



**MINISTÈRE
DES ARMÉES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Enjeux et perspectives du Quantique dans le domaine de la Défense : du capteur au calculateur



**AGENCE
INNOVATION
DÉFENSE**

Les enjeux du quantique pour la défense

Capteurs, communication, cryptographie et calcul



Gouvernance du Ministère des Armées

- Les enjeux de défense sont intégrés dans la stratégie nationale :
 - « *La mise en œuvre par des puissances étrangères d'équipements et systèmes d'armes intégrant des technologies quantiques leur confèrera un avantage stratégique* »
 - « ***les capteurs, la cryptographie, le calcul et les communications** doivent faire l'objet d'un suivi permanent afin **d'anticiper, de détecter et de s'approprier** toute évolution pouvant constituer un « game changer » pour les **opérations militaires*** »

Gouvernance du Ministère des Armées

- Acteur de la stratégie nationale
- Contribution dans son domaine au développement d'un écosystème en France et en Europe
- Posture du MINARM en fonction :
 - De la dualité de la technologie
 - Ou de sa spécificité
- S'appuie notamment sur l'Agence de L'innovation de Défense



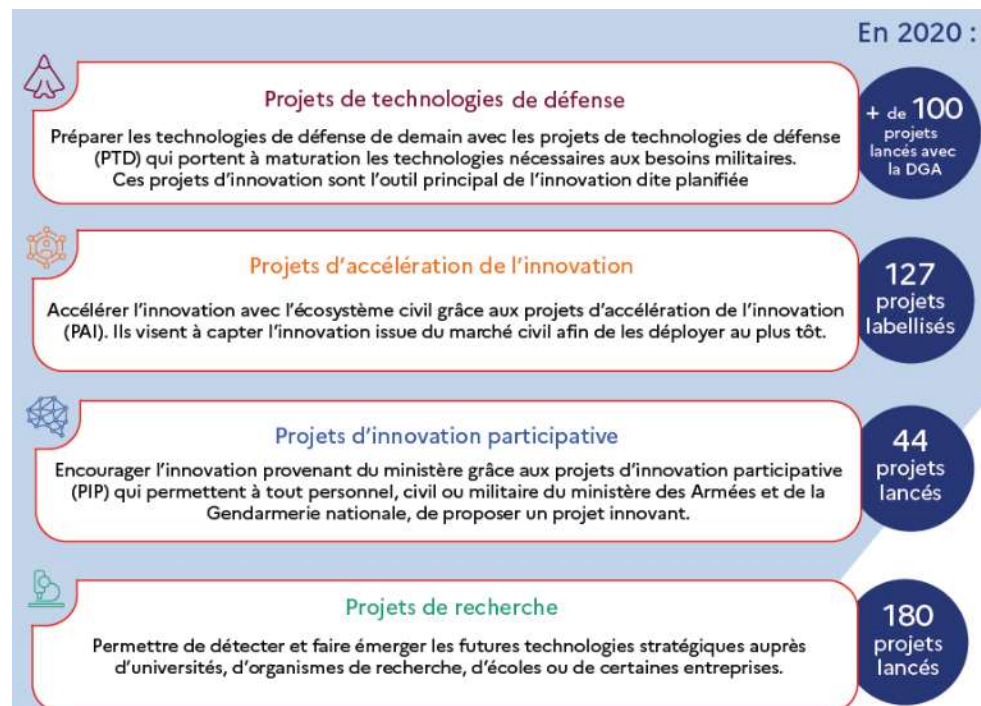
Orientation de l'innovation de défense

- Publication en 2020 de l'instruction ministérielle de l'innovation de défense
 - Acteurs/Gouvernance/Processus d'orientation
- Document de référence de l'orientation de l'innovation de défense (DROID)
 - + 80 M€ sur les nouvelles formes d'innovation
 - Nouveaux sujets capacitaires, fonds innovation défense, nouveaux sujets technologiques et de recherche, passage à l'échelle
 - Mis à jour tous les ans, version majeure tous les 2 ans
 - Donne les évolutions validées par la MINARM pour l'A2PM

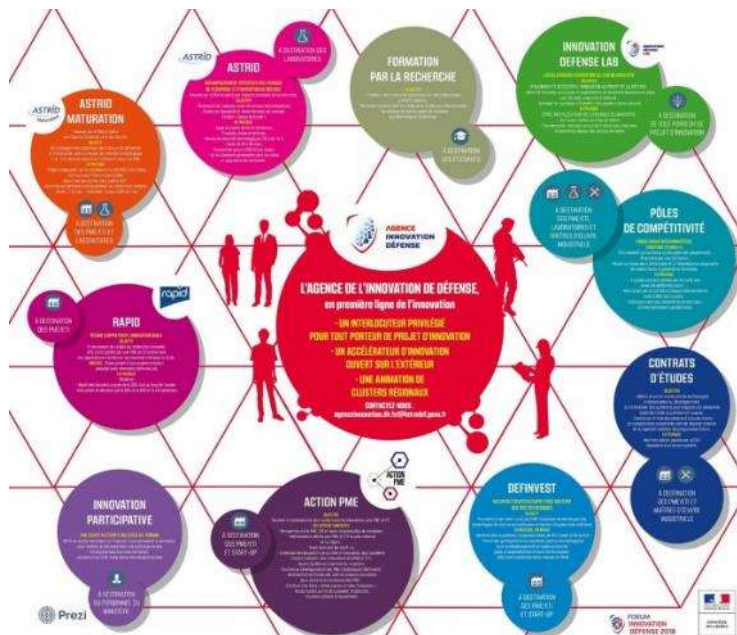


Accélérer les projets d'innovation

Passage d'une orientation par les dispositifs à une gestion en mode « Projets »



Un guichet unique pour l'innovation de défense



Déposez vos projets




L'Agence de l'innovation de défense est votre point de contact unique pour votre projet d'innovation d'intérêt défense.

Vous êtes une start-up, une PME, une ETI, un grand groupe industriel, un laboratoire, un personnel du ministère des Armées, déposez votre projet sur notre [tableau de bord](#). L'Agence vous répondra dans les meilleurs délais en vous proposant un accompagnement adapté à votre projet.

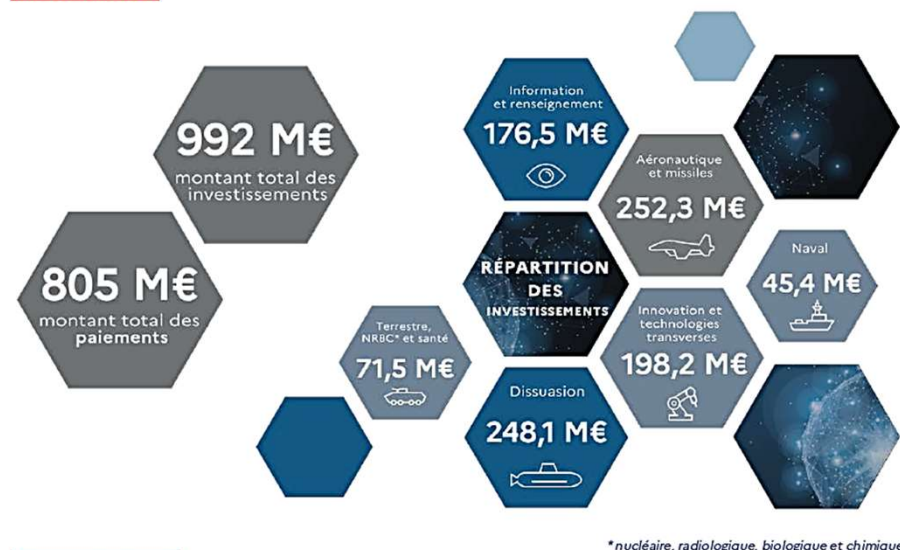


Offrir un point d'entrée clairement identifié
 pour le dépôt de **tout projet d'innovation**
non sollicité

Résultats 2020



BILAN FINANCIER



LE GUICHET UNIQUE



*Le guichet unique est accessible à l'adresse: www.defense.gouv.fr/aid/deposez-vos-projets

Le Fonds Innovation Défense



- Prend des **participations dans des entreprises innovantes en phase de croissance**, start-ups, petites et moyennes entreprises (PME) et entreprises de taille intermédiaire (ETI) développant des technologies duales et transverses intéressant le monde de la défense.

- Opéré par BPI France.

- Le ministère des Armées participe à hauteur de **200 millions d'euros**.

- Articulation avec le fonds « **French Tech Souveraineté** » et prévoit un co-investissement avec BPI d'une part et des industriels d'autre part pour un montant pouvant aller jusqu'à 400 M€.

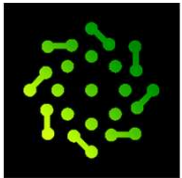
- Il s'étend sur une période de 6 ans.

- Il est complémentaire du fonds **DEFINVEST**, plus centré sur le soutien des entreprises de la base industrielle et technologique de défense (BITD).



La thèse d'investissement du FID reposera sur les principes suivants :

- intervention en phase de capital-risque de manière privilégiée sur **les stades avancés de « série B » à « Growth »** ; une intervention plus en amont (amorçage et « série A ») se ferait uniquement de manière exceptionnelle ;
- de manière préférentielle, le FID vise les entreprises innovantes, aux technologies duales et ayant fait la preuve de leur modèle économique sur un marché primaire hors défense ;
- le fonds investira dans des thématiques technologiques transverses, dont principalement **l'énergie, le quantique, les technologies de l'information (dont l'IA), l'électronique et les composants, les matériaux, la santé/l'humain.**



2 investissements dans le quantique

1/ **Pasqal** construit des processeurs quantiques sur la base de la technologie des atomes neutres ordonnés dans de grandes matrices 2D et 3D avec l'objectif d'apporter un véritable avantage quantique à ses clients, en particulier dans le domaine des **simulations et optimisations complexes**. L'entreprise s'appuie sur la tradition d'excellence de la recherche académique française dans le domaine des atomes refroidis par laser et compte déjà 20 ingénieurs et techniciens spécialistes du quantique dans ses effectifs.

Cette levée de fonds permettra de **finaliser les premiers processeurs quantiques analogiques et digitaux de Pasqal**, de renforcer son approche de co-design des applications qui utilisent ces processeurs pour accélérer des calculs complexes, mais aussi de **construire son offre de calcul quantique hybride** via le cloud et de déployer son implantation à l'international.

2/ Fondée en 2017, **Quandela** est notamment connue pour être à l'origine de *Prometheus*, le **premier générateur de qubits photoniques** au monde avec des domaines d'applications larges dont la cryptographie quantique, les calculateurs quantiques ou les capteurs quantiques.

La technologie développée par Quandela est le **fruit de plus de 20 ans de recherches au sein du Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies C2N** (CNRS/Université Paris-Sud/Université Paris Diderot). La société est située sur le plateau de Saclay et emploie une trentaine de salariés. Cet ordinateur trouvera des applications dans le domaine de la **cybersécurité, la génération de nombres aléatoires, l'optimisation de radars, dans les communications sécurisées**.



La Posture du Ministère des Armées

	Gains/ruptures potentiels	Domaines	MinArm	Maturité
Feuille de route	Capteurs <u>Guerre électronique</u> : senseur compact, ultra large bande et forte dynamique → Probabilité d'interception maximale des menaces <u>Navigation</u> : solutions autonomes à forte stabilité → Résilience à la guerre de la navigation	DE/GE, ROEM, PNT	Pilote ciblé	3-5 ans
	Ordinateur et calcul Accélération dans la résolution de problèmes calculatoires (ex. recherche et optimisation, modélisation et simulation, apprentissage et IA) → Opportunité de mise au point de nouveaux traitements → Cas d'usage	NUM	Veille active	15-30 ans
	Communication	Com	Veille active	10-15 ans
	Crypto post-quantique	Cyber, NUM	Pilote	3-5 ans

détecter l'innovation quantique (1/3)

Sujets	Domaines d'application	Soutien actuel
Analyseur de spectres/magnétomètre basé sur les centres NV du diamant	GE, MAD	ASTRID
Accéléromètre hybride quantique/classique embarquable	PNT	ASTRID
<i>Amélioration interférométrie atomique vis à vis environnement porteur*</i>	PNT	ASTRID 2020
Centrale inertielle atomique sur puce	PNT	ASMA PADR
<i>Capteurs à base d'atomes de Rydberg*</i>	MAD, GE	ASTRID *2020
Source de lumière quantique pour les communications et la métrologie quantique: à photon unique, à <i>photons intriqués spatialisables*</i>	Techno habilitantes	ASTRID ASTRID *2020
Réseau de communication quantique	QKD	ASTRID
<i>Evaluer la menace des ordinateurs quantiques NISQ *</i>	Ordinateur	ASTRID 2020

Astrid : Accompagnement Spécifique des Travaux de Recherches et d'Innovation Défense
ASMA :ASTRID-Maturation



Détecter l'innovation quantique (2/3)

Lancement AAP ASTRID QT 2020 : 4 projets retenus +1 retenu en 2021

Acronyme	Titre	Consortium	Domaine
CARDAMONE	Capteurs à Atomes de Rydberg pour la Detection de chAMps microONdEs	TRT, LUMIN, LCF	DE/GE, ROEM
COQUIA	Contrôle Quantique pour l'Interférométrie Atomique	SYRTE	PNT
QPEG	Algorithmes de compression d'états quantiques	CEA, ATOS	NUM
SoLuQS	Sources de Lumière Quantique Spatialisables	INPHYNI, LiP6, TAVS	COM
Qafeine	Capteur Quantique à Fibre Optique	TRT, INPHYNI	DAS



Détecter l'innovation quantique (3/3)

22 thèses financées ou co-financées depuis 2011 (13 capteurs; 7 COM; 2 Ordinateur)

Titre	Sujet	Laboratoire	Domaine
«Cristaux dopés ytterbium pour les technologies quantiques et l'analyse spectrale à très haute résolution	<p>Développement et caractérisation d'un nouveau cristal $^{171}\text{Yb}/\text{YSO}$ pour 2 applications : mémoire quantique et analyseur spectral de signaux RF</p> <p>Soutenue Par Eloise Lafitte-Houssat le 24/02/2022</p> <p><i>Les résultats montrent en particulier la possibilité de simplifier avec ce cristal dopé à 10 ppm un analyseur spectral SHB et de fonctionner à une température plus élevée qu'avec un système en $\text{Tm}:\text{YAG}$ généralement utilisé pour cette application Les premières caractérisations obtenues sur $^{171}\text{Yb}/\text{LN}$ sont très prometteurs pour l'intégration d'ion de terre rare paramagnétique dans des structures photoniques.</i></p>	IRCP –TRT	Technologies habilitantes
Lien opérationnel de cryptographie quantique à base de boîtes quantiques et de conversion de fréquence	<p>Objectif : développement d'une source à photons uniques compact à $1,5\ \mu\text{m}$ par conversion en longueur d'onde d'une boîte quantique (BQ), développée au C2N et développement d'un lien de cryptographie quantique « champ réel » sur 25 Km –</p> <p>Thèse 2020 en cours de Pierre Didier</p>	INPHI-C2N	COM



Montée en maturité des capteurs (en cours)

Capteurs de champ (GE/DE, ROEM) Electrique, magnétique, électromagnétique,	Capteurs PNT (Gyro, accélero, horloge, centrale inertielle, gravi et gradiomètre)
Poursuite dans le cadre de PTD	
Analyseur de spectre RF large bande Antenne basse fréquence Filtre RF supraconducteur	Horloges et micro-horloges atomiques
	Centrale inertielle compacte

NB : Premier cas d'usage : Gravimètre à atome froids de l'ONERA (GIRAFE, GIRAFE2, GIRAFON) développement du prototype industrialisable pour déploiement dans les bâtiments de océanographique de la marine (transfert techno vers Muquans)



Coopération européenne (FED)

Proposition du projet « **Advanced, Disruptive and Emerging QUAntum technologies for DEfence** » (**ADEQUADE**) portant sur les « capteurs quantiques » et rassemblant une trentaine d'entités issues de 8 Etats membres (dont la France) déposée en décembre 2021

En réponse au Topic FED 2021 =

- 4 topics dans le call « Recherche disruptive » vont se partager **60 M€** de subvention UE
- 1 de ces Topics est **EDF-2021-DIS-RDIS-QSENS « Quantum technologies »**

Trois types de capteurs quantiques pour un usage Défense :

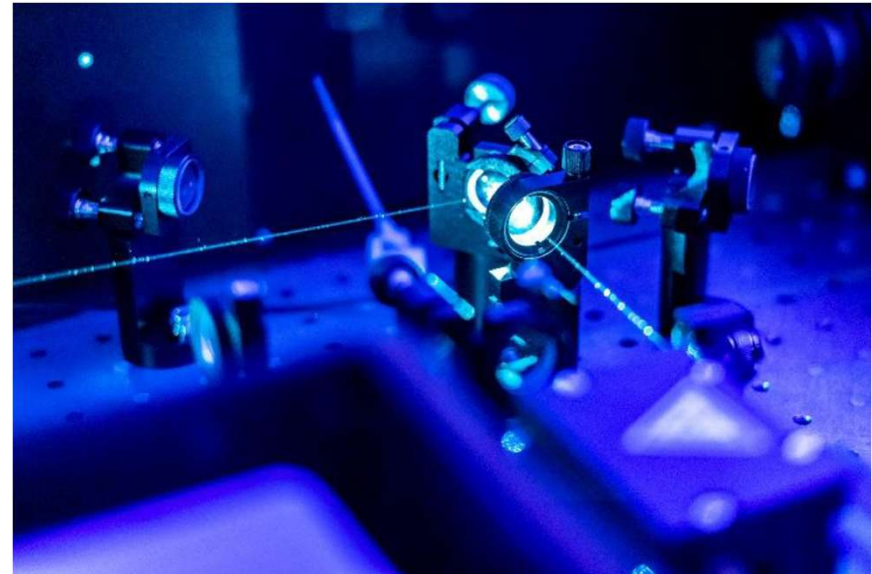
- **PNT** : horloge atomique, gravimètre à atomes froids et les capteurs inertiels...
- **Radiofréquence** : haute sensibilité RF, intelligence électronique (ELINT)
- **Capteurs Optronique**

Ce projet FED s'inscrit dans le prolongement du projet PADR QUANTAQUEST (2020-22) qui amorce les travaux en vue de réaliser à terme une centrale inertielle à atomes froids pour des cas d'usage défense

Compétition européenne entre les propositions déposées aux quatre topics => résultat de l'évaluation avant l'été 2022

Posture actuelle du MINARM

- **Veille active** sur les domaines portés par le **secteur civil (hors cas d'usage)**
 - calcul quantique, communications
- **Pilote/finance** des projets de R&T dans des domaines spécifiques tels que
 - Certains **capteurs quantiques** (e.g. en contexte de guerre électronique, horloge atomique)
 - **Cryptographie** (quantique ou post-quantique)



Questions?

Pour nous contacter :

- Sylvie PAOLACCI-RIERA
sylvie.paolacci-riera@intradef.gouv.fr
- Michaël KRAJECKI
michael.krajecki@intradef.gouv.fr

