

Projet *nanøeye*

Synthèse de l'étude de marché

Objectifs :

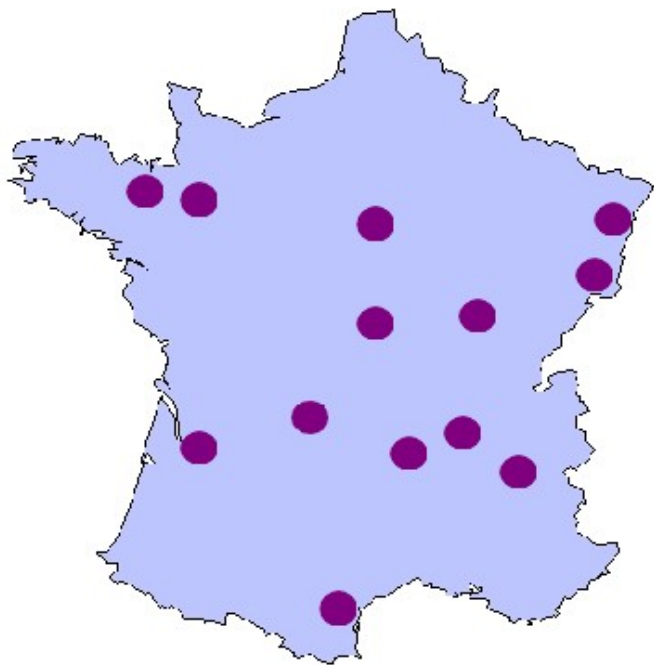
Le projet *nanøye* vise à développer un équipement de microscopie à force atomique à destination de l'enseignement. C'est pour cette raison que nous nous sommes attachés à rassembler les avis d'utilisateurs potentiels de ce type d'équipement, et d'orienter le design du produit au plus près de leurs attentes. L'AFM doit prendre en compte la sphère enseignante autant que le point de vue des étudiants dans la conception d'un équipement qui se veut optimisé en termes de coûts de fabrication et de facilité d'utilisation, pour une compréhension plus pratique et intuitive du nanomonde et de la façon d'y accéder.

Mots clés :

Atomic Force Microscopy (AFM), Nanotechnologies, Enseignement scientifique, Design, Technologie, Sondage

Méthode :

Un questionnaire en ligne a été diffusé par mail aux établissements français proposant actuellement une formation en rapport avec les nanotechnologies, et donc susceptibles d'être intéressés par le produit proposé. Parmi ces institutions on compte 30 IUT, 18 universités et 25 écoles d'ingénieurs réparties sur l'ensemble du territoire. 26 d'entre eux ont répondu au questionnaire par l'intermédiaire de contacts identifiés comme étant connaisseurs, et éventuellement utilisateurs fréquents, de la technologie AFM, dans le milieu de l'enseignement.



L'ensemble des 26 réponses regroupe 8 IUT, 12 Universités, 5 écoles d'ingénieurs et un pôle de compétitivité, répartis sur le territoire français.

Figure 1 Répartition des institutions ayant répondu au questionnaire

Un sondage ciblé :

A la suite d'appels et de mails préalables afin de cibler les contacts clés au sein de ces institutions, le questionnaire leur a été transmis. Il est divisé en 5 parties, à savoir :

- Une brève présentation du projet et de ses objectifs, ainsi que du porteur de projet
- Les coordonnées de l'établissement et l'identité du contact
- L'importance des nanotechnologies dans l'enseignement
- L'intérêt de l'AFM à vocation pédagogique
- Les critères de préférence pour un équipement de ce type

Quelques champs supplémentaires ont été laissés afin que les personnes interrogées puissent, si elles le souhaitent, laisser un avis sur la façon dont elles percevaient ce projet, et y apporter leur contribution future lorsque le prototype serait prêt.

Le but est à la fois de tester l'adhérence du produit sur le marché, de connaître plus précisément la demande auprès de la clientèle visée, mais aussi de confirmer ou de réadapter notre stratégie d'adressage avec un design pensé pour et par le monde de l'enseignement.

Les résultats de l'enquête :

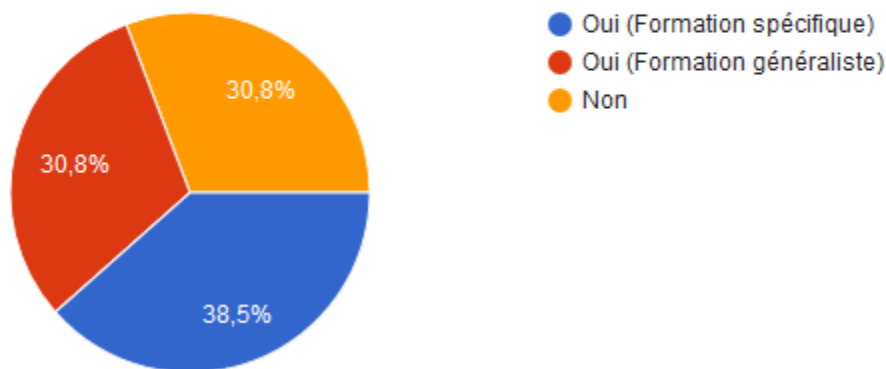
Le questionnaire a été créé en ligne grâce à l'outil *Google Forms*, permettant de publier des sondages simples et clairs, mais également de recueillir les réponses de façon individuelle ou collective, avec un premier traitement statistique des données sous forme graphique. Toutefois, certaines questions ont nécessité une reprise de ce traitement de données sous Excel.

Les différents axes de réflexion proposés par ce sondage seront étudiés séparément dans un premier temps, avant de tirer des tendances plus générales de l'ensemble.

- **Partie 1 : L'enseignement des nanotechnologies**

Votre établissement propose-t-il une formation relative aux nanotechnologies ?

(26 réponses)

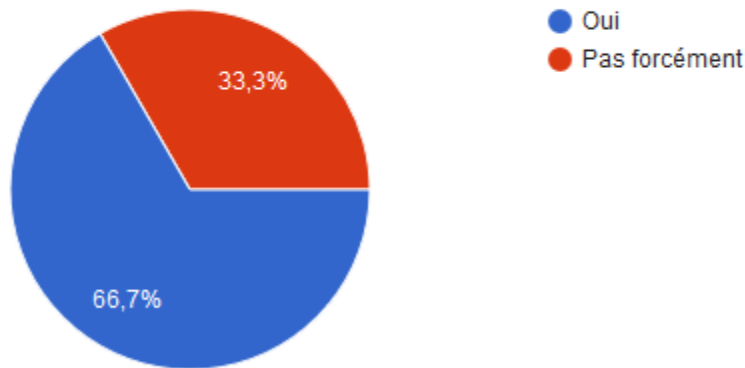


Cette question permet de vérifier que les établissements sondés proposaient bel et bien une formation en rapport avec les domaines visés par ce projet. Si la réponse était négative, les

répondants passent directement à la partie concernant l'AFM. 18 d'entre eux ont donc poursuivi avec la partie traitant de l'enseignement des nanotechnologies.

Pensez-vous que les nanotechnologies augmentent la popularité de votre formation ?

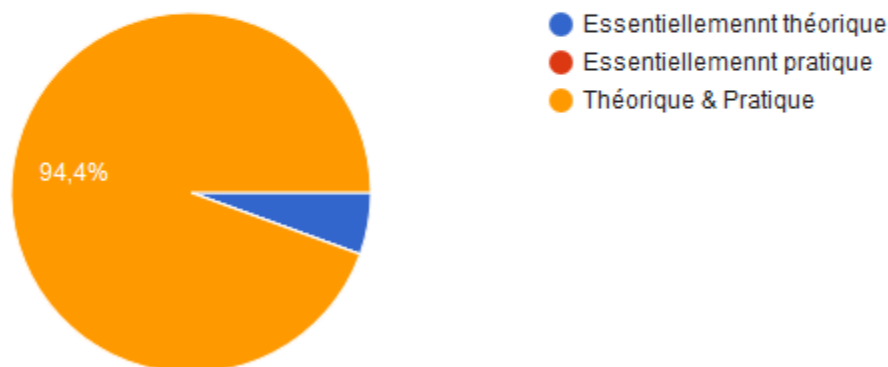
(18 réponses)



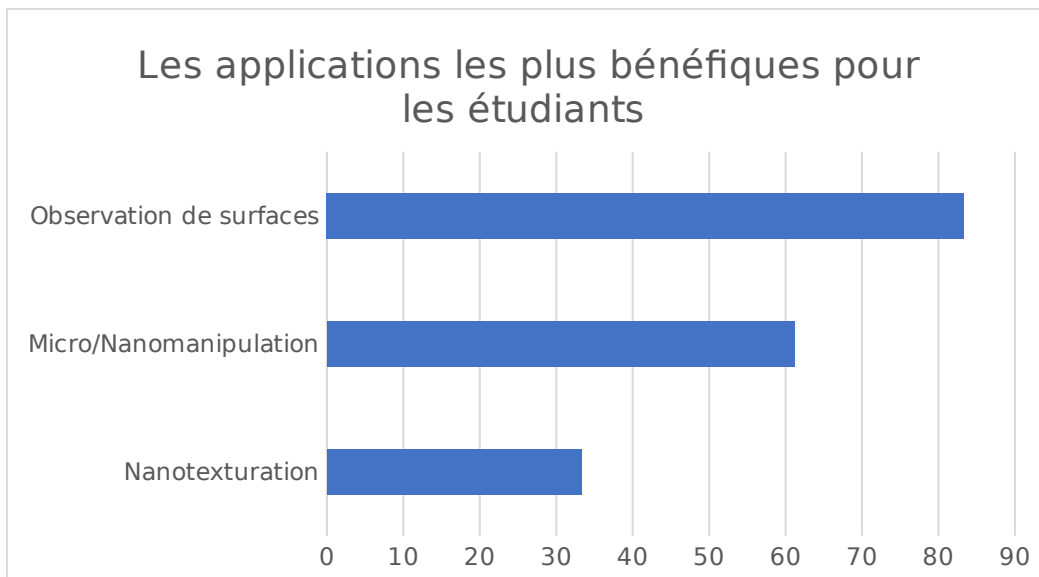
La majorité de ceux qui enseignent dans le domaine des nanotechnologies estime que ce choix augmente la popularité de l'établissement auprès des étudiants. Ceux qui ont opté pour la réponse négative pensent que l'attrait pour leur formation vient d'un champ plus large, notamment en rapport avec l'ingénierie des matériaux, comme l'a fait remarquer [M. Aziz DINIA](#), responsable pédagogique du Master mention Matériaux spécialité Ingénierie des matériaux proposé à l'ECPM (Ecole européenne de chimie polymères et matériaux, Université de Strasbourg).

Avec quelle approche sont abordées les nanotechnologies dans votre cursus ?

(18 réponses)



L'enseignement des nanotechnologies semble se faire en grande majorité sur une association des aspects pratiques et théoriques, d'où l'intérêt fort pour proposer aux étudiants des travaux pratiques associés dans leur parcours.



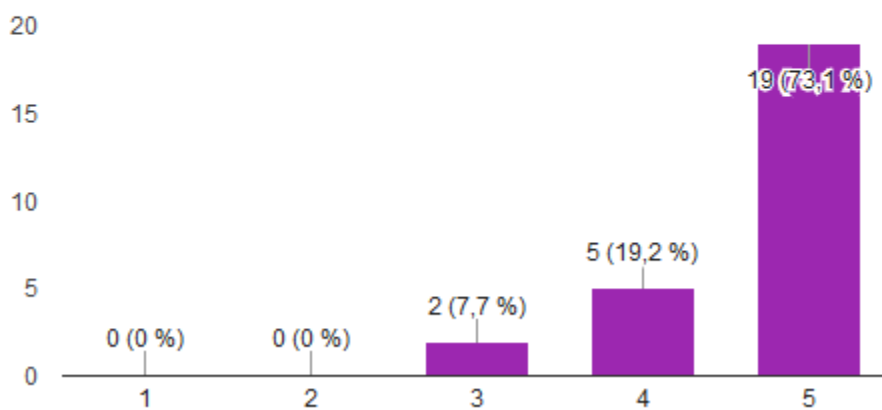
Parmi les applications pratiques proposées aux étudiants, l'observation de surface reste prioritaire à 83% avec la nano manipulation à 61%, qui font toutes deux parties des possibilités offertes par un AFM.

- **Partie 2 : La Microscopie à Force Atomique**

Cette partie a été complétée par l'ensemble des répondants et permet de placer l'AFM comme outil principal d'enseignement pour les nanotechnologies.

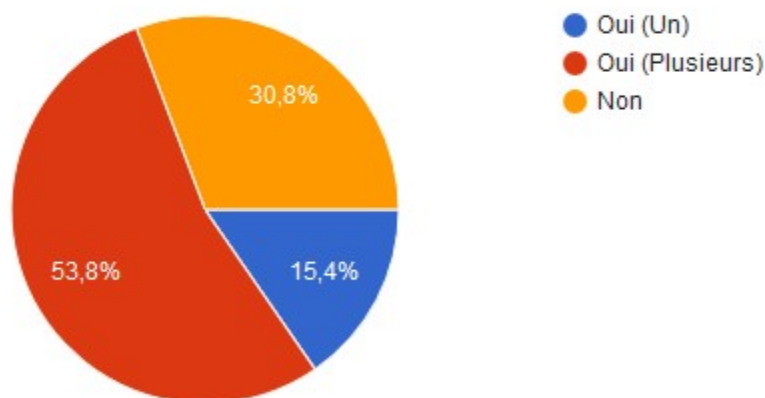
Comment jugez-vous l'intérêt de l'AFM dans l'observation du nano monde ?

(26 réponses)



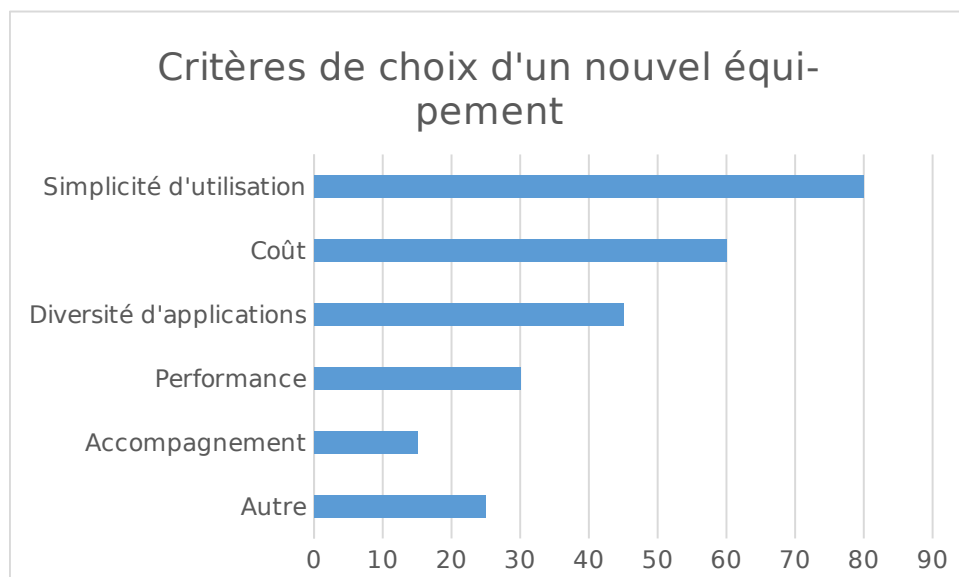
Ainsi, sur une échelle de 0 à 5, 73% des sondés ont manifesté un très fort intérêt pour l'AFM dans l'observation de surfaces à l'échelle nanométrique. L'AFM reste donc un élément clé de l'enseignement des nanotechnologies.

Disposez-vous déjà d'AFM(s) ? (26 réponses)



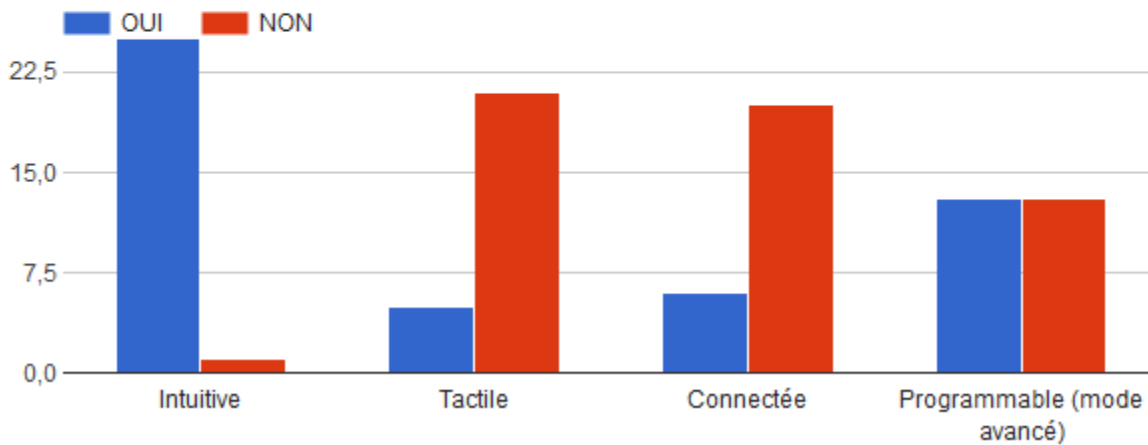
Et pourtant, comme le montre ce graphique, 30% d'entre eux ne disposent pas du tout d'AFM à l'heure actuelle, et 15% d'un seul appareil. Nous verrons plus bas que même ceux en ayant déjà un (ou plusieurs) à disposition ont montré leur intérêt pour en acquérir davantage sur les plateformes de travaux pratiques.

Mais il est nécessaire, pour retenir l'attention de ces établissements, de prendre en compte leurs attentes vis à vis d'un nouvel équipement.



Ainsi, 80% des utilisateurs interrogés privilégient la simplicité d'utilisation et le coût d'un appareil destiné à des applications pédagogiques, avec une interface intuitive. D'où l'existence d'un réel besoin de modèles adaptés à la compréhension par l'expérimentation.

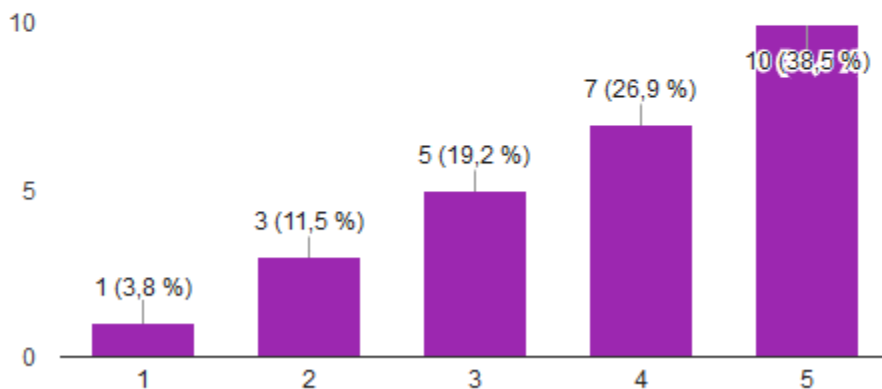
Quelle serait pour vous l'interface rêvée pour initier vos étudiants à un appareil ?



Concernant l'interface utilisateur, sa conception doit avant tout se pencher sur sa prise en main la plus intuitive possible. Nous devons donc intégrer des précautions ergonomiques dans la conception mécanique de l'ensemble, mais également logicielle. Il serait peut-être judicieux de ne pas complètement brider le paramétrage du logiciel, afin que des utilisateurs plus aguerris puissent intervenir sur les réglages souhaités.

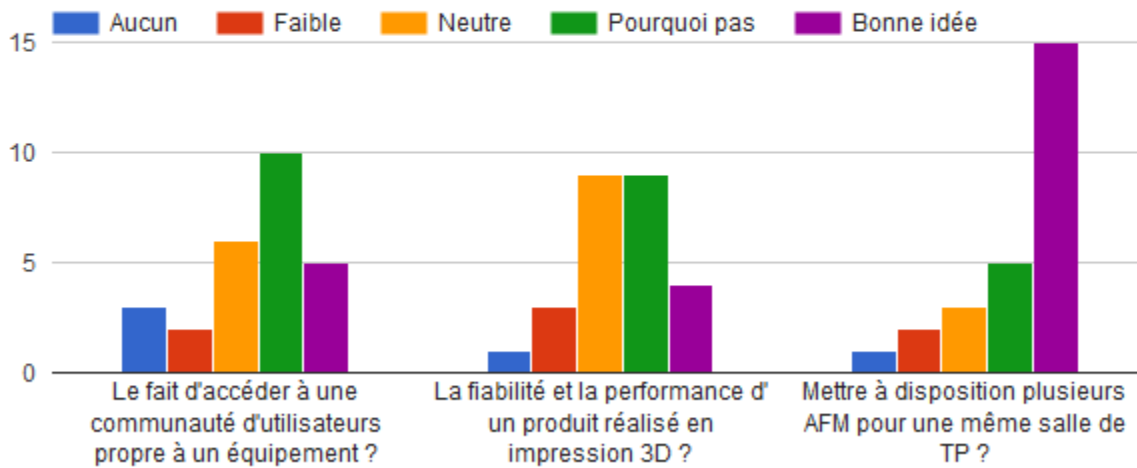
Aimeriez-vous bénéficier de supports pédagogiques liés à l'utilisation de l'AFM ?

(26 réponses)



Plus de 65% des contacts interrogés opteraient volontiers pour un kit pédagogique associé à l'équipement après avoir donné une note de 4 ou 5 sur 5 à propos de cette option. L'idée de proposer des solutions « clé en main » pour l'utilisateur serait donc perçue comme un plus.

Quel attrait auriez-vous pour....

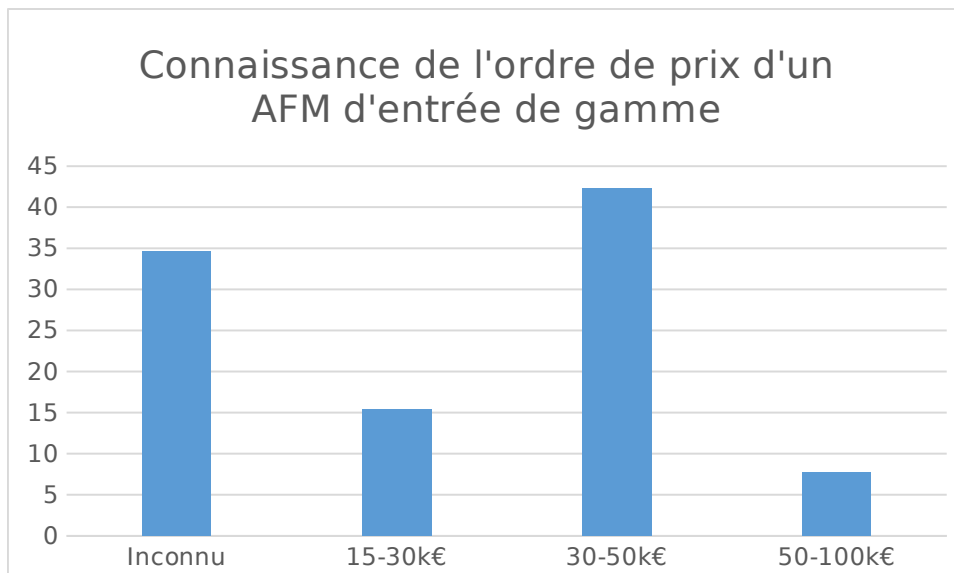


Comme évoqué précédemment, 77% manifestent leur intérêt pour mettre plusieurs AFM à disposition pour leurs étudiants sur une même plateforme de travaux pratiques, ce pourquoi nous n'excluons pas totalement du marché les institutions disposant déjà d'AFM.

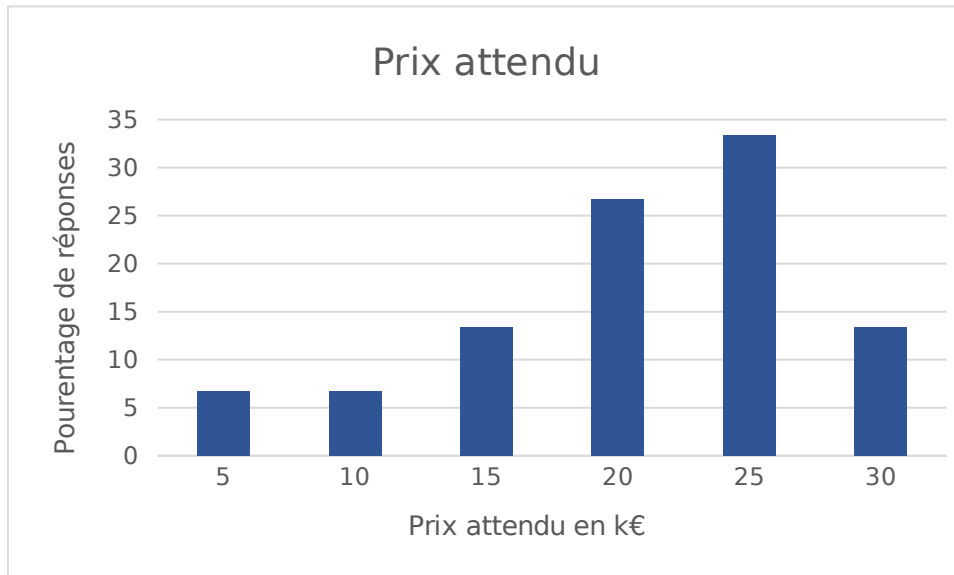
La majorité des réponses nous conforte dans l'idée qu'un AFM d'entrée de gamme réalisé en impression 3D ne rebuterait pas les utilisateurs quant à sa fiabilité, et pourrait même être un avantage à mettre en avant.

L'idée de proposer une communauté propre à l'AFM produit, pour la mise en commun de résultats ou l'échange de savoirs ne soulève pas un grand enthousiasme, mais pourrait devenir une accroche supplémentaire à condition de renforcer la communication autour de ce sujet.

Enfin, les dernières questions se rapportent au prix estimé pour le type d'équipement proposé. Les personnes sont tout d'abord interrogées sur leur connaissance de l'ordre de prix d'un AFM d'entrée de gamme actuel sur le marché, et la plupart des réponses.



La grande majorité de ceux qui savent le chiffrer estiment ce type de produit à plus de 30 000€ pièce, ce qui rejoint effectivement les tendances actuelles du marché. En effet, les modèles directement concurrents proposés par *Nanosurf (NaioAFM)* et *NT-MDT (NanoEducator II)* coûtent déjà près de 30 000€.



Une fois le projet présenté, les réponses donnent une fourchette de prix estimé entre 5 000 et 30 000€, avec une médiane située à 20 000€.

La question relative au budget dédié à la formation pratique dans l'établissement considéré ne s'est pas avérée très concluante, car la majorité des personnes qui y ont répondu n'ont pas su le chiffrer. Pour ceux qui en avaient une idée, le budget annuel des grandes universités semble a priori plus conséquent (50 à 100k€) que les laboratoires de recherche (environ 10 à 20k€). Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que les budgets donnés pour les grandes institutions ne concernent pas qu'une seule formation. De même, les montants donnés les plus faibles (10 à 20k€) sont généralement alloués pour un projet tel que nous l'a décrit [M. Daniele NUTARELLI](#), Maître de Conférences à l'Université Paris Sud, qui avait mis en place une formation dédiée à la microscopie de champ proche avec un budget alloué de 10 000€.

En raison des attentes en termes de coûts et du budget souvent restreint pour la mise en place des enseignements pratiques, l'AFM proposé par *nanøeye* se positionne sur un prix compétitif à moins de 10 000€.

Des retours très positifs :

Nous avons pu échanger directement avec plusieurs enseignants-chercheurs familiarisés avec la technologie AFM dans leurs enseignements, dont [M. Stéphane CUENOT](#), Maître de Conférences à l'Université de Nantes, menant des activités de recherche au sein du groupe « Physique des Matériaux et Nanostructures » de l'Institut des Matériaux Jean Rouxel. M. CUENOT lors d'un entretien téléphonique nous a manifesté son intérêt pour le projet développé et nous a proposés son aide pour l'orientation du design produit, notamment en répertoriant les caractéristiques des cinq appareils dont il disposait sur place pour tirer des conclusions sur leurs atouts comme leurs points faibles. Son contact est donc pour nous à conserver pour la suite. Mme Florence MARCHI, de l'Institut Néel nous a également soutenus depuis les débuts du projet en 2016 et encadrera le stage de PFE orienté sur la pratique de l'AFM et le perfectionnement de son utilisation à vocation pédagogique.

Une reprise de contact sera également nécessaire auprès des personnes qui souhaitent échanger davantage sur le projet :

« Je pourrais vous recontacter d'ici février puisque je mets en place un enseignement pratique et théorique de l'AFM pour cette période, en école d'ingénieurs »

David Halley, Maître de Conférences - Département Magnétisme des Objets NanoStructurés (DMONS), Université de Strasbourg, Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg

Dans la grande majorité des cas, les retours apparaissent positifs et enthousiastes :

« Un AFM de table à bas coût, évolutif et à vocation pédagogique serait d'une grande utilité »

Pascal Turban, Maître de Conférences, Université Rennes 1, Responsable Master mention physique (M2) spécialité nanosciences, nanomatériaux, nanotechnologies (Proposée par le centre de compétences C'Nano Nord-Ouest)

- **Quelques avis constructifs :**

Certains contacts n'ont pas hésité à nous laisser leur façon de percevoir un équipement tel que nous souhaiterions proposer. Ces suggestions sont pour nous le reflet des attentes particulières de nos futurs clients et sont donc à garder en tête pour la conception du modèle final.

« Robuste, pas cher mais principe de fonctionnement proche de celui des appareils de recherche »

Nicolas Delorme, Professeur des Universités, Université du Maine, Institut Molécules et Matériaux du Mans (IMMM), UMR CNRS 6283

« Réaliser un instrument qui soit le moins possible boîte noire pour que l'on appréhende bien les éléments essentiels du fonctionnement »

Daniele Nutarelli, Maître de Conférences, Université Paris SUD - Université Paris Sud Laboratoire Aimé Cotton

« A des fins pédagogiques, le premier point à tenir est la "robustesse" des acquisitions, qui doit être fiable et "marcher à tous les coups", pour un temps de manip de 2 ou 3H00. Il faut un intérêt pédagogique pour la manip et son traitement, et pour cela disposer de substrats modèles pertinents sur lesquels par exemple plusieurs informations corrélées à la topographie pourraient en être tirées, aussi bien en courbe de force qu'en imagerie. L'incorporation de canaux d'acquisitions pour des mesures "électriques" est un exemple (mais ça implique probablement une augmentation du coût à l'achat..).

Le second point serait de développer des astuces pour faciliter le montage des cantilevers et la mise en route de l'approche (positionnement du laser, etc..), pour que des étudiants inexpérimentés puissent le faire eux-mêmes.

Enfin, le prix d'achat (pour un service de TP en UFR ou IUT) est le quatrième point important : pour des groupes de TP supérieurs à 12 étudiants le plus souvent, il faut pouvoir disposer d'au moins 3 appareils. C'est probablement le point le plus compliqué. »

Arnaud Chovin, Maître de Conférences à l'IUT Paris Diderot et laboratoire d'Electrochimie Moléculaire

« Une pointe durable, prémontée sur support sécurisé et positionnable facilement, imagerie et possibilité de faire des tests mécaniques, exportation des données pour traitement ultérieur des images, appareil robuste, mais pas forcément trop basique. »

Une enseignante de DUT Mesures Physiques

Conclusion :

Les tendances que nous avons en tête à propos du marché ont été confirmées par cette étude. Les nanotechnologies représentent un domaine attirant de par son potentiel d'innovation croissant, et la nécessité de pouvoir accéder facilement à l'échelle du nanomètre se fait ressentir. L'AFM constitue un outil clé pour l'observation du nano monde, et pourtant bien des institutions n'en sont pas encore équipées. Parmi celles qui en ont déjà fait l'acquisition, l'intérêt persiste pour en acquérir davantage et les mettre à disposition des étudiants sur plusieurs postes de travail à la fois. La demande existe donc bel et bien, et l'avantage que peut tirer *nanoeeye* est de se rapprocher des attentes spécifiques des enseignants comme des étudiants pour se démarquer et retenir l'attention générale. Dans l'esprit du public visé, un AFM à vocation pédagogique doit avant tout axer, hormis son faible coût et la conservation de ses performances, sur sa facilité de prise en main pour une compréhension plus intuitive, et sur sa robustesse. L'enjeu du développement technique sera donc pour nous de développer une interface utilisateur intelligente et attractive.

Chiffres clés

73

Pourcentage de notes entre 4/5 et 5/5 pour juger de l'intérêt de l'AFM dans l'observation

46

Pourcentage d'institutions ne disposant pas d'AFM ou équipées d'un seul appareil, qui ont en plus manifesté leur intérêt pour avoir plusieurs AFM disponibles

80

Pourcentage de ceux qui privilégient la simplicité d'utilisation

96

Pourcentage de votes en faveur d'une interface utilisateur plus intuitive

20

Prix estimé pour un AFM destiné à l'enseignement en lycée

Annexe : Liste des institutions contactées

Nom de l'établissement	Identité du contact
Université Paris Diderot	NOEL Vincent , Maitre de Conférences
Université Rennes 1	Pascal Turban , maître de conférences
Institut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M UMR 7361) - Université de Haute Alsace	Berling Dominique Professeur des université - Responsable Master Matériaux et Nanosciences
université de strasbourg / Ecole TPS	Halley David Maitre de conferences
Université de Bourgogne	Pr Eric LESNIEWSKA
ESIREM	DAchicourt jean-marc , co-responsable caractérisation
IUT Paris Diderot	Lorette SICARD, Maître de Conférences
IUT de Villetaneuse	Lee , responsable d'une formation
IUT Paris Diderot (Université Paris Diderot)	Arnaud Chovin , IUT Paris Diderot et laboratoire d'Electrochimie Moléculaire
iut du limousin	Nicolas PRADEILLES , Maître de conférences
IUT, dpt Mesures Physiques	Enseignante
Université du Maine	Delorme Nicolas - Professeur
Université Paris Sud	Directeur Adjoint IUT
École européenne de chimie, polymères et matériaux de Strasbourg (ECPM)	S. Zafeiratos , chargé de recherche CNRS
IUT de Bordeaux - département Mesures Physiques	Sandrine PAYAN , maître de conférences, responsable des enseignements de science des matériaux
IUT de Bourges	Jean-Claude HARGE Assistant Ingénieur
Ecole Centrale de Lyon	Yves ROBACH , Directeur du Département Matériaux
Université Paris SUD	Daniele NUTARELLI Maître de conférences enseignant-chercheur
CNRS et UGA, Institut Néel	SELLIER Hermann, enseignant-chercheur
MINALOGIC	M. CREPIN DIRECTEUR DU SITE DE SAINT ETIENNE
Phelma, Grenoble INP	Irina Ionica, maitre de conférences
Université de Nantes	Mme Bertoncini _ Maître de Conférences
Université Grenoble Alpes	Florence Marchi, Enseignante - Chercheuse
Université de Reims (URCA)	Mickael GILLIOT Enseignant-Chercheur
Lab Hubert Curien CNRS	Yves JOURLIN Responsable d'équipe (Réseaux de diffraction), département Optique/photonique
IPCMS, CNRS et Université de Strasbourg	Mircea RASTEI Maître de Conférences et Responsable activité AFM