayons X aux petits angles

P. Roblin

*^a Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées; INPT,
UPS Laboratoire de Génie Chimique;
118 Route de Narbonne, F-31062 Toulouse France
^b CNRS, UMR 5503, F-31062 Toulouse, France*

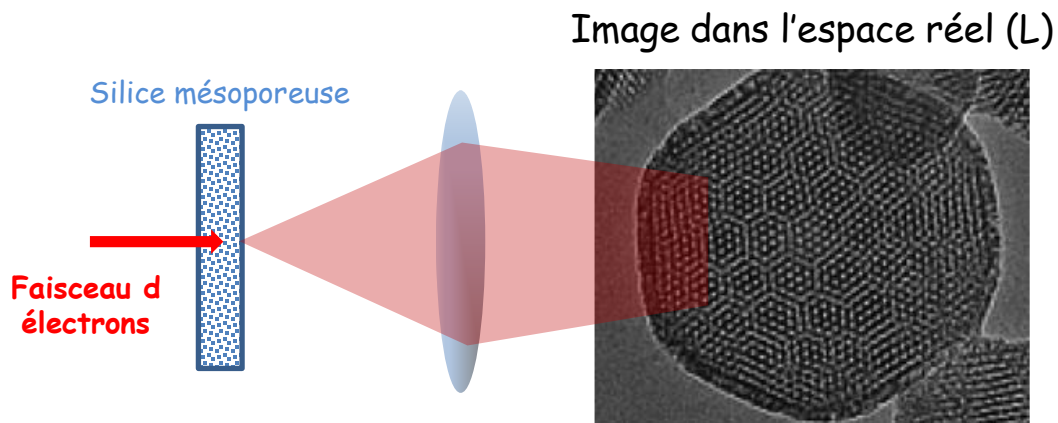


Organisation du vivant aux différentes échelles de taille



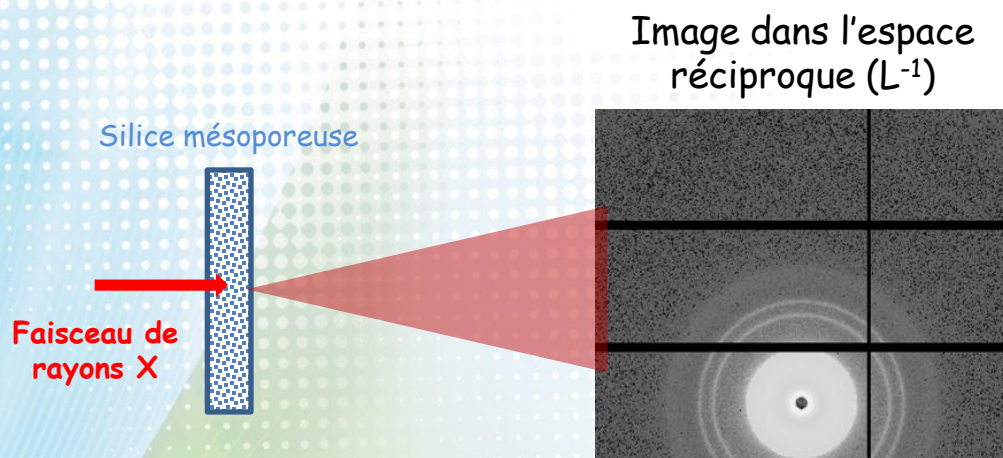
La diffusion des rayons X aux petits angles (Small Angles X-ray Scattering ou SAXS) est une technique utilisant les rayons X pour caractériser la structure de la matière à l'échelle du nanomètre (100 à 0.5nm)

Observation en microscopie électronique



En microscopie les électrons sont diffusés par l'échantillon puis collecter par des lentilles optiques pour recréer l'image

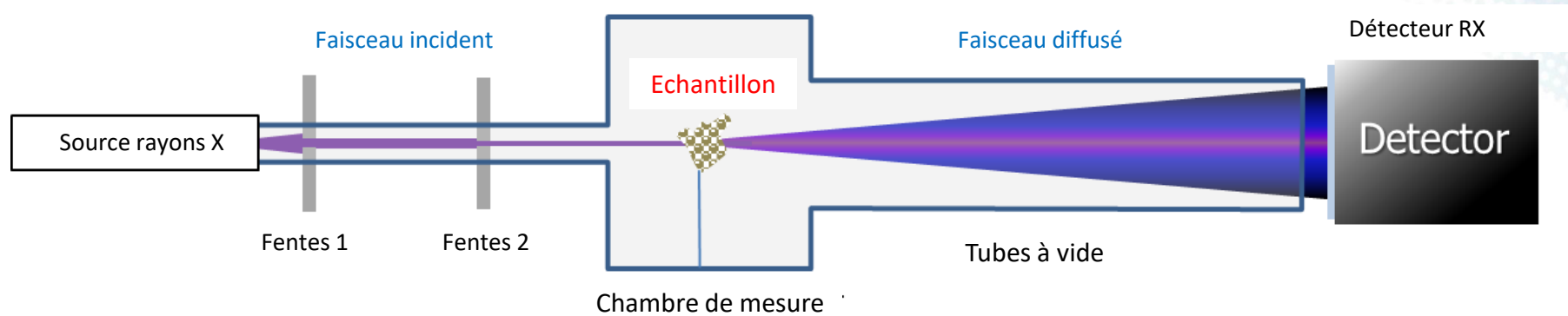
Observation du même échantillon en diffusion des rayons X



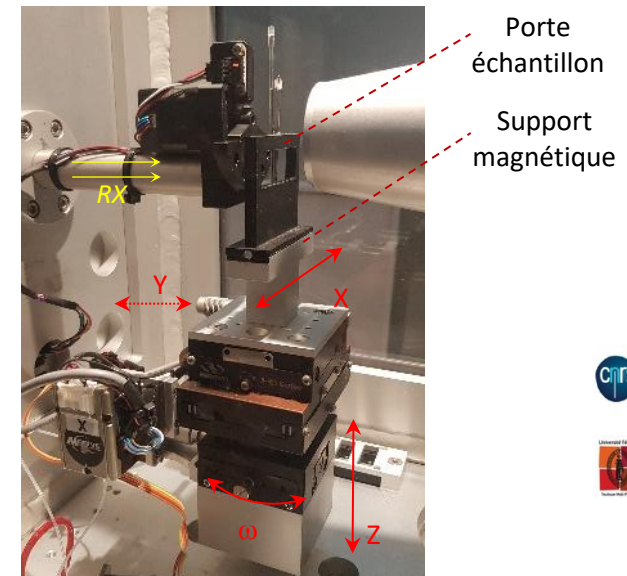
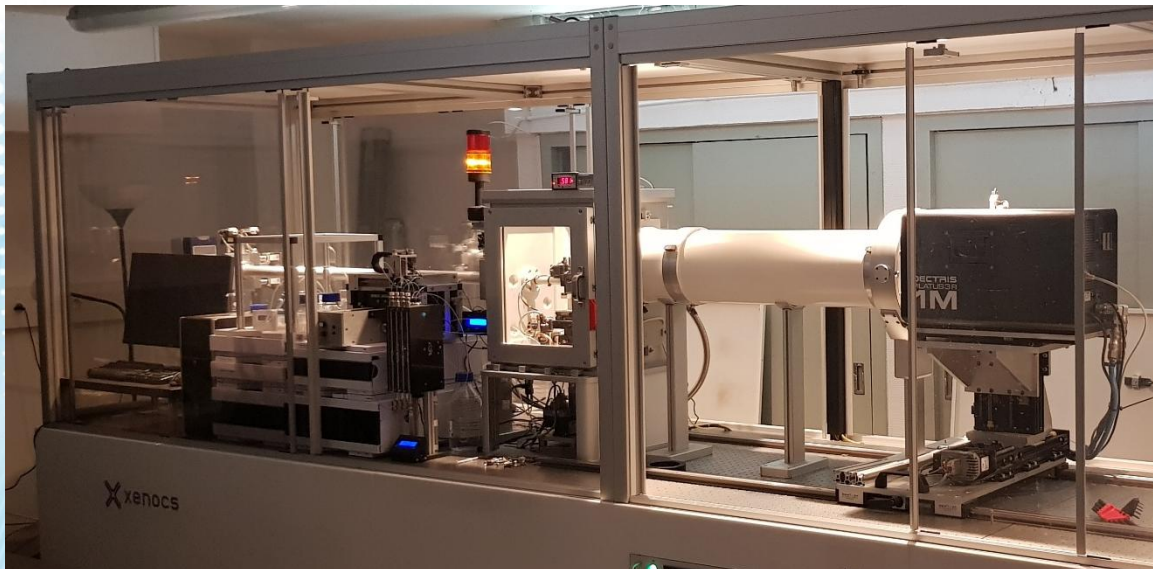
En SAXS les rayons X sont diffusés par l'échantillon et en absence de lentilles adaptées pour les RX, on observe directement la diffusion dans l'espace réciproque (espace de Fourier)

Principe de fonctionnement d'un banc de diffusion RX

Différentes parties constituant un banc de mesure de diffusion à rayon X

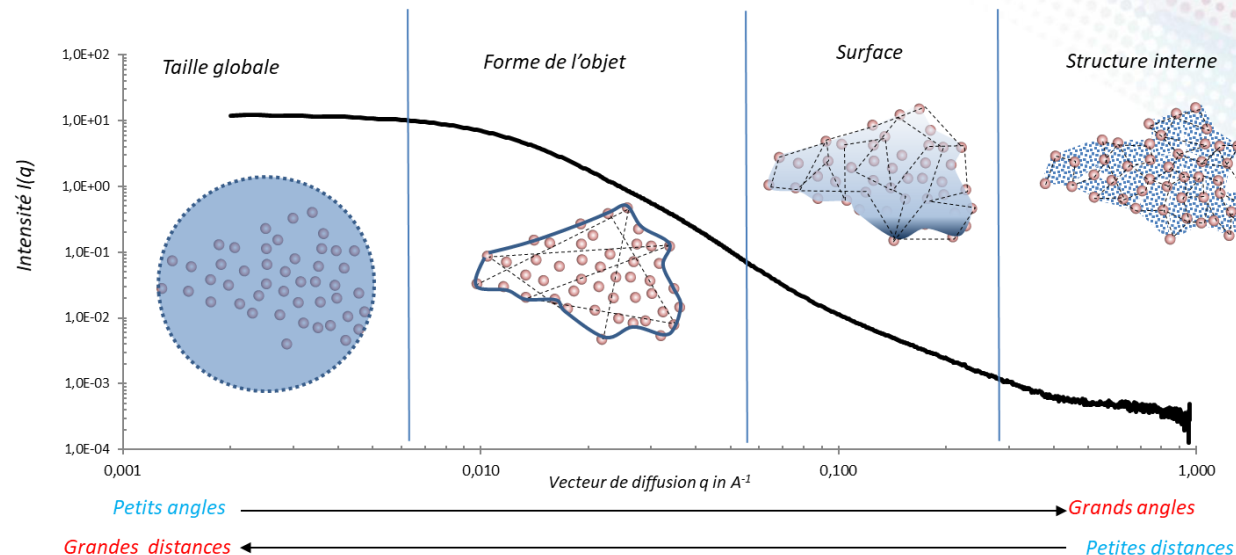
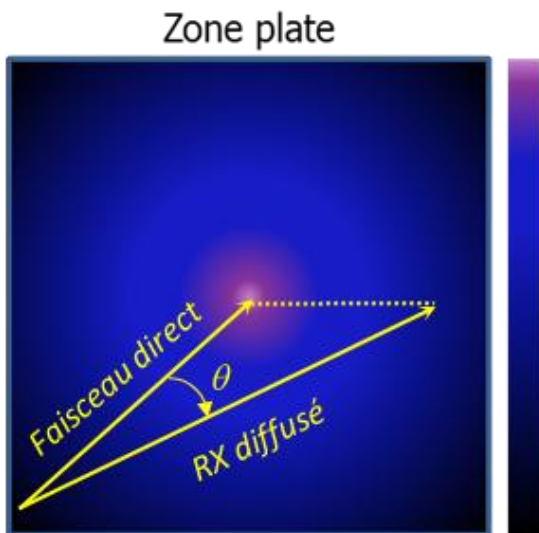


Photographie du banc SAXS XEUSS 2.0 de la fédération FERMAT



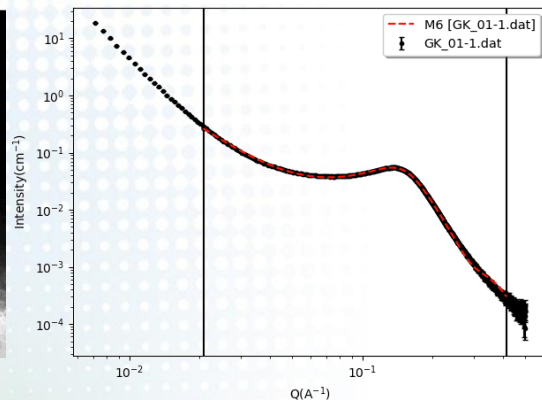
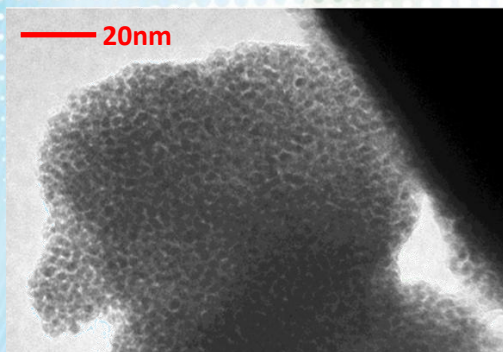
Informations contenues dans une courbe de diffusion RX

Courbes de diffusion RX = distribution des paires d'atome d'une nanoparticule



Exemple d'analyse d'une courbe RX

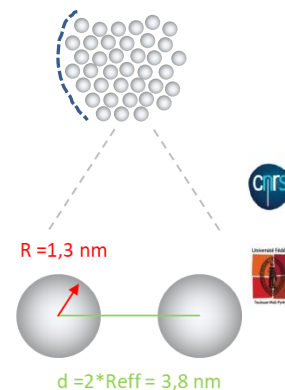
Nanoparticules de Ruthénium observées au MET et en SAXS



Calcul de modèle avec SASVIEW (ici « sphères dures en interaction »)

Parameter	Value
☐ scale	1
☐ background	-0.00015858
PwLw_SphRxHrdSphR	
☐ C_scale	3.6005e-06
☒ C_power	2.8723
☐ AB_scale	0.0034718
☐ A_sld	1
☐ A_sld_solvent	6
☒ A_radius	13.5
☒ B_radius_effective	19.687
☐ B_volfraction	0.23014

Etat de surface de l'agrégat



Intérêt de l'utilisation des rayons X pour l'analyse de la matière

Technique de choix pour sonder la structure des matériaux à l'échelle du nanomètre

- Taille de nanoparticules et leurs interactions
- Mesure de porosité
- Morphologie des nanoparticules
- Etat de surface des nanoparticules
- Structure interne, cristallin pseudo ordonné ou amorphe

Possibilité de coupler la mesure SAXS avec d'autres techniques ou concevoir des environnement échantillons adaptés

- Cellules de mesures à façon, statique ou à circulation couplé à un automate injecteur
- Appliquer des contraintes physiques comme la température, pression, cisaillement, champs électrique ou magnétique
- Faire des mesures *in situ et in operando* (suivi cinétique de transformation de la matière)



Technique robuste, non invasive, facile a mettre en pratique mais difficulté d'interprétation des résultats

Développement de l'activité mécatronique autour de l'activité RX puis au sein du laboratoire LGC

P. Roblin

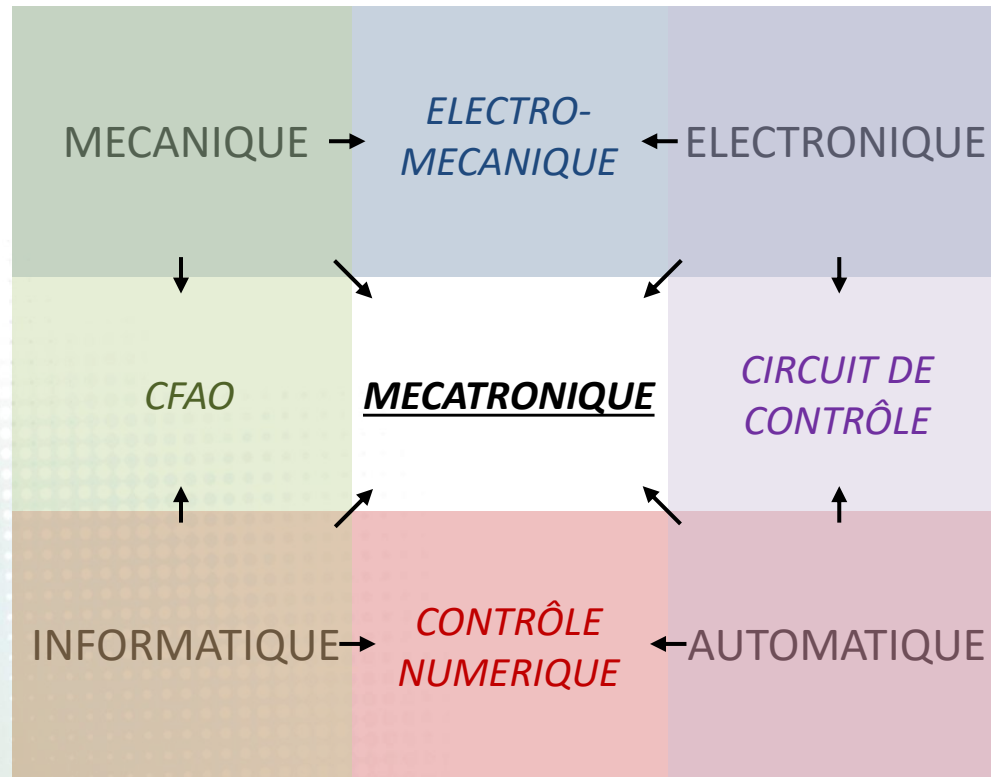
*^a Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées; INPT,
UPS Laboratoire de Génie Chimique;
118 Route de Narbonne, F-31062 Toulouse France
^b CNRS, UMR 5503, F-31062 Toulouse, France*



Qu' est ce que la mécatronique ?

Définition selon la norme NF E 01-010 (2008)

La mécatronique est une démarche visant l'intégration en synergie de la mécanique, l'électronique, l'automatique et l'informatique dans la conception et la fabrication d'un produit en vue d'augmenter et/ou d'optimiser sa fonctionnalité



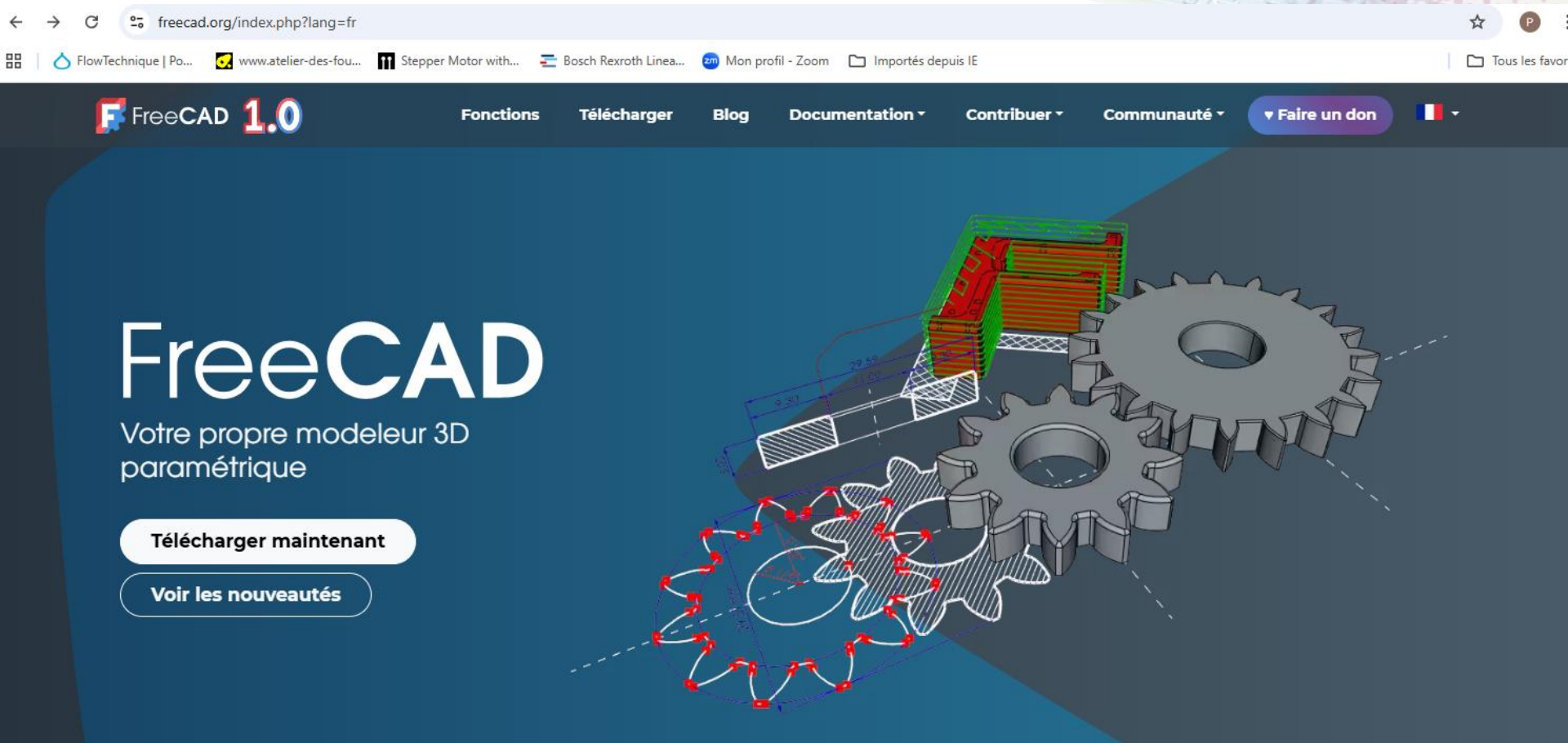
1) Besoins des utilisateurs du banc SAXS pour leur expérience (LPCNO, TBI, SOFTMAT, CIRIMAT, LCC et LGC)

- Cellule de mesures à façon : porte échantillon simple, cellule de chauffe refroidissement, platine d'étirement, cellule à champ électrique ou magnétique...
- Robotisation : pipeteurs/injecteurs de liquide, pousse-seringues...
- Modification sur le banc SAXS : adaptation de l'optique, redimensionnement du faisceau, caméra...

2) Répondre aux besoins concrets du LGC avec des solutions robustes, abordables et customisées

- Autour de la milli fluidique : manipulation de liquides complexes (pompages, mélanges et fractionnements)
- Modification d'expériences déjà existantes : rajout de capteurs, automatisation

Comment créer des ensembles instrumentaux simples et robustes avec les outils actuels ?



The screenshot shows the FreeCAD 1.0 website. The header includes the FreeCAD 1.0 logo and navigation links: Fonctions, Télécharger, Blog, Documentation, Contribuer, Communauté, and a button for 'Faire un don'. The main content area features the text 'FreeCAD' and 'Votre propre modelleur 3D paramétrique', with buttons for 'Télécharger maintenant' and 'Voir les nouveautés'. A 3D model of a gear assembly is displayed on the right.

- **Open source et gratuit** : développé par une communauté, disponible sous Windows, Linux et macOS.
- **Paramétrique** : définir des cotes, des contraintes (géométriques et dimensionnelles), modifiable a posteriori.
- **Multi-ateliers ("workbenches")** : FreeCAD est organisé en ateliers spécialisés, avec possibilité de passer d'un atelier à l'autre.

prototypeSALD - FreeCAD 1.0.0

Fichier Édition Affichage Outils Macro Esquisse PartDesign Fenêtres Aide

Part Design

Modèle Tâches

Modèle

- Corps
- base_modif
 - Origine024
 - Pad178
 - Sketch351
 - Hole023
 - Sketch352
 - Mirrored013
 - Pocket144
 - Sketch353
 - MultiTransform003
 - Pocket145
 - Sketch354
- triple_pousse-seringue
- Projet_table-tracanteXYZ_V2

Base

Tip	Chamfer060
Base Feature	
Placement	[(0,0,0,0,0,1,00); 180,00 °; (87,50 mm 244,00 mm -90,5...]
Label	Support_carte
Group	[Sketch405, Pad204, Sketch406 ...]

Experimental

Allow Compound false

Vue Données

Support moteur

Plaque

Console Python

```

>>> # Gui.runCommand('Std_ToggleVisibility',0)
>>> # App.setActiveDocument("prototypeSALD")
>>> # App.ActiveDocument=App.getDocument("prototypeSALD")
>>> # Gui.ActiveDocument=Gui.getDocument("prototypeSALD")
>>>
  
```

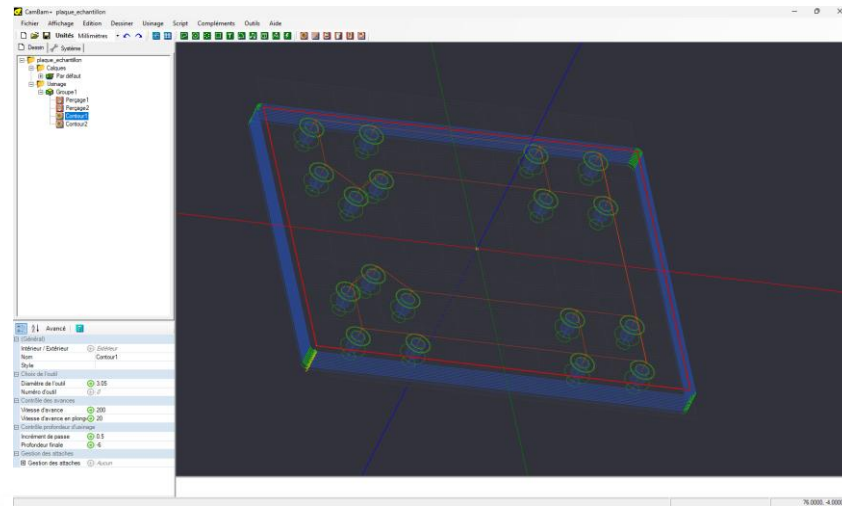
Preselcted: prototypeSALD.Part__Feature011.Edge176 (20.76 mm, -33.35 mm, 155.15 mm)

622,88 mm x 350,75 mm

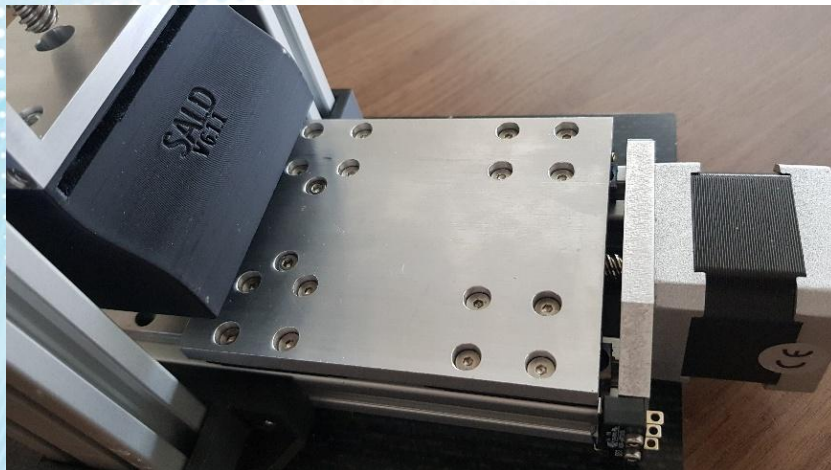
...de FREECAD à la réalisation de pièces...

Usinage CNC (CAMBAM)

Définition et calcul des parcours d'outils à partir d'un fichier .stl

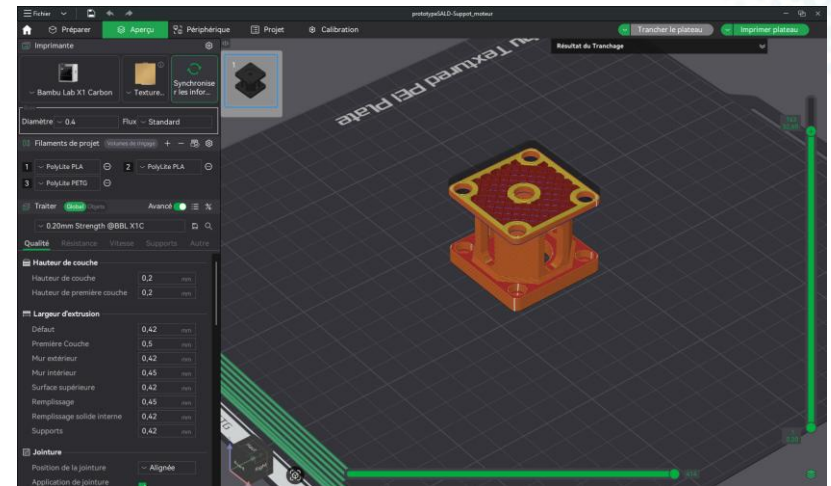


Pièce réalisée en aluminium avec la proxxon FF500 CNC

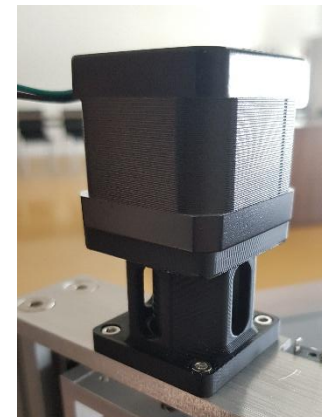


Impression 3D (Bambu Studio)

Définition des couches d'impression à partir d'un fichier step ou stl



Pièce réalisée par impression 3D en PLA renforcé avec la X1-Carbon



Atelier support de mécanique

PROXXON FF500 manuelle



PROXXON FF500 CNC



Puissance : 800W
Vitesse : 200 - 4,000 tr/mn.
Courses X : 310 / Y : 100 / Z : 220mm

Pincès de serrage type ER 20 de 1 à 12mm

Dimensions : H 750mm, L 550mm, I 550mm.
Bâté en fonte, colonne en aluminium extrudé
Poids environ 60kg.

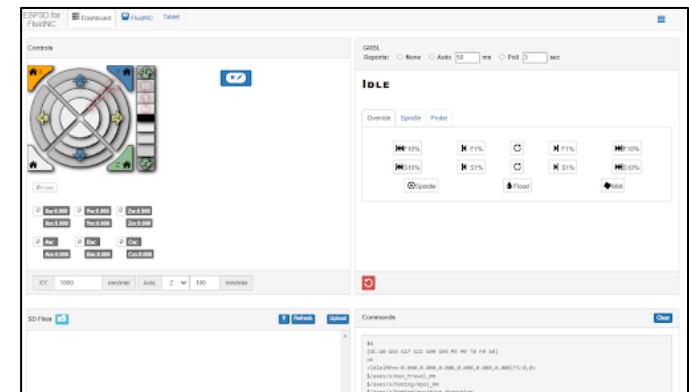
Contrôle commande



Carte ESP32
(GRBL V2.0 32 bits)

Unité de contrôle CNC
(port parallèle)

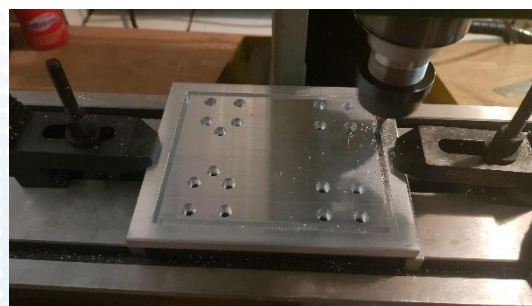
Logiciel de commande : FluidNC (WiFi)



Exemple de travail de surfacage d'une pièce en aluminium



Exemple d'usinage d'une plaque en aluminium (perçage, poche et contour)



Portique de découpe de plaque



Puissance : 1,1 kW broche AMB
Vitesse : 5000 – 25,000 tr/mn.
Courses X : 250 / Y : 320 / Z : 100mm

Pinces de serrage type ER de 1 à 8 mm

Dimensions : H 400, L 600mm, P 650mm.
Bâtit en profilé aluminium
Poids : 80 kg

Commande : carte Smoothie avec BNCnc
(USB)

Tour PROXXON PD400



Puissance : 870W
Vitesse : 1400 - 2800 tr/mn.
Entre pointe : 400mm Hauteur : 85 mm

Mandrin à 3 - 4 mors ou 4 mors ajustable
avec plage de serrage de 3 à 100mm

Pinces de serrage type ER 20 de 1 à 12mm

Dimensions : H 400mm, L 900mm, l 300mm.
Bâtit en fonte
Poids environ 60kg.

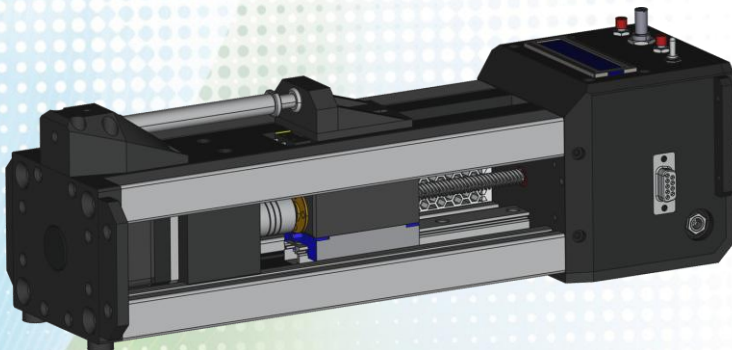
Imprimante 3D à fil X1-Carbon de chez Bambu Lab



Caractéristiques techniques

Technologie	FDM
Volume d'impression	256 × 256 × 256 mm
Température de buse maximale	300°C
Tête d'extrusion	Full métal
Extrudeuse	Acier trempé
Diamètre de buse	0,4 mm (possibilité de la changer pour une buse 0,2, 0,6 ou 0,8 mm)
Diamètre du filament	1,75 mm
Matière du plateau d'impression	En acier flexible
Température maximale du plateau	120°C
Vitesse maximale	500 mm/s
Accélération	20 m/s ²
Flow maximal	32 mm ³ /s
Matériaux supportés	PLA, PETG, TPU, ABS, ASA, PET, PA, PC, renforcés fibre de glace ou de carbone

Exemple de réalisation : pousse seringue autonome



Exemples de projets réalisés dans le cadre du banc SAXS

P. Roblin

*^a Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées; INPT,
UPS Laboratoire de Génie Chimique;
118 Route de Narbonne, F-31062 Toulouse France
^b CNRS, UMR 5503, F-31062 Toulouse, France*

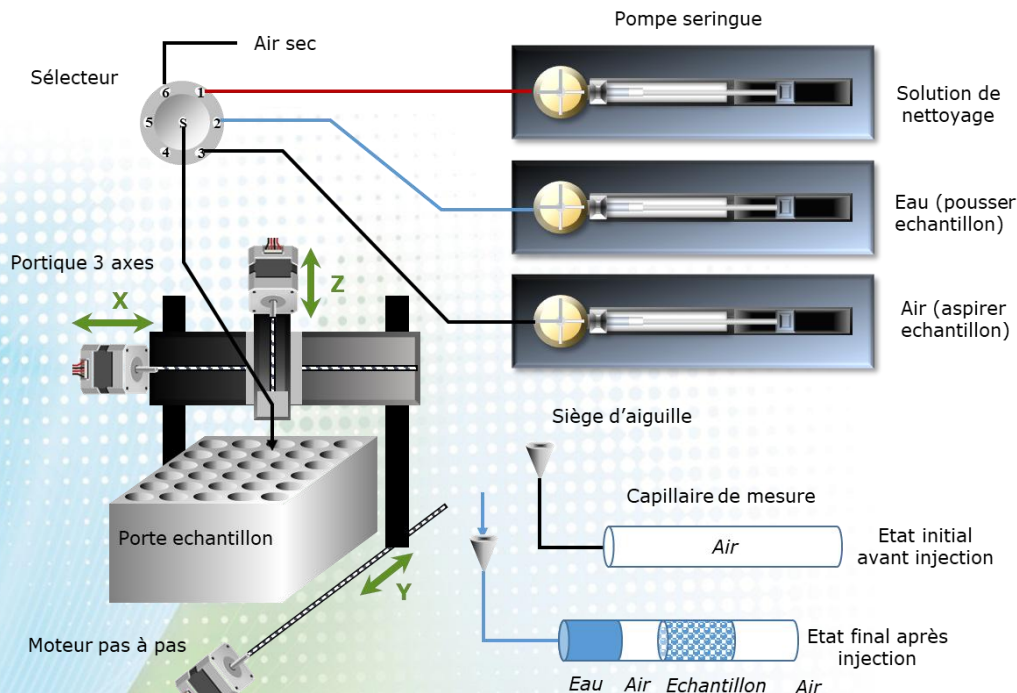


Développement d'un environnement dédié à la manipulation d'échantillon liquide

Les principales raisons :

- Durée d'acquisition RX longue (sup 2h) donc nécessité d'utiliser les nuits et les week ends
- Reproductibilité de l'expérience : un robot répète les étapes à l'identique, limite donc le risque d'erreur de manipulation

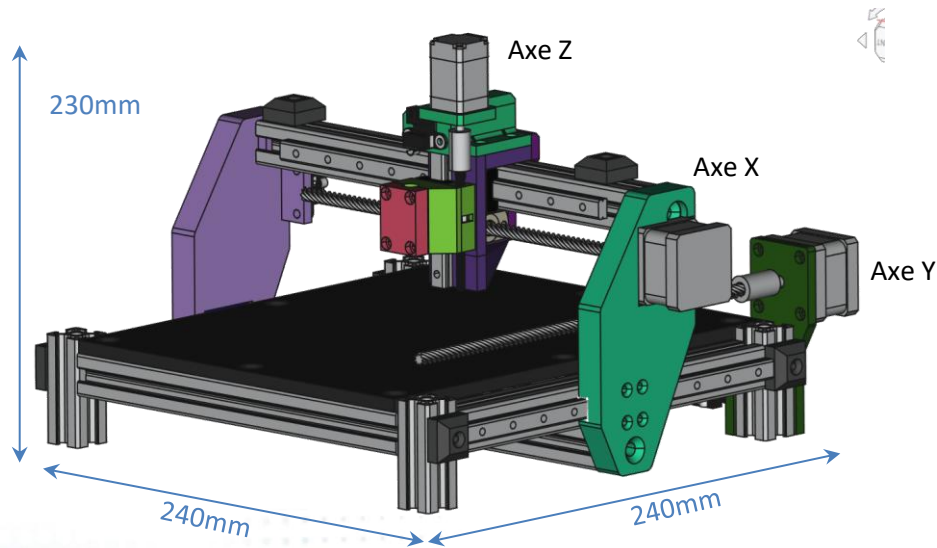
Principe de fonctionnement de l'automate d'injection couplé au SAXS



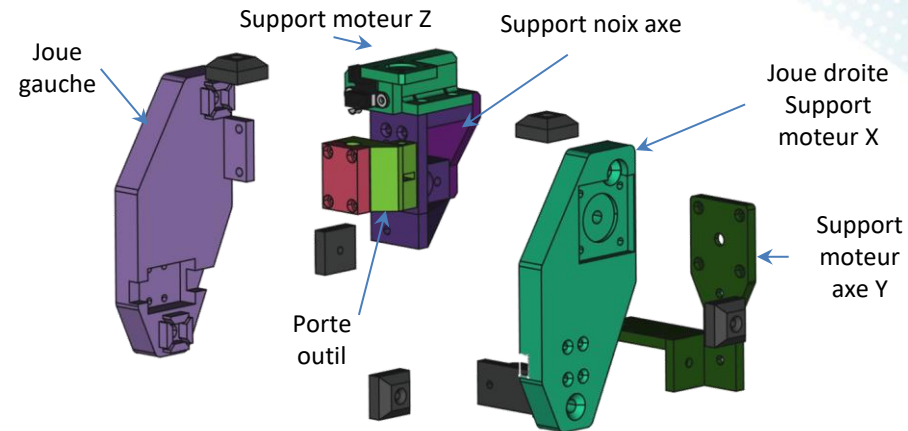
- Lavage et séchage intégral du système
- Positionnement aiguille de prélèvement sur l'échantillon
- Aspiration de l'échantillon
- Positionnement aiguille sur siège d'aiguille
- Pousser échantillon jusqu'à la cellule de mesure avec de l'eau
- Nettoyage et séchage de la tubulure

Développement d'un modèle d'étude – le portique XYZ

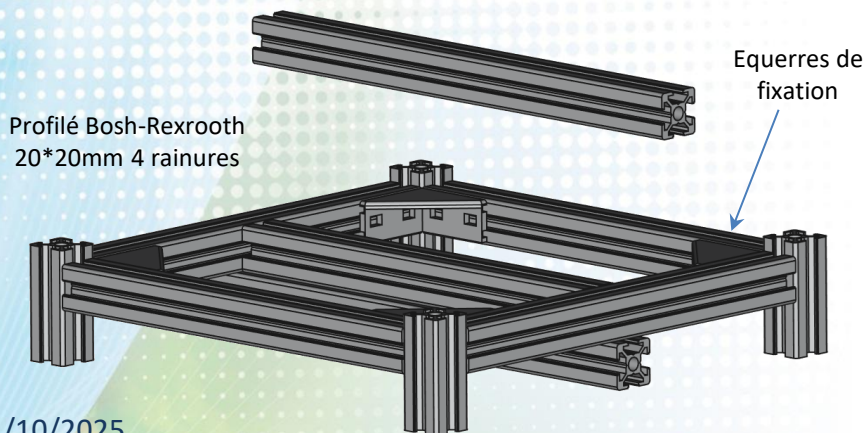
Prototype de portique XYZ avec vues sur les différents éléments



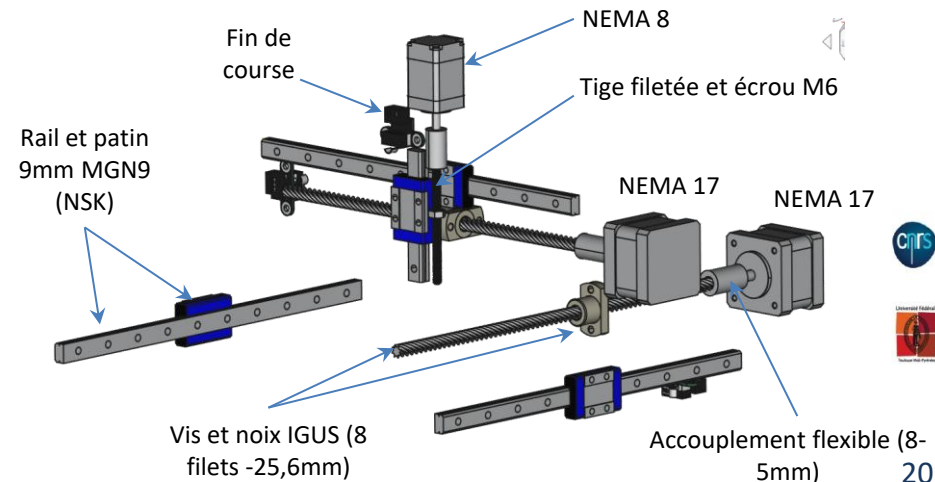
- Pièces support réalisées en impression 3D



- Utilisation du profilé aluminium 20x20 pour les éléments de structures



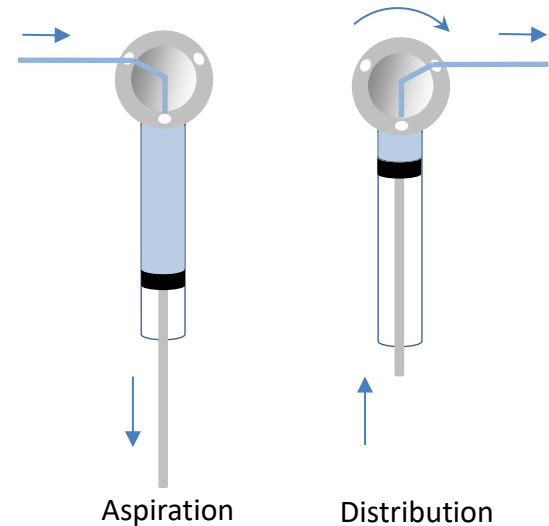
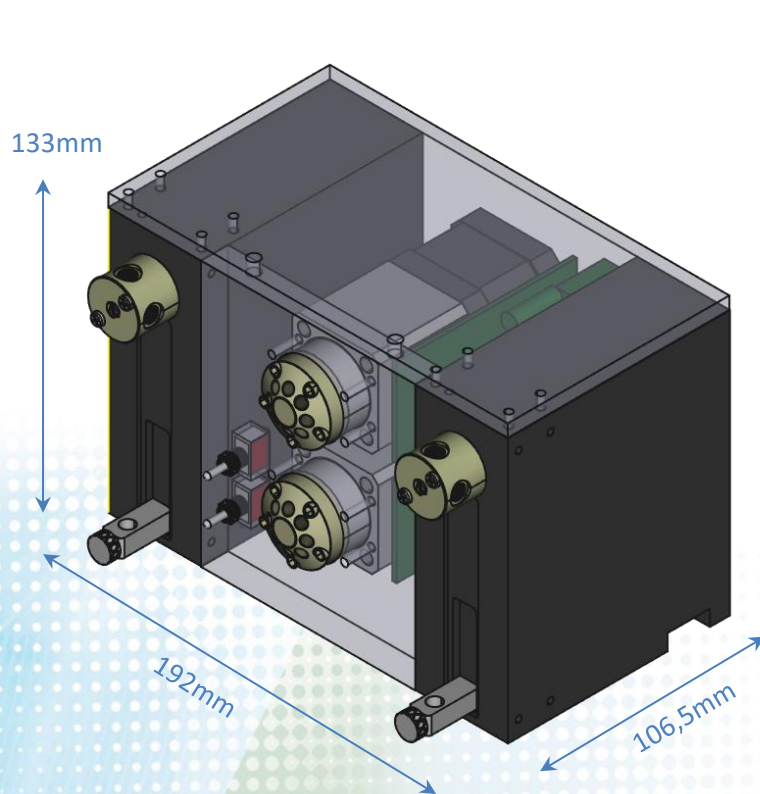
- Eléments de transmission de mouvements



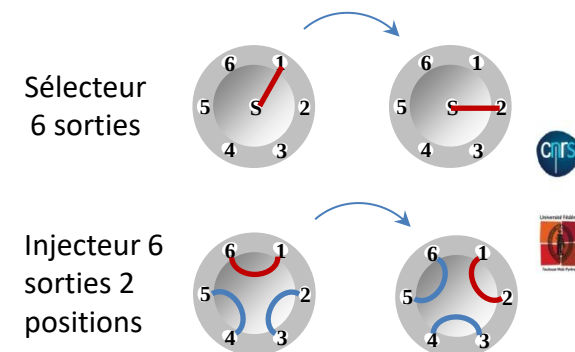
Développement d'un modèle d'étude – l'unité de manipulation des liquides

Module de transfert de liquide muni deux pompes seringues, d'un sélecteur et d'un injecteur

- Pompe seringue C3000 de chez Tricontinent (1200euros)



- Sélecteur/injecteur de chez Valco (1500euros)



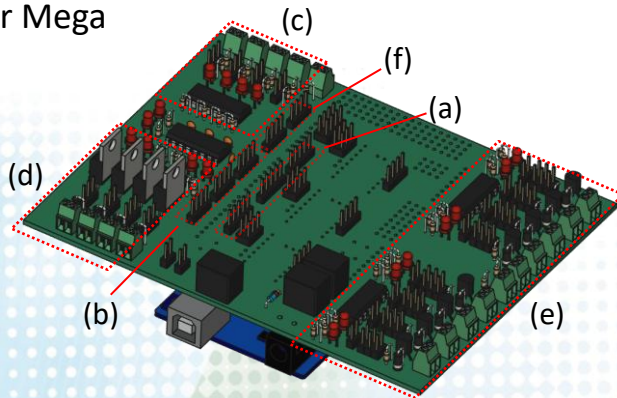
Développement d'un environnement dédié à la biologie

Schéma de câblage et de contrôle commande des différents éléments de l'automate

Carte arduino Mega 2560 rev3
(USB) ou ESP 32 (WiFi)

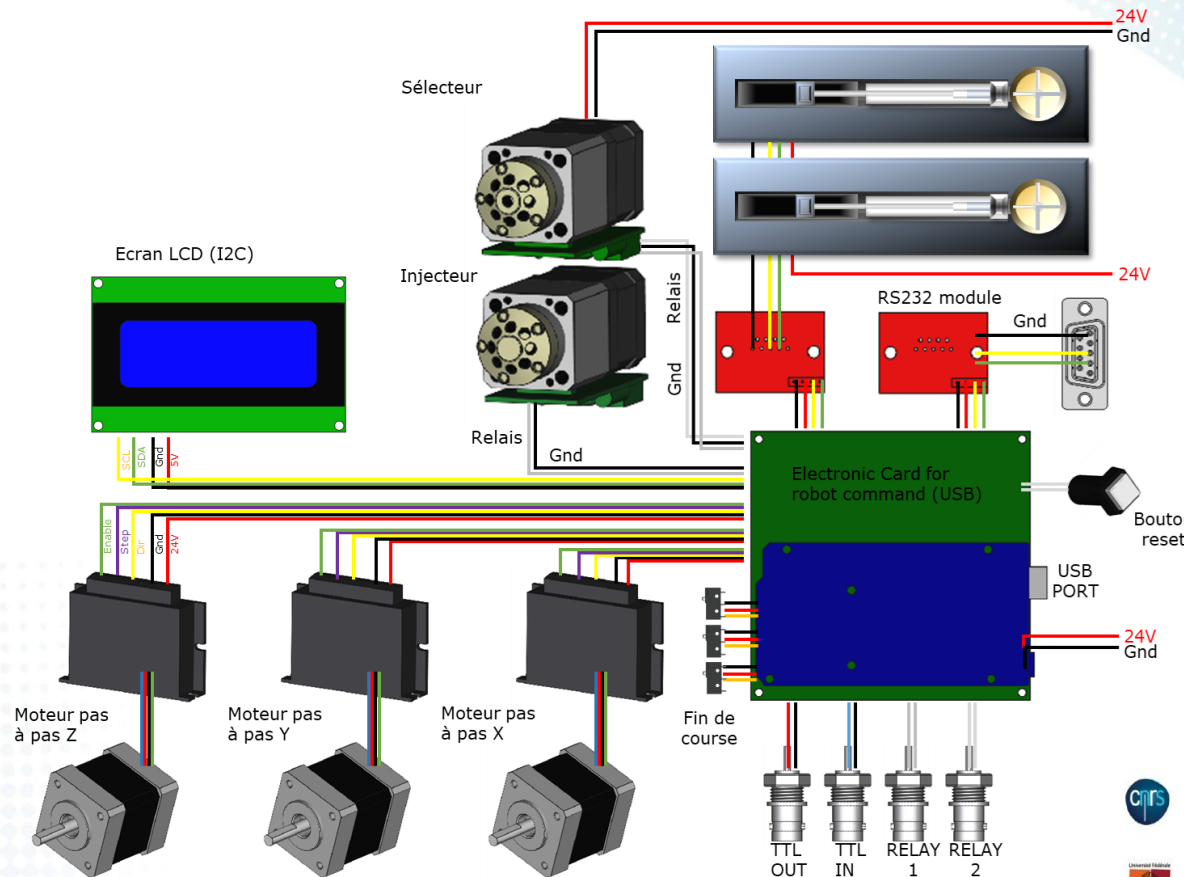


Carte de commande « home made » (KiCad)
pour Mega

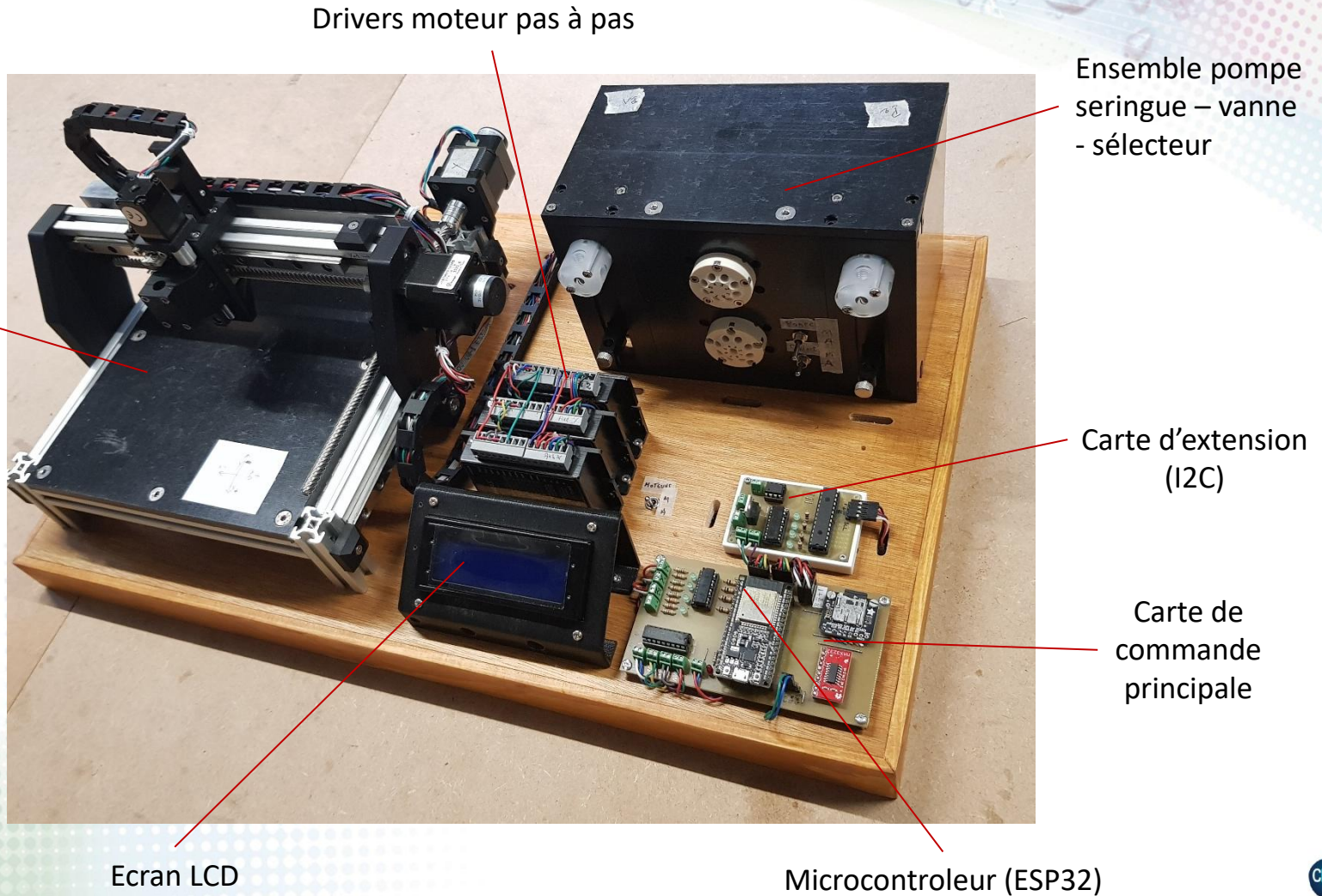


- a) - 3 sorties driver moteur pas à pas
- b) - 3 sorties encodeur optique relatif
- c) - 4 entrées TTL ou sèches
- d) - sorties de puissance MOSFET 24 ou 12V
- e) - 8 sorties sèches ou TTL
- f) - 2 ports RS232

Connexion des différents éléments à la carte électronique



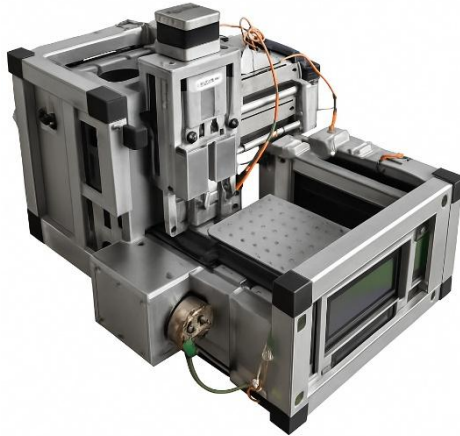
Assemblage du modèle d'étude



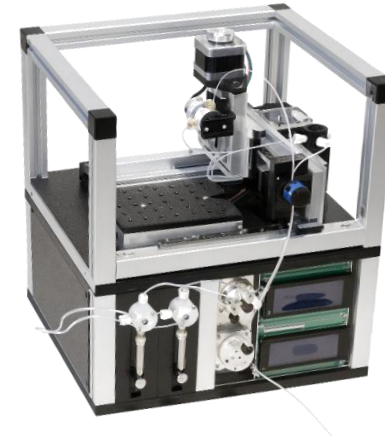
Tester et configurer plusieurs types d'expériences pour le prélèvement d'échantillons liquides

Exemple de robots injecteurs fabriqués entre 2012- 2019

Robot injecteur chimie (SWING 2012-...)



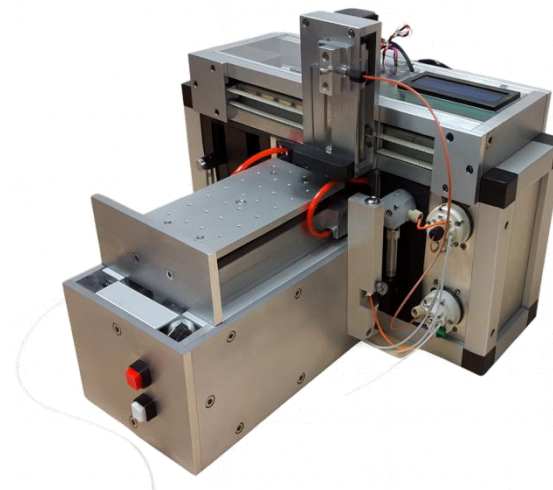
Robot injecteur biologique (XEUSS 2016-2019)



Robot injecteur biologique (SWING 2015-2022)



Robot injecteur biologique (XEUSS 2019-...)



Introduire une étape de purification de biomolécules avant mesure SAXS

Principe du couplage HPLC SAXS

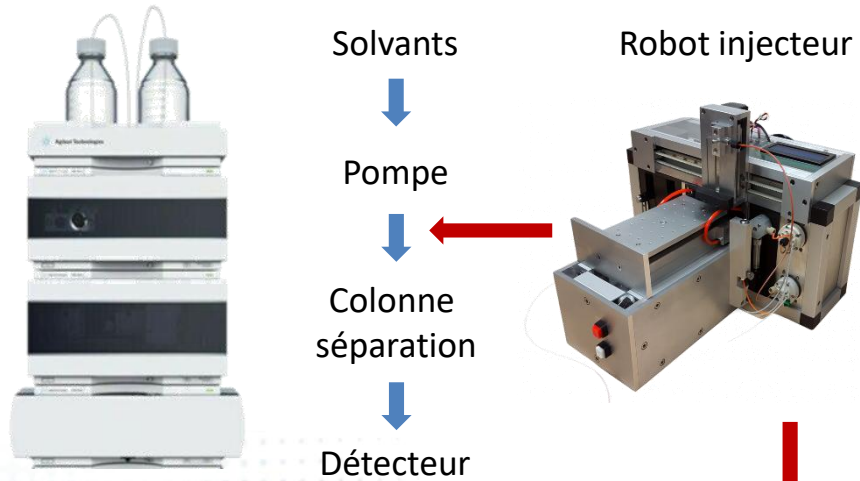
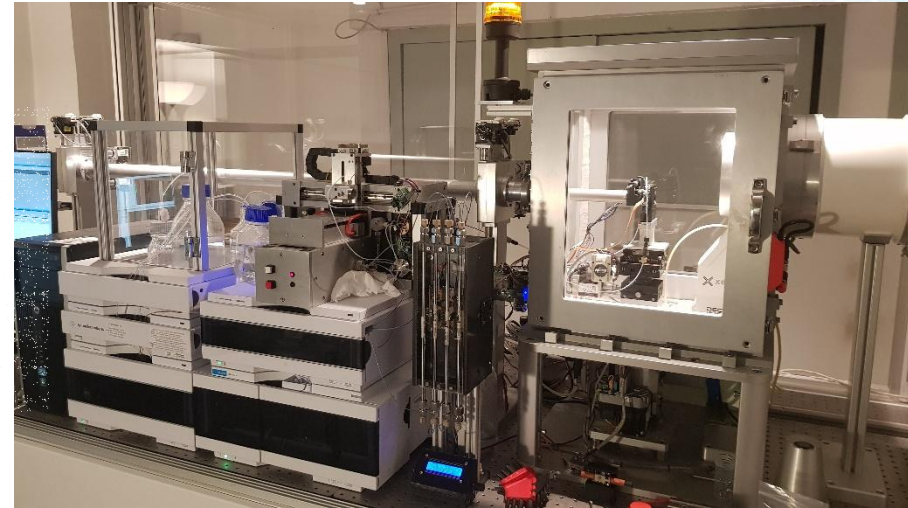
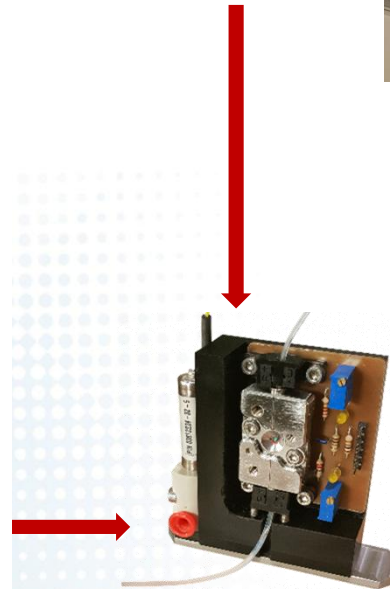
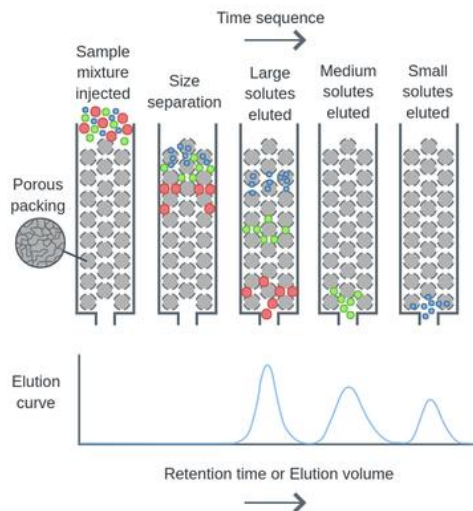


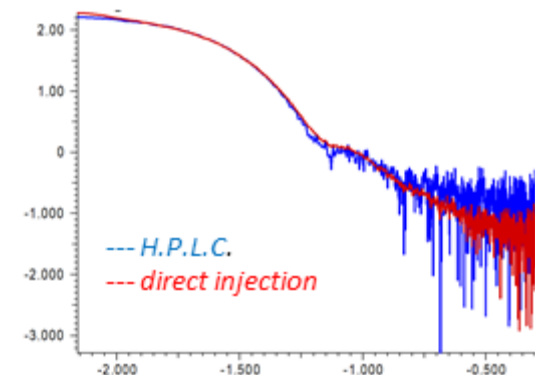
Photo du montage HPLC Robot SAXS



Comparaison de mesures SAXS entre HPLC et injection directe



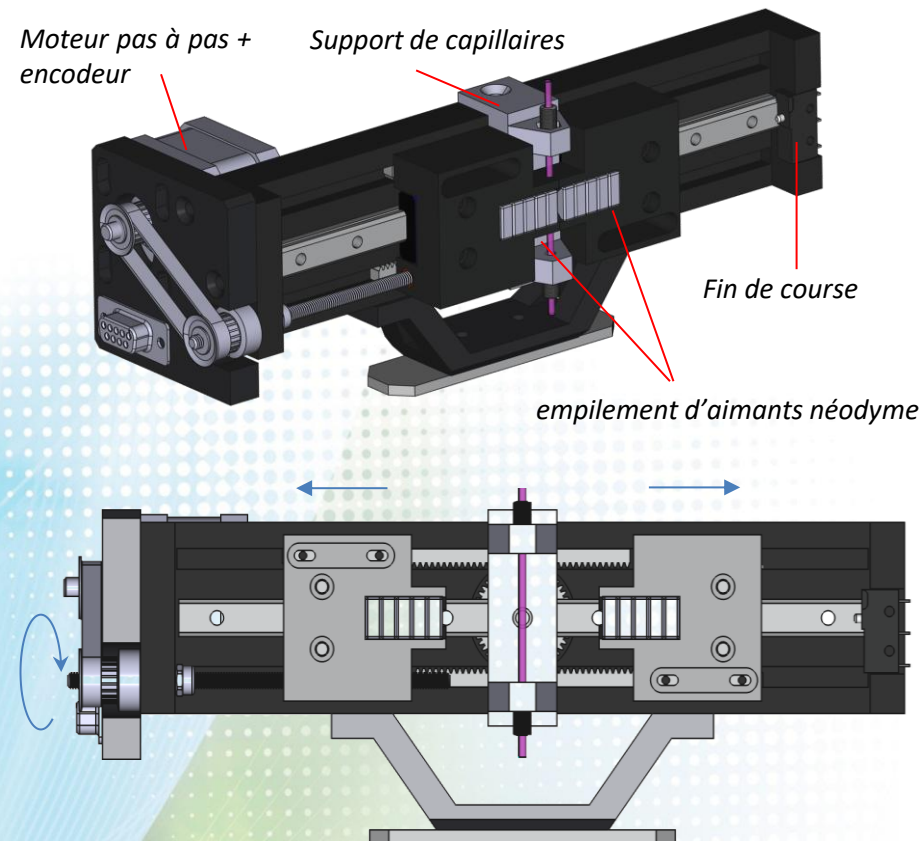
Cellule de mesure



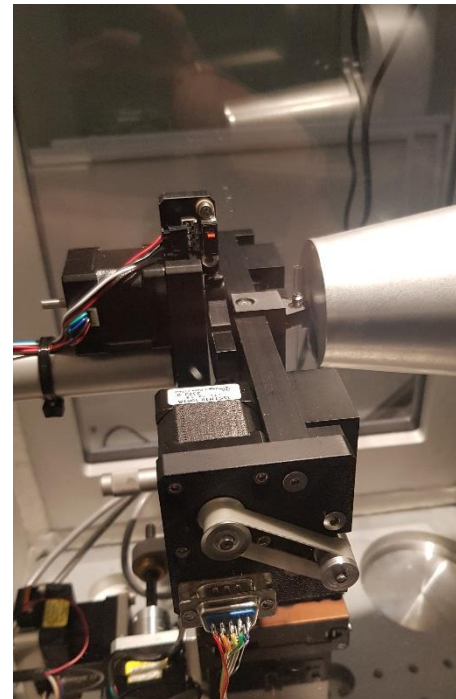
Développement d'un environnement dédié à l'étude de nanoparticule magnétique

Mettre en place un dispositif pour aligner des nano batonnets dans un champ magnétique

- Cellule muni d'un capillaire (ou à circulation) contenant les nanoparticules en solution
- Possibilité de moduler le champ magnétique en écartant plus ou moins les aimants néodymes



Cellule installée sur son support



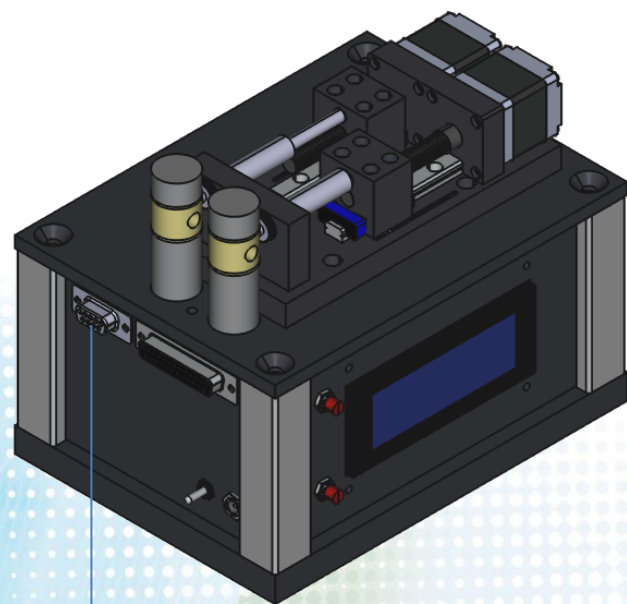
Différents types de cellule



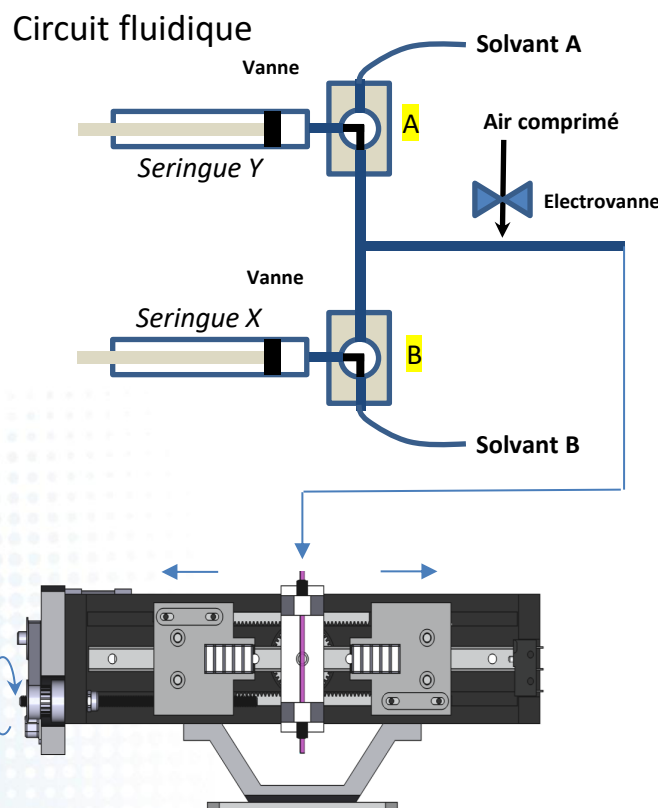
Développement d'un environnement dédié à l'étude de nanoparticule magnétique

Unité de contrôle de la cellule et du système d'injection de solvants

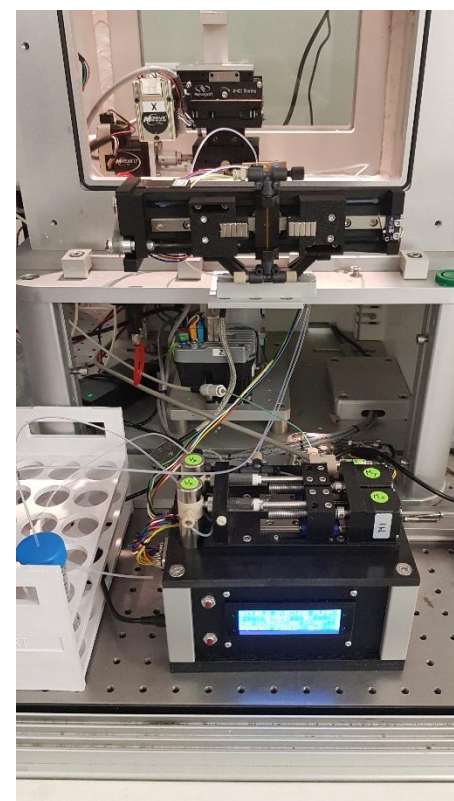
- Boitier permettant de communiquer avec le banc SAXS et le moteur de la cellule magnétique
- Commande aussi deux poussettes seringues et deux vannes pour changer de solvant dans la cellule et de sécher les nanoparticules



Commande moteur

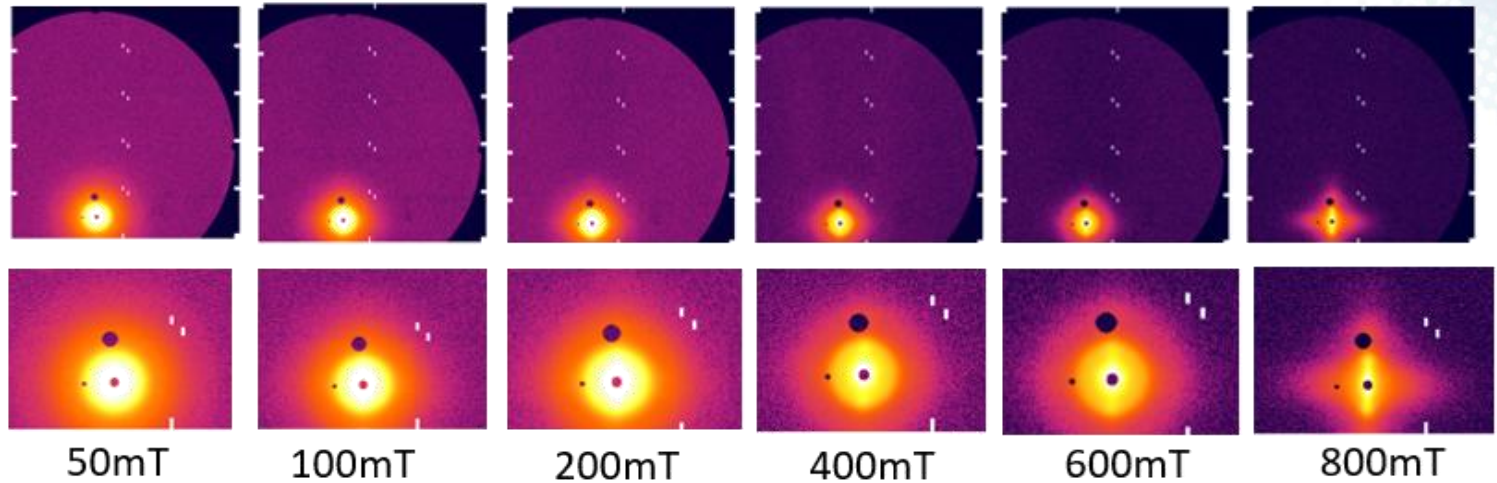
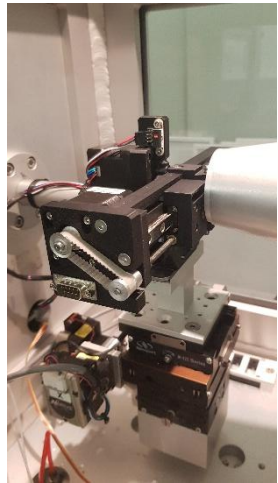


Cellule de mesure magnétique



Développement d'un environnement dédié à l'étude de nanoparticule magnétique

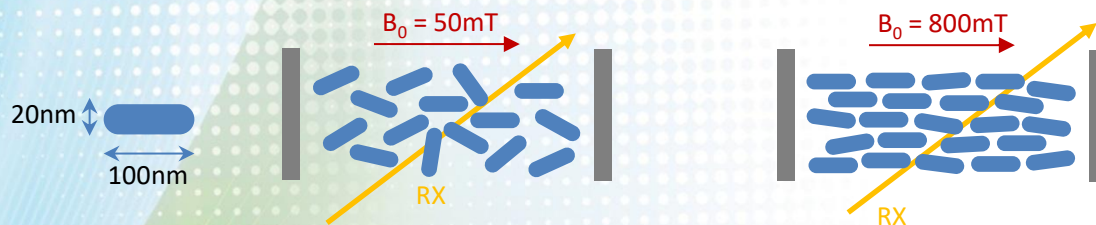
Installation sur le Xeuss 2.0 et mesure SAXS sur des nanobatonnets de cobalts en fonction du champ magnétique



Intégration radiale sur les données à 50mT puis en deux secteurs à 800mT avec $\Psi = 0^\circ$ et $\Psi = 90^\circ$ avec $\pm 10^\circ$ d'amplitude

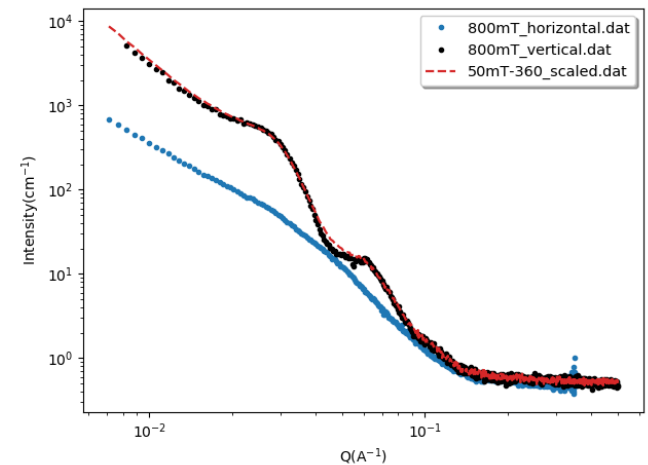
Diffusion isotrope à faible champ magnétique (50mT)

Forte anisotropie de diffusion liée à l'orientation des batonnets dans le sens du champs magnétique à 800mT



Batonnets distribués aléatoirement par rapport aux RX

Batonnets orientés par rapport aux RX



Exemples de projets réalisés dans le cadre du LGC

P. Roblin

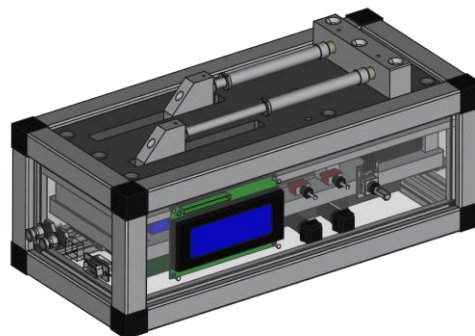
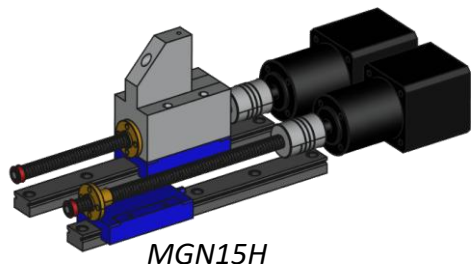
*^a Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées; INPT,
UPS Laboratoire de Génie Chimique;
118 Route de Narbonne, F-31062 Toulouse France
^b CNRS, UMR 5503, F-31062 Toulouse, France*



Réalisation de pousSES seringues à façon

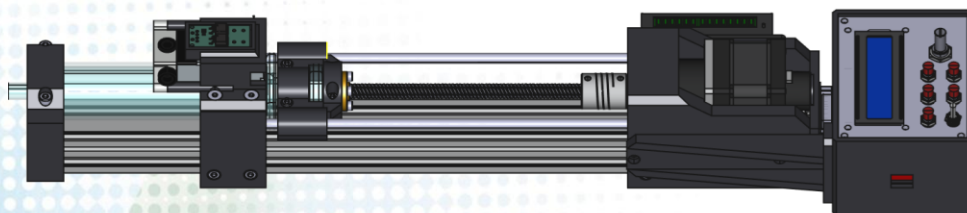
Double pousse seringue de puissance (> 100 bars) pour des expériences de mélange en microfluidique à haut débit (5ml /min)

NEMA 17 (26,8:1 – 30kg.cm-1)



Projet ANR NIMROD (LPCNO LGC G. Viau S. Teychené)

Pousse seringue de précision à très bas débit précision (100nl/s) pour des expériences de très longues durées (sup à 7j) donc nécessitant un grand volume de seringue (60ml)



NEMA 17 (26,8:1 – 30kg.cm-1)

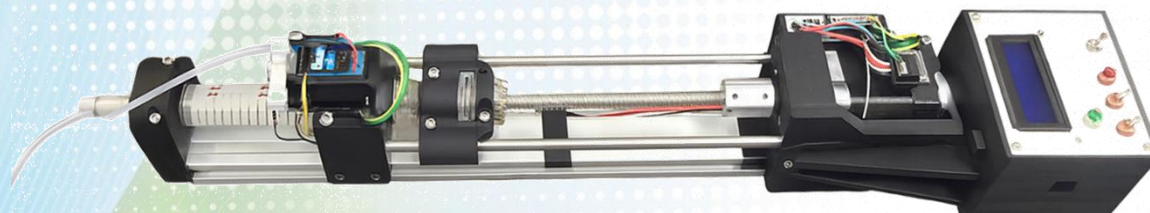
Driver moteur 1:25600 pas

1T complet = 686080 pas

Vis Tr8 à 8 filets = 8mm/T

Seringue = 60ml section 25mm

Soit 5,7nl par pas moteur



Projet ERC PROTOS (LGC –I. Rodriguez)

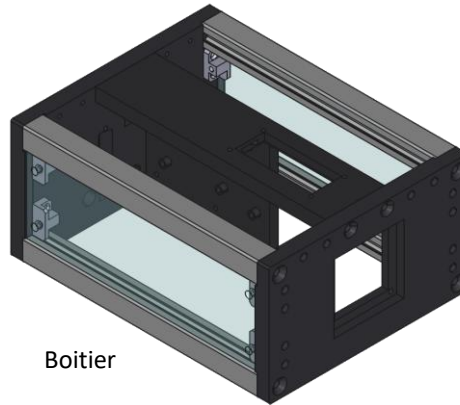
Réalisation d'un pousse seringue à flux continu

Double pousse seringue destiné à produire un flux continu de liquide (0,5 à 6ml/ml) pour acheminer des liquides visqueux et hétérogène

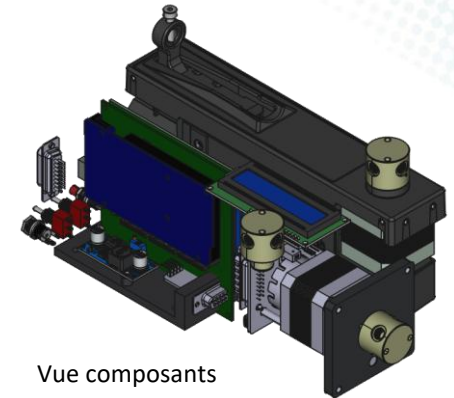
Projet ANR BIMAN (LPCNO LGC LM. Lacroix S. Teychené)



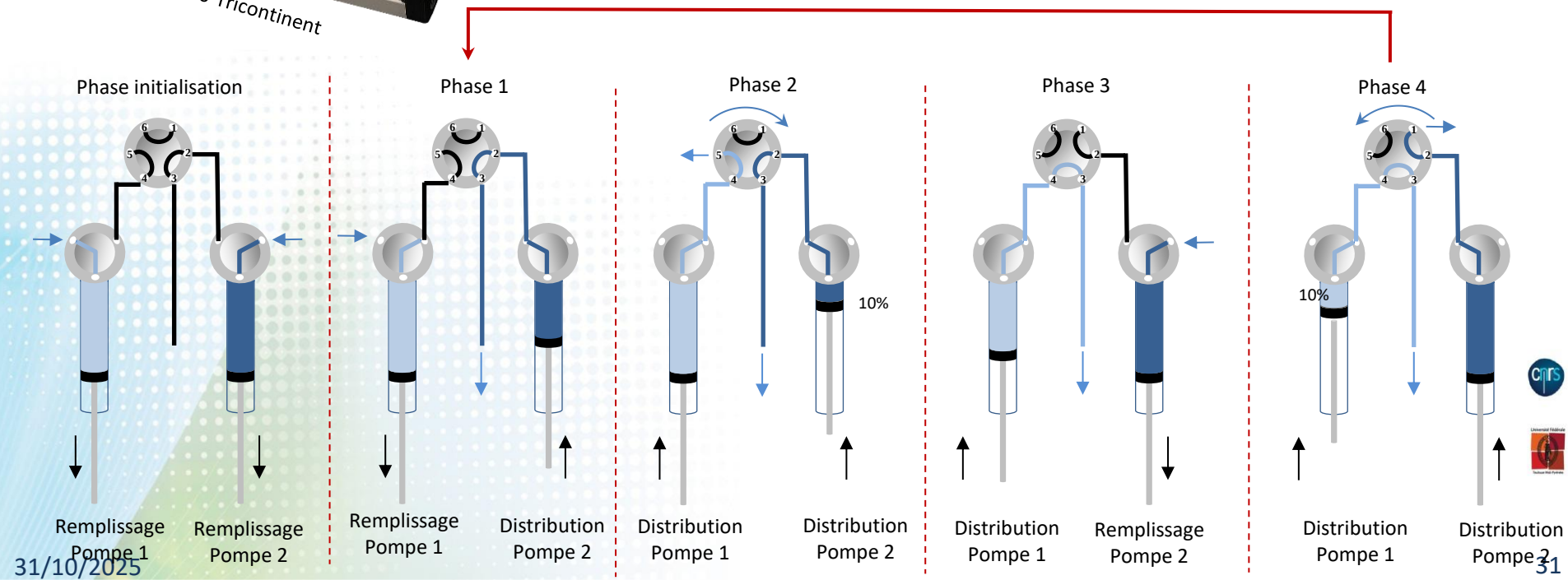
Pompe CX46000 Tricontinent



Boitier



Vue composants



Synthèse de nanoparticules en flux continu

Dispositif pour réaliser de la synthèse continue en microfluidique de nanoparticules métalliques contrôlées morphologiquement par IA

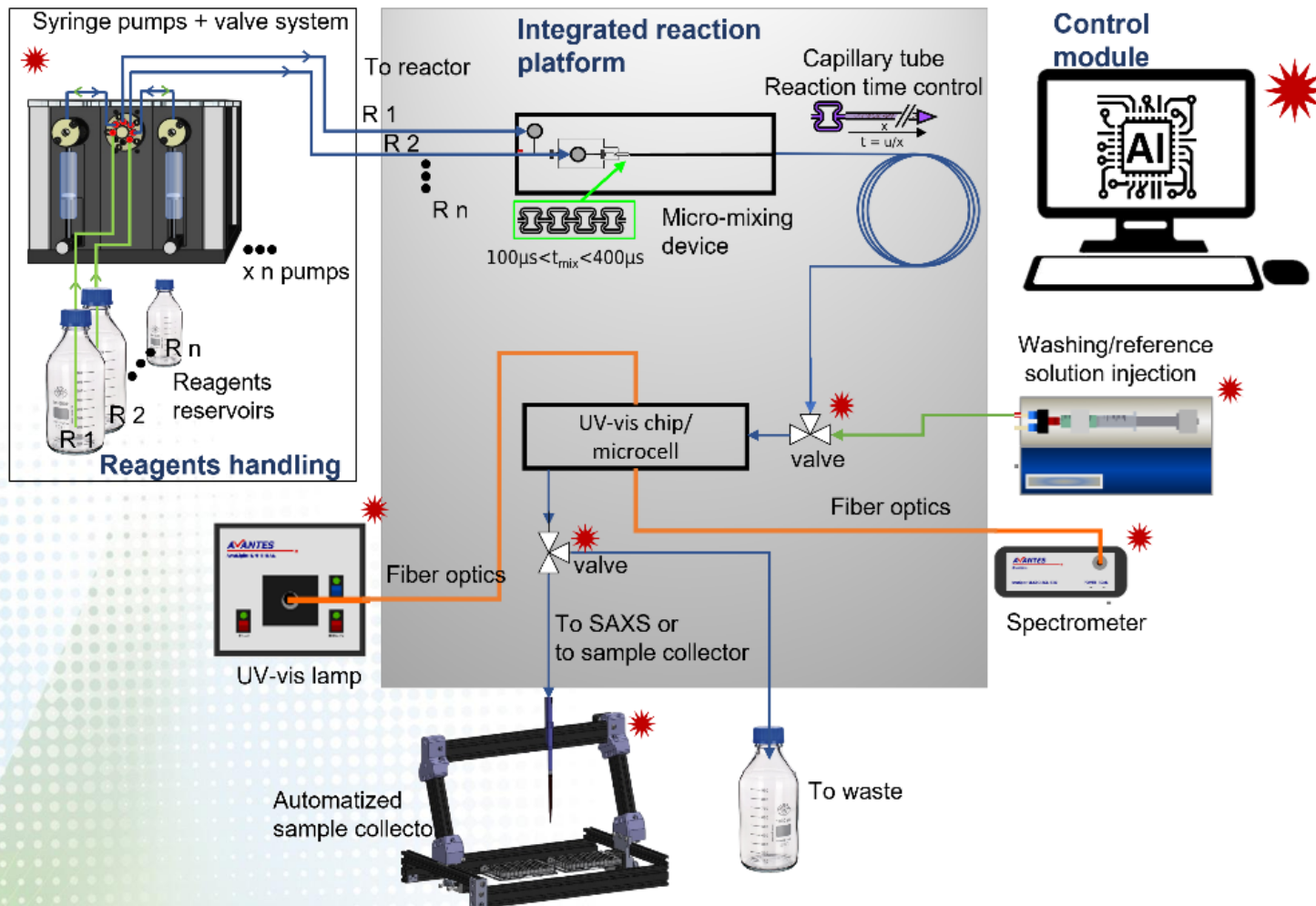


Photo du montage expérimental



Robot collecteur de fractions

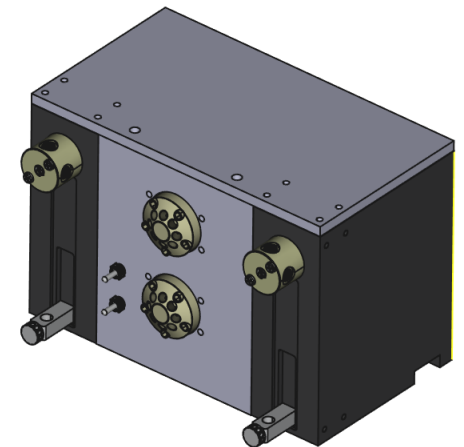
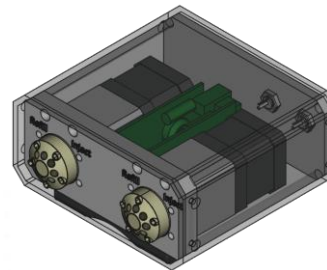


Spectro UV



Robot de lavage

Boitier de vannes



5 pushes seringues

Puce microfluidique

Fabrication d'un automate pour faire du dépôt de couche atomique sur support

projet SALD (LGC A. Sekkat)

Dispositif automatiser permettant d'effectuer des dépôts successifs de couche mono atomique par absorption gazeuse de métaux

Principe du « Atmospheric Pressure Spatial Atomic Layer Deposition » SALD

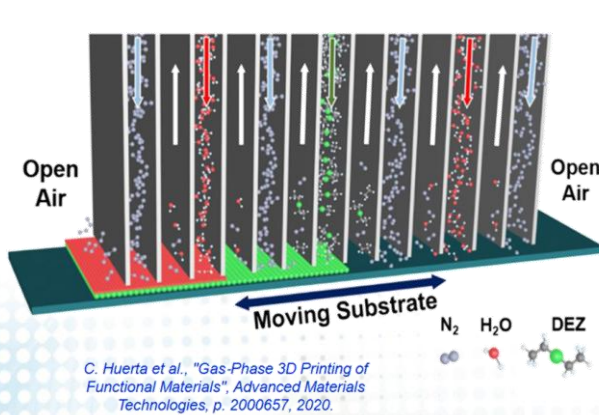
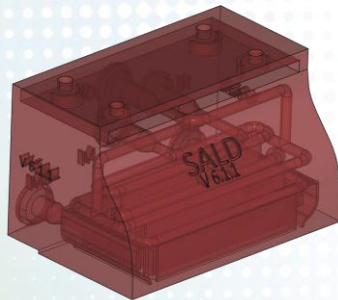
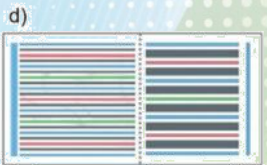
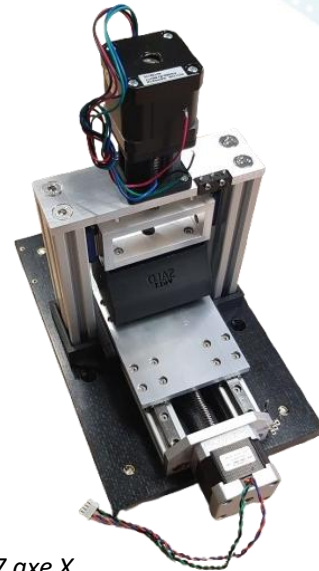
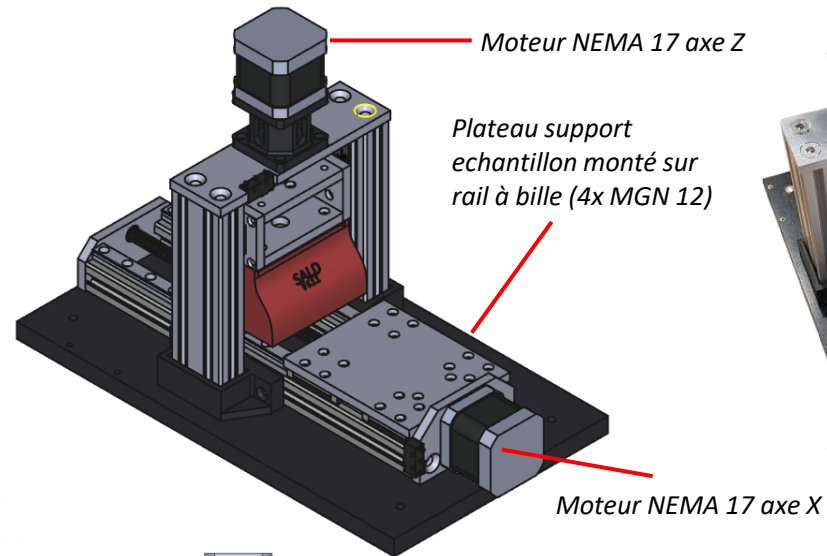


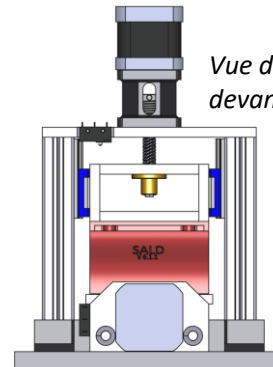
Schéma de principe de la tête d'impression et fabrication par impression 3D



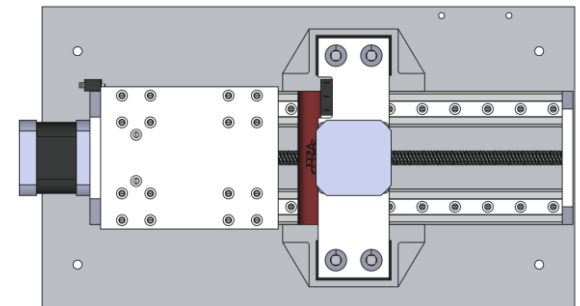
Automate muni de deux axes X et Z



Vue de devant



Vue de dessus



Constat actuel :

- Diminution des moyens consacrés à la recherche : nécessité d'optimiser la gestion des fonds publics.
- Postes techniques en constante baisse : nécessité de se former aux nouvelles techniques de conception et fabrication pour répondre à la demande
- Coût du matériel scientifique de plus en plus cher : substituer des éléments simples par du « home-made » et favoriser l'achat de matériel plus « open source » et facile à interfacer mais aussi à réparer.
- Demande croissante des laboratoires pour des expériences plus complexes faisant intervenir plusieurs instruments avec de l'automatisation

Une mécatronique 2030 à notre portée : répondre à une demande croissante de montages expérimentaux spécifiques avec des outils de conception et de fabrication accessibles.

Pour les labos : Moins de dépendance aux équipements coûteux, plus de solutions sur mesure, adaptables et réparables → une recherche plus souple, moins couteuse et plus durable

Pour les personnels techniques : Un métier élargi sans être complexifié, avec un panel plus large de compétences afin de favoriser le travail par projet → plus de valorisation, plus de diversité dans les projets.