

# Évaluation de l'action « Recherche dans le domaine de l'aéronautique » du PIA

## *Rapport Final Public*



25 Octobre 2019

**Auteurs :** Rémi Cornubert (cabinet Advancy)





## Table des matières

Le bilan de l'action : la vue d'ensemble .....	4
Présentation de l'action « Recherche dans le domaine de l'aéronautique » .....	6
L'impact global des projets : une création de valeur confirmée .....	7
Les éléments clés du succès .....	11
L'effet incitatif de l'action PIA .....	11
Axes d'amélioration identifiés .....	13
Benchmark concurrentiel : revue des financements publics pour la recherche aéronautique des autres puissances aéronautiques .....	15
Les défis de l'après-PIA .....	16

## De nombreuses retombées grâce aux projets de R&D aéronautiques soutenus par le PIA et un fort effet incitatif de l'action

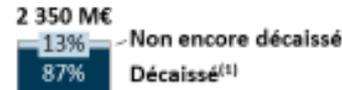
Bilan de l'action PIA « Recherche dans le domaine de l'aéronautique »

### PRÉSENTATION DE L'ACTION

- ▶ **2,35 milliards d'euros contractualisés**, pour une enveloppe de 2,7 Md€ prévue initialement, dont les décaissements sont répartis entre 2011-2022 (à partir de 2015 pour le PIA 2)

#### Thèmes principaux

<b>8 Démonstrateurs technologiques</b>	<b>Maturation de technologies</b> à faible TRL (1 à 5) pour une intégration « dé-risquée »	Socle technologique pour les <b>futurs hélicoptères</b> , <b> futures motorisations</b> , utilisation de <b>matériaux composites</b> , <b>électrification</b> de l'aéronef, <b>usine du futur</b> , <b>avionique modulaire</b> , <b>cockpit du futur</b>
<b>2 Aéronefs du futur</b>	<b>Soutien au développement</b> (TRL 6 à 9) de nouveaux produits à fort niveau de rupture technologique	<b>A350</b> (avion long courrier gros porteur) <b>X4</b> (hélicoptère moyen tonnage H160) <b>X6</b> (hélicoptère lourd, abandon)



### IMPACTS DES PROJETS : QUELQUES INDICATEURS CLÉS

- ▶ Bilan très positif, avec de nombreuses retombées liées aux projets soutenus

<b>Impact R&amp;T (recherche)</b>	<b>430</b> brevets publiés	<b>Développement du tissu industriel</b>	<b>28%<sup>(5)</sup></b> de sous-traitance (vs. 13% prévu) <b>156</b> ETI/PME partenaires
<b>Emplois<sup>(2)</sup> (créés et préservés)</b>	<b>18k</b> ETP industriels <sup>(3)</sup> <b>6k</b> ETP en recherche		dont <b>65%<sup>(4)</sup></b> ont développé une innovation
<b>Développement de compétences</b>	<b>95%<sup>(4)</sup></b> des partenaires ont développé de nouvelles compétences	<b>Impact environnemental</b>	<b>7-8%<sup>(7)</sup></b> de réduction des émissions CO <sub>2</sub> sur la flotte mondiale en 2030
<b>Développement de technologies clés<sup>(8)</sup></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Matériaux avancés</li> <li>▶ Fabrication additive</li> <li>▶ Cobotique</li> <li>▶ Capteurs</li> <li>▶ Modélisation, simulation, ingénierie numérique</li> <li>▶ Systèmes embarqués, distribués, sécurisés et sûrs</li> <li>▶ Nouvelles intégrations matériel-logiciel</li> <li>▶ Propulsion : nouvelles architectures, hybridation, électrification...</li> </ul>		

### EFFET INCITATIF DE L'ACTION PIA

- ▶ Un fort effet incitatif de l'action sur les modes de collaboration / compétences, et le niveau d'ambition. L'accélération est déterminante pour quelques projets (A350, LEAP)

Déclenche-ment	Accélération	Niveau d'ambition	Réduction du risque	Collaboration, compétences	Effet de levier
Pas de projet sans l'action PIA	Projet accéléré grâce à l'action	Périmètre projet plus large	Réduction du risque financier et commercial	Structuration des partenariats et développement des compétences	Ratio investissements (privés+publics) / (publics)
<b>+</b>	<b>+++</b>	<b>+++</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>x3</b>
<b>1 projet concerné (X4)</b>	<b>Déterminant pour le time-to-market des programmes LEAP et A350</b>		<b>D'ordre 2, sauf pour les avances remboursables</b>	<b>Fort effet bénéfique, spécifique à l'outil PIA</b>	

(1) Au 30 juin 2019

(2) Partenaires et sous-traitance; sur la durée du projet pour les emplois de recherche; sur 30-40 ans pour les emplois industriels

(3) Sur les projets d'aéronefs du futur A350 et X4

(4) Sur 5 plateformes (EPICE, SEFA IKKY, GENOME, AFC et UAF Innofab), donnée vérifiée qualitativement sur les autres projets

(5) Pour les démonstrateurs technologiques (48% de sous-traitance pour les aéronefs du futur)

(6) Estimation du retour financier actualisé sur les avances remboursables A350 (Airbus) et X4 (Airbus Helicopters) jusqu'en 2050

(7) Aéronef A350 XWB et moteur LEAP (estimation Advancy) (8) Parmi celles identifiées dans l'étude « Technologies Clés 2020 »

Sources : entretiens, recherches et analyses Advancy

## Une action qui s'appuie sur des fondamentaux solides, bien que quelques éléments puissent être améliorés ; un financement public plus élevé aux Etats-Unis et en Chine

Bilan de l'action PIA « Recherche dans le domaine de l'aéronautique »

### LES ÉLÉMENTS CLÉS DU SUCCÈS

Efforts ciblés répondant à une feuille de route filière	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Feuille de route technologique partagée par une filière très structurée et verticale ; Mise à jour régulièrement par le Corac<sup>(1)</sup></li> </ul>
Un financement pluriannuel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Apporte visibilité, continuité et cohérence</li> <li>▶ Possibilité de réaliser des démonstrateurs plus ambitieux (structurellement long à mener et à plus fort risque)</li> </ul>
Un mode de financement adapté	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Subventions pour les démonstrateurs, permettant d'élargir l'enveloppe R&amp;T des industriels</li> <li>▶ Avances remboursables pour le développement de produits (forte intensité capitalistique), permettant principalement un partage du risque</li> </ul>
L'Etat représenté par des experts	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Pertinents pour piloter les budgets, évaluer techniquement et challenger les projets, ainsi que fédérer les acteurs de la filière</li> </ul>
Mise en place de modes de collaboration efficaces	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Obligation d'appels d'offres, sous-traitance minimum, confidentialité, collaboration des acteurs (concurrents, avionneurs/équipementiers/...), implication de PME/ETI auparavant non présentes dans l'aéronautique, etc.</li> <li>▶ Source d'innovation et de développement du tissu industriel</li> </ul>

### LES PRINCIPAUX AXES D'AMÉLIORATION ET POINTS DE VIGILANCE

De manière transverse, nécessité de :	Pour quelques projets seulement :
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Définir précisément les indicateurs à suivre et les cibles à atteindre ; notamment suivi systématique de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> (conversion masse - gain CO<sub>2</sub> à définir)</li> <li>▶ Améliorer la visibilité du SGPI sur l'action pour un suivi interministériel : association aux réunions d'avancement ; meilleure visibilité sur les prévisions de remboursements des AR<sup>(2)</sup> ...</li> <li>▶ Les porteurs de projet doivent capitaliser sur les compétences / technologies développées (notamment celles qui n'ont pas pu être encore intégrées à un aéronaf)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Un manque de réactivité et de souplesse administrative a été reproché par les bénéficiaires : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Délais trop longs de contractualisation, de mise à jour d'avenant ou de paiement</li> <li>• Souplesse budgétaire parfois limitée (nécessité d'un avenant pour réallouer le budget au sein d'une même plateforme)</li> <li>• Reporting demandé non homogène ; fréquence parfois considérée comme trop élevée</li> </ul> </li> </ul>

### BENCHMARK INTERNATIONAL DES FINANCEMENTS PUBLICS POUR LA RECHERCHE AÉRONAUTIQUE

- ▶ Sur la période 2010-17, les financements européens<sup>(3)</sup> sont en deçà du niveau des financements américains, et sensiblement plus faibles que les financements chinois (moyenne annuelle, Mds €)



(1) Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile

(2) Avances remboursables

(3) Les financements européens considérés incluent les budgets nationaux de la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni, les budgets européens (Cleantech, Sesar), et les avances/prêts pour l'A350

Sources : entretiens, recherches et analyses Advancy

## Présentation de l'action « Recherche dans le domaine de l'aéronautique »

Dans le cadre du **Programme des Investissements d'Avenir (PIA)**, lancé par le Gouvernement en 2009, la loi de finances rectificative n° 2010-237 du 9 mars 2010 a ouvert 1 500 M€ pour financer l'action « Recherche dans le domaine de l'aéronautique », puis la loi de finances n° 2013-1278 du 29 décembre 2013 pour 2014 a ouvert 1 220 M€ supplémentaires pour compléter ce financement.

Une enveloppe totale de **2,7 milliards d'euros** a donc été allouée **au domaine de la recherche aéronautique**. Cependant, du fait de l'abandon du projet X6 en 2017 pour des raisons de marché, ce sont près de **2,4 milliards d'euros qui ont été contractualisés** à ce jour.

**L'action est constituée de deux volets** complémentaires :

- **8 démonstrateurs technologiques**, visant la recherche amont (appelée R&T – Recherche et Technologie – dans le secteur aéronautique) : il s'agit de maturer des technologies à faible TRL (1 à 5) pour une intégration « dé-risquée » de ces technologies dans les prochains avions. Le mécanisme de soutien de ces démonstrateurs est principalement la subvention.
- **2 projets d'avions du futur**, visant à soutenir la phase de recherche aval (appelée R&D – Recherche et Développement – dans le secteur aéronautique) : il s'agit de développer (TRL 6 à 9) de nouveaux produits à fort niveau de rupture technologique. Ces projets sont soutenus par un mécanisme d'avances remboursables, garantissant un retour financier direct à l'Etat en cas de succès commercial de ces avions.

Les 8 démonstrateurs technologiques traitent des sujets suivants :

- La plateforme **Hélicoptère du futur** (HdF) a pour objectif d'amener à maturité un ensemble de technologies clés permettant à l'ensemble de la filière hélicoptère française de constituer un socle technologique solide en vue du renouvellement de sa gamme de produits ;
- La plateforme **EPICE** (Ensemble Propulsif Intégré avec Composites pour l'Environnement) a pour objectif de lever différents verrous à l'utilisation de matériaux composites dans les moteurs de nouvelle génération et à leur installation sur avion ;
- La plateforme **Avion du Futur Composite** vise le développement de pièces et sous-ensembles en matériaux composites en vue de leur intégration ;
- La plateforme **UAF** (Usine aéronautique du futur) vise à préparer la filière industrielle aéronautique française aux futures mutations technologiques dans les procédés et moyens de fabrication ;
- La plateforme **Genome** (GEstioN OptiMisée de l'Energie) est une plateforme de démonstration technologique dans le domaine de l'avion et de l'électrification dans l'aéronautique ;
- La plateforme **TS3000** a pour objectifs de fournir une démonstration technologique pour une turbine à gaz micro-hybridée à cycle récupérée et à faibles émissions de NOx cycle récupéré et faibles émissions de NOx et développer un moteur de puissance 2 MW pour des applications turbomoteur pour hélicoptères et turbopropulseur pour avion régional ;
- La plateforme **SEFA** (Système embarqué et fonctionnalités avancées) traite du cockpit du futur et d'une nouvelle architecture de système de gestion de vol (Flight Management System) ;
- La plateforme **Avionique modulaire étendue** (AME) a pour objectif de définir les architectures et les composants informatiques et électroniques de nouvelle génération pour les systèmes avioniques des futurs avions ;

Les projets d'aéronefs du futur sont constitués des programmes :

- **Avion bi-couloir long-courrier A350 XWB** (dont la décision de financement a été prise avant la création du PIA, pour un montant de 1,2 milliards d'euros).
- **X4** : Hélicoptère H160 de moyen tonnage, pour un montant de 250 millions d'euros

## L'impact global des projets : une création de valeur confirmée

Dans l'ensemble, les projets relevant de l'action aéronautique du PIA dans la recherche aéronautique ont été fortement bénéfiques sur les différentes dimensions analysées : R&T (Recherche et Technologie), économique, industrielle, positionnement concurrentiel, financier (retour pour l'Etat), environnemental et sociétal.

### R&T

Au global, nous avons pu constater une progression significative des niveaux de maturité technologique sur l'ensemble des projets. De nombreux jalons TRL ont été franchis, globalement en ligne avec les objectifs fixés au lancement du programme.

Après maturation, le développement de certaines technologies a dû être stoppé, du fait de performances jugées trop faibles ou économiquement non viables. Les budgets ont pu être réalloués vers des alternatives plus prometteuses. Par ailleurs, quelques retards ont été constatés. Ces situations sont finalement inhérentes à tout projet de recherche R&T par nature risqué et à l'issue incertaine.

Ci-dessous une vision synthétique simplifiée des jalons TRL franchis sur l'ensemble des projets :

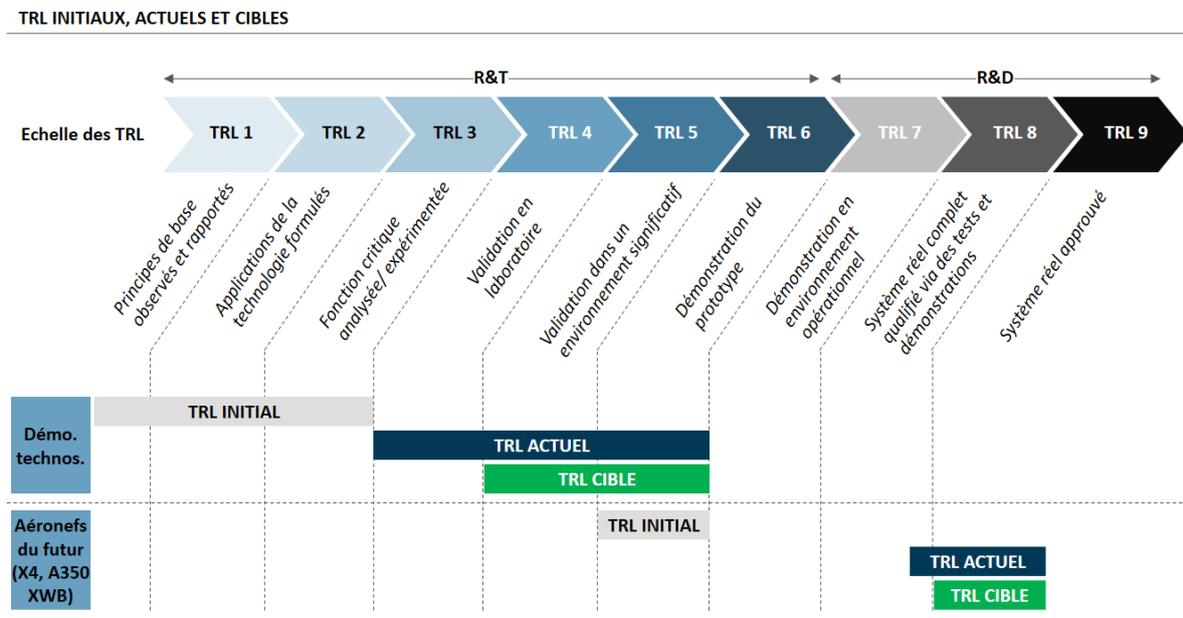


Figure 1 - Evolution des niveaux de TRL

L'avancée moyenne des TRL est la suivante (estimation macro):

- Pour les démonstrateurs technologiques du PIA 1 : +2,5 niveaux de TRL

- **Pour les démonstrateurs technologiques du PIA2 (en cours) : +1,5 niveaux de TRL**
- **Pour les avions du futur : +3 niveaux de TRL**

En matière de propriété intellectuelle, **426 brevets ont été publiés**, sur une cible initiale d'environ 400 brevets. **L'objectif a donc été dépassé**, alors qu'un certain nombre de projets sont toujours en cours.

Par ailleurs, nous avons décompté environ **150 publications scientifiques** sur l'ensemble des projets. Cet indicateur n'étant pas suivi, nous n'avons pas pu être complètement exhaustif. Ce chiffre constitue donc un minimum. Aucune cible initiale n'était fixée.

**De plus, l'ensemble des démonstrateurs technologiques permettent de participer au développement de technologies identifiées comme clés au niveau national à horizon 2020** (étude Technologies Clés 2020, pilotée par la Direction générale des entreprises). **Parmi les 21 technologies clés du secteur mobilité, 8 sont couvertes par les projets de l'action PIA.**

**Enfin, de nombreux projets ont abouti à des technologies applicables à différentes plateformes.** Notamment le projet HdF a été clé pour l'hélicoptère H160 et ses dérivés militaires à venir, le projet EPICE a permis d'accélérer le développement du moteur LEAP et le projet AFC a contribué significativement à la maturation de technologies composites clés pour l'A350, etc.

Quand cela n'est pas le cas, les technologies développées enrichissent un catalogue qui pourra être à la source d'innovations sur les prochains avions, dont les architectures seront repensées.

### **Création et préservation d'emplois en France**

Afin d'évaluer l'impact économique de l'action, nous avons estimé les retombées en matière d'emplois créés et préservés, à la fois directs et indirects (sous-traitance).

Deux typologies d'emplois sont à distinguer :

- **Les emplois de recherche**, directement liés aux plateformes et projets subventionnés. Nous avons estimé ces emplois sur la base des montants de financement.
- **Les emplois industriels**, liés à l'industrialisation des produits et technologies développés à l'issue des programmes de recherche. Deux typologies sont à distinguer ici :
  - **Les projets d'avions du futur** : le nombre d'emplois liés à l'industrialisation de ces produits sont estimés par les industriels
  - **Les démonstrateurs aéronautiques** : comme ces projets sont plus amont, ils ne débouchent pas directement sur une activité industrielle. Cependant nous estimons un potentiel d'emplois théorique sur la base du financement de ces programmes et de ratios macro-économiques.

Au total, **nous estimons qu'environ 6 000 emplois de recherche ont été créés ou préservés, et environ 18 000 emplois industriels (liés aux avions du futur)**, dans les entreprises porteuses de projets, leurs partenaires et leurs sous-traitants. Cela ne prend pas en compte les effets indirects sur l'activité, que ce soit du côté de l'offre ou de la demande, par exemple celle liée aux fournisseurs de matériaux.

*Note méthodologique : Pour estimer le nombre d'emplois en recherche, nous avons basé notre méthode de calcul sur le montant de financement du projet, en prenant plusieurs hypothèses :*

- Taux horaire chargé et environné de 100€/h pour les donneurs d'ordres
- Taux horaire chargé et environné de 70€/h pour les sous-traitants
- Calcul effectué sur une base de 1600 heures par an

- Taux de sous-traitance spécifique à chaque projet

**Pour les aéronefs du futur, l'estimation du nombre d'emplois industriels est faite par les bénéficiaires, et basée sur l'activité estimée liée au programme (selon les objectifs de production) et du ratio emploi interne/emploi sous-traitants constaté en moyenne pour leur activité.**

Par ailleurs, les **démonstrateurs technologiques ont le potentiel de créer des emplois industriels à plus long terme**. Il est cependant difficile d'estimer le potentiel d'emplois liés à cette activité de recherche amont. Pour cela, nous nous sommes basés sur le montant des investissements et un ratio macro-économique moyen (étude coordonnée par France Stratégie *Les effets du CICE sur l'emploi, les salaires et la R&D : une évaluation ex post* ; 2016). Nous estimons ainsi **un potentiel d'emplois industriels liés aux démonstrateurs technologiques compris entre 3 000 et 7 000 ETP**. Cette analyse est à considérer avec prudence car la référence utilisée pour le ratio n'est pas parfaitement comparable aux investissements de la recherche aéronautique. Cette création d'emploi se matérialise lorsque les technologies mûries atteignent le stade industriel, donc potentiellement à horizon 10 ans voire plus. Cependant, nous constatons déjà des créations d'emplois industriels pour quelques démonstrateurs : des emplois dans l'usine d'aubes de fan du LEAP de Safran (Commercy) sont directement liés à la plateforme EPICE, et des emplois sont partiellement liés à UAF (robotisation du ponçage de pales d'hélicoptère chez Airbus Helicopters et site de fabrication additive en projet chez Safran).

ESTIMATION DE L'IMPACT DES PROJETS DU PIA AÉRONAUTIQUE SUR L'EMPLOI | # ETP (DIRECTS ET INDIRECTS, CRÉÉS ET PRÉSERVÉS)

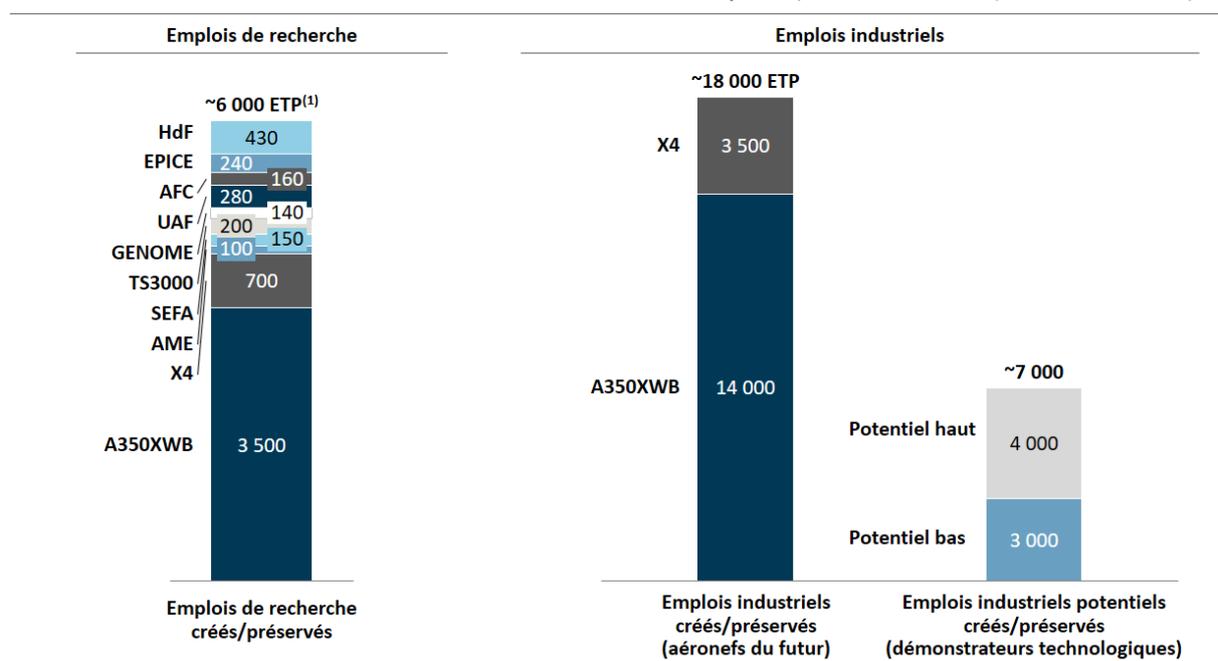


Figure 2 : estimation de la création/préservation de l'emploi grâce aux plateformes PIA

Il est à noter que **ces emplois perdurent sur un horizon temporel long** : en moyenne, un emploi de recherche s'étend sur la durée du projet, soit entre 4 et 8 ans, et un emploi industriel sur la durée de production, soit plutôt de l'ordre de 30-40 ans (cycle de vie d'un modèle d'aéronef).

## Développement du tissu industriel

Bien que les principaux bénéficiaires directs des subventions soient, pour la plupart des projets, les grands groupes tels que Airbus, Safran, Dassault et Thalès, **c'est en fait toute la filière industrielle qui bénéficie des aides**. En effet, les subventions irriguent de manière indirecte, via la sous-traitance, tout le tissu de PME-ETI, universités et laboratoires de recherche.

Pour les **démonstrateurs technologiques**, le **taux de sous-traitance est de l'ordre de 28%**, pour un **objectif moyen de 13%**. Pour la majorité des plateformes, **le taux de sous-traitance dépasse significativement les objectifs fixés** (ce taux de sous-traitance inclut les achats d'équipement).

L'aide PIA apportée aux entreprises porteuses de projet est donc en partie **transférée aux sous-traitants, pour un montant estimé à 240 millions d'euros à la fin de l'action**. Nous estimons que ce montant correspond à environ **280 ETP sur 8 ans** (sur la base d'un taux horaire moyen de 70€ / h). Si l'on compare ces résultats avec la cible initiale (13% de sous-traitance), ce sont **125 millions d'euros de plus alloués à la sous-traitance**, représentant environ **150 ETP supplémentaires**.

Pour les **projets d'aéronefs du futur**, le **taux de sous-traitance moyen est de 48%** (phase de développement). L'objectif fixé sur le X4 était de 27% ; aucun objectif n'était fixé pour l'A350. Par ailleurs, **c'est lors de la phase d'industrialisation des aéronefs du futur que le tissu industriel est particulièrement sollicité** : selon Airbus, le taux de sous-traitance pour l'industrialisation de l'A350 est de **80%** et celui du X4 (H160) est estimé à **70%** (moyenne du secteur).

Grâce aux nombreux partenariats créés, les PME-ETI ont pu bénéficier de manière directe, et surtout indirecte (à travers la sous-traitance), d'une partie des financements de l'action et collaborer ainsi avec les grands groupes dans des projets communs. Ceci permettant tout d'abord de **développer leurs compétences (95% des partenaires interrogés)**, et de générer du chiffre d'affaires additionnel dans certains cas.

## Retour financier direct pour l'Etat

**Le retour financier direct pour l'Etat provient en très majeure partie du système d'avances remboursables des projets A350 et X4.**

L'estimation réalisée du retour direct pour l'Etat se base sur les **meilleures prévisions commerciales (volumes et prix) à notre disposition**. Malheureusement, il ne nous a pas été possible d'obtenir des informations précises de la part des bénéficiaires des avances. Ainsi **plusieurs hypothèses se fondent sur la meilleure estimation d'Advancy**, et ne **doivent pas être considérées comme validées par les bénéficiaires**.

Au global, nous **estimons que les avances devraient être remboursées dans leur intégralité vers les années 2040** (actualisation incluse), **puis légèrement dépasser le montant total des avances grâce au système de redevances**.

Ainsi, le **mécanisme semble bien équilibré**, avec des projets dont le remboursement devrait être supérieur au montant de l'avance, et **viennent compenser d'autres projets** pour lesquels l'application commerciale est plus difficile, se traduisant par un remboursement de l'avance peu probable (notamment TS3000).

## Impact environnemental et sociétal

Les nouvelles technologies et plateformes d'aéronef développées permettent des gains importants en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> et de bruit.

En particulier, nous **estimons un gain de 7-8% d'émissions de CO<sub>2</sub> annuelles à l'échelle de la flotte mondiale à horizon 2030** (en majeure partie grâce au moteur LEAP qui équipe l'A320neo, le 737max et le Comac C919, ainsi que grâce à l'A350). Il s'agit d'une **contribution majeure de l'action compte tenu des défis environnementaux que le secteur doit relever**. Cependant, nous constatons que **des efforts très importants doivent encore être réalisés, et que ces efforts devront être davantage orientés vers des technologies de rupture**.

Par ailleurs, nous avons pu relever des innovations permettant d'**améliorer de manière significative la sécurité** (ex. sécurité des futures plateformes avioniques dans AME, siège anticrash, airbags intégrés à la ceinture, protection d'enveloppe de vol grâce à la commande de vol électrique dans le projet HdF ; pilotage conçu pour être plus intuitif, permettant de diminuer les risques d'erreurs humaines, dans le projet X4 (H160), etc.)

## Les éléments clés du succès

Un certain nombre d'éléments ont pu être identifiés, expliquant le **succès global de ces projets et la forte création de valeur en résultant** :

1. Les **efforts de recherche ont été ciblés** et s'inscrivent dans une **feuille de route technologique partagée au sein de la filière** (feuille de route Corac) et mise à jour régulièrement ;
2. Le **financement pluriannuel** a apporté **visibilité, continuité et cohérence** à des projets structurellement longs à mener à terme et avec une forte prise de risque ;
3. Le **mode de financement est adapté aux besoins**, avec en règle générale des subventions pour la R&T (maturation des technologies) et des avances remboursables pour la R&D (développement de produit) ;
4. **L'Etat est représenté par des experts** (notamment DGAC, DGA), pertinents pour piloter les budgets, évaluer techniquement les projets, pousser les industriels à remettre en question et améliorer leur proposition, et fédérer les acteurs de la filière autour des projets, en particulier les PME et ETI.

## L'effet incitatif de l'action PIA

**Le premier bénéfice de l'action du PIA est la structuration des partenariats** dans les bonnes conditions et **l'amélioration des modes de collaboration**. C'est un élément **déterminant**, qui ne se retrouve pas, à ce niveau de performance, dans les systèmes d'aides alternatifs : DGAC (financement de projets de plus petite taille et de durée plus courte, n'offrant pas de possibilité d'inclusion de nouveaux partenaires en cours d'exécution) ou financements européens (consortium établis davantage dans une logique de couverture géographique multi-pays plutôt que sur la base de meilleures expertises aéronautiques).

Plusieurs éléments bénéfiques bien distincts ont pu être identifiés :

- Tout d'abord, la **contrainte imposée dans le cadre du PIA de réaliser des appels d'offres** pour la sélection des partenaires a permis aux **grands donneurs d'ordres d'identifier et de qualifier de nouveaux partenaires innovants**, qui leur ont proposé un savoir-faire ou un outil innovant permettant de mieux répondre à leurs besoins. Cette contrainte a ainsi été **source d'innovation et créatrice de nouveaux partenariats**. Réciproquement, les **petites sociétés** ont pu **comprendre les besoins des donneurs d'ordres et les spécificités du secteur aéronautique, et ainsi préparer dans de bonnes conditions la diversification de leur activité dans ce secteur**.
- Des **acteurs de taille modeste** ont pu être associés aux projets en tant que partenaires (ETI, PME, start-up...). Au-delà des appels d'offres mentionnés, la **caution de l'Etat**, au travers du financement public, a joué un rôle majeur dans la participation de ces plus petites entreprises en **garantissant la pérennité du projet**. Ces sociétés ont ainsi pu **développer leur savoir-faire et leur propriété intellectuelle** (ce qui n'est pas le cas en tant que sous-traitant, la propriété intellectuelle revenant souvent au donneur d'ordre).
- Des **concurrents ont pu être associés à un même projet**. Ce type de collaboration est loin d'être évident en dehors de ce cadre. L'Etat (au travers de la DGAC notamment) a pu servir d'**intermédiaire et d'arbitre** pour **fluidifier les discussions et arriver à un accord** sur un partage des activités.
- Plusieurs projets visant le développement de nouvelles générations d'équipements ont réuni les **trois grands avionneurs français**, représentant les **trois typologies d'aéronefs** : avion commercial (Airbus Commercial Aircraft), avion d'affaires (Dassault Aviation) et hélicoptère (Airbus Helicopters). Ces projets ont été très enrichissants pour les équipementiers, en leur permettant de **réaliser des solutions adaptables à l'ensemble de ces segments**. Ils permettent notamment de **régler des problèmes d'intégration très en amont et d'améliorer potentiellement la compétitivité des équipementiers français**.
- Par ailleurs, les modes de collaboration dans le cadre du PIA ont permis une **forte confidentialité**, l'un des prérequis indispensables pour le développement de certaines **technologies sensibles**. Le PIA permet en effet aux grands industriels de choisir leurs partenaires (après appel d'offres). A titre de comparaison, ce n'est pas le cas pour les projets Européens (par ex. Cleansky) dont les règles de participation imposent le choix de partenaires dans différents Etats membres ou pays associés, et qui impliquent ainsi des pays avec une expérience aéronautique moins forte.
- Enfin, il semble que ces **partenariats et modes de collaboration vont perdurer au-delà de l'action PIA**, puisque les projets PIA ont déjà permis l'émergence de nouveaux projets de collaboration dans lesquels les acteurs plus petits peuvent développer leur activité avec les grands donneurs d'ordre.

Par ailleurs, le PIA a eu **d'autres effets plus classiques**, relevant simplement du bénéfice d'un financement additionnel. Ainsi, l'action PIA a permis :

- **D'augmenter le niveau d'ambition de certains projets et de réduire le risque financier** : grâce au financement PIA, ces projets intègrent un plus grand nombre de développements. Le financement est donc ici vecteur d'innovation permettant de supporter de nouvelles briques technologiques qui n'auraient pas été auto-financées car jugées initialement plus risquées ou moins prometteuses.
- **Il est important de noter que le timing est un enjeu majeur pour la montée en maturité des technologies susceptibles d'être sélectionnées ultérieurement sur un nouveau programme (A350, LEAP, H160). Le financement des projets R&T a donc contribué au bon niveau de préparation technologique de ces produits.**
- **De déclencher un projet (X4)**, qui sans les financements PIA, n'aurait pas été réalisé (sous sa forme actuelle), faute de capacité d'auto-financement suffisante et un risque jugé trop élevé.

### L'effet de levier

Afin d'évaluer l'effet d'entraînement sur les investissements privés de l'action du PIA, nous avons calculé un « effet de levier » de deux manières différentes.

Un premier calcul mesure l'effet purement contractuel. C'est la consolidation des financements publics et des financements privés sur l'ensemble de l'action. L'effet de levier est défini comme le montant total investi (public + privé) rapporté au montant public. Il peut se calculer sur l'ensemble de l'action ou sur les démonstrateurs technologiques uniquement (R&T).

Ainsi calculé, **l'effet de levier global contractualisé s'élève à 2,8**. C'est-à-dire que pour 1€ financé par le PIA, 2,8€ ont été investis (1€ via le PIA et 1,8€ par auto-financement privé).

Un deuxième calcul compare, au niveau de la filière (niveau macro-économique), l'évolution des montants privés investis tout au long de la période PIA. Le but est de constater des investissements privés additionnels en comparaison avec la période pré-PIA. L'effet de levier est calculé comme suit : (investissements privés additionnels + investissements PIA) / investissements PIA. L'analyse ne prend pas en compte les autres financements publics.

On constate une augmentation significative des dépenses R&T de la filière, concomitante aux financements PIA. **Entre 2012 et 2016, 600M€ d'investissements privés additionnels ont été réalisés** (par rapport au niveau de 2012). Sur la même période, 400M€ de subventions PIA ont été perçues. Ainsi pour 1€ de financement PIA, 1,5€ d'investissements privés additionnels ont été consentis (soit 2,5€ d'investissement total). On constate ainsi **un effet de levier de 2,5**. Sur la même période les autres financements publics de la R&T (européens, etc.) sont restés stables et ont donc été exclus de l'analyse.

La limite de cette approche réside dans le fait que le lien de cause à effet entre financements PIA et investissements privés additionnels n'est pas démontré ; il se peut que le secteur ait un besoin croissant d'investissement en recherche, indépendamment des financements publics.

Pour conclure, sans pour autant prétendre démontrer l'effet de levier lié aux financements PIA, **un faisceau d'indices** laisse à penser que ces **financements PIA ont permis de générer des investissements privés additionnels relativement élevés (effet de levier compris entre 2 et 3 selon le périmètre et le mode de calcul)**.

### Axes d'amélioration identifiés

Malgré les nombreux bénéfices de l'action, **quelques axes d'amélioration ont pu être identifiés**. Les problématiques qui ont pu être rencontrées sont diverses mais sont **souvent relatives à un seul ou à quelques projets seulement**. Il s'agit donc, pour les représentants de l'Etat, de rester vigilant sur ces aspects :

- Le **manque de souplesse budgétaire et la durée de validation des avenants** ont été indiqués comme un axe d'amélioration sur quelques projets, alors que d'autres ont au contraire loué la **possibilité de réorienter les travaux facilement**. Il a notamment été reproché :
  - La durée qu'ont mis certains avenants à être validés, pour lesquels il a fallu de 6 mois à 1 an pour signature ; cela a pu créer un frein et susciter un doute pour les partenaires les plus modestes très dépendants de ces subventions pour lancer les nouveaux projets de R&T.
  - De plus, la structuration par conventions cloisonnées peut mener à des situations où l'enveloppe globale d'une plateforme n'est pas complètement consommée alors que le budget total a été dépassé (sous-consommation des subventions sur une convention, et dépassement du budget sur d'autres, sans transfert des subventions d'une convention à l'autre). Cependant, ces situations restent rares.
- Pour une minorité de projets, les **délais de paiement ont été jugés trop longs**. Dans un cas, un partenaire concerné a même dû prendre en sous-traitance une PME partenaire du projet qui ne pouvait plus faire face aux dépenses nécessaires au projet car ne recevant pas les subventions dans les temps. **Pour les plus petites entreprises, une avance des subventions pourrait être imaginée** pour éviter à ces sociétés d'avancer toutes les dépenses liées au projet, qui représente en général une part significative de leur budget R&T voire de leur chiffre d'affaires.
- Le **reporting demandé n'a pas été homogène. Il a parfois été considéré comme fastidieux**, avec des **cycles de reporting trop court** comparé au rythme d'avancée des travaux (rapport de synthèse détaillé tous les 3 mois), générant une charge de travail non productive. Cependant, beaucoup de responsables projets ont considéré le niveau de reporting adapté (synthèses avec indicateurs clés).
- Il serait également souhaitable que **les équipes SGPI soient associées aux réunions d'avancement (bi-)annuelles aux côtés de la DGAC**, dont le rôle a été unanimement loué.
- **Afin de permettre l'accès aux projets à davantage de petites entreprises, le taux de participation de l'Etat pourrait être modulé** (aujourd'hui fixé à 50% pour toutes les entreprises, dans le cas de subventions) ; un taux de soutien supérieur pour les petites entreprises les encouragerait potentiellement à participer à ces projets.

Vis à vis des porteurs de projet, deux principales recommandations émergent :

- Tout d'abord les porteurs de projet doivent maintenant **capitaliser sur les connaissances acquises et conserver leur avance technologique lorsque les développements effectués n'ont pas encore pu être embarqués sur un programme d'aéronef** (faute de nouvel appareil développé ou d'applicabilité sans changer la structure de l'aéronef). Ainsi, ces compétences et technologies pourront être converties **en avantage concurrentiel** sur les prochains programmes d'aéronef. C'est le cas notamment de l'électrification (Genome), qui n'a pas trouvé d'application à ce stade (car nécessitant un changement de l'aéronef en termes d'architecture).

- Ensuite, les **indicateurs** mis en place en début des projets **auraient gagné à être plus complets ou précis**. Par exemple :
  - Plusieurs projets dont le but est un gain de masse auraient pu être suivis en utilisant un **indicateur de gain d'émissions de CO<sub>2</sub>**; compte-tenu de la pression environnementale actuelle, une méthode standard de conversion masse-réduction d'émissions CO<sub>2</sub> devrait être définie, et ce suivi effectué de manière systématique ;
  - Les jalons TRL tels que définis actuellement correspondent à des livrables, et donc pas toujours à une montée en maturité technologique ; il serait intéressant de suivre par ailleurs les **montées en maturité technologique** afin de pouvoir disposer d'une mesure agrégée et précise de la maturation réalisée par projet et plateforme.
  - L'indicateur de sous-traitance inclut les achats d'équipements, ne reflétant pas forcément la **sous-traitance à plus forte valeur ajoutée**, qu'il serait intéressant de mesurer (prestations intellectuelles liées à l'activité de recherche) ;

**La définition précise des indicateurs en début du projet est primordiale**, car il est très difficile d'obtenir des éléments sur des indicateurs non définis initialement. Il faut par ailleurs trouver un compromis sur le nombre et la complexité de ces indicateurs pour **alléger au maximum la charge** de compte-rendu des équipes de recherche. Il s'agit finalement de définir un **tableau de bord de suivi, cohérent avec les objectifs du projet**, facile à mettre en œuvre, permettant de **visualiser simplement l'avancée et les performances du projet**.

## Benchmark concurrentiel : revue des financements publics pour la recherche aéronautique des autres puissances aéronautiques

Tout d'abord, nous observons une **croissance du nombre de brevets publiés** dans le secteur aéronautique (périmètre mondial, hors organismes internationaux), à près de **20% par an** entre 2011 et 2016. Le nombre de brevets a été multiplié par 2,5 en seulement 5 ans. La France suit cette tendance. Deux pays se démarquent, avec une croissance supérieure, de l'ordre de **25% par an entre 2011 et 2016 : ce sont les Etats-Unis et la Chine**.

**La France reste la nation numéro 2** en termes de publication de brevets aéronautiques (représentant en 2016 **~15%** du nombre de brevets au niveau mondial, hors organismes internationaux), mais **est distancée par les Etats-Unis (~50%) et rattrapée par la Chine (~7%)**, qui multiplie les efforts de recherche dans le secteur. En effet, le nombre de publications de la Chine correspond à 30% du nombre de publications françaises en 2011 et à la moitié en 2016.

En termes de financements publics, **les financements européens sont de l'ordre de 1,1 milliards € sur la période 2010-2017**. Ces montants incluent les aides nationales (programmes nationaux du Royaume-Uni, Allemagne et France, dont PIA, et les aides relatives à l'A350), ainsi que les aides Européennes (programmes Européens comme Cleansky et SESAR).

**Ces financements sont légèrement inférieurs aux financements américains, dont le budget est estimé entre 1,2 et 1,5 milliards €** (sur la même période). Sont pris en compte les budgets en aéronautique civil de la NASA, du DoD, de la DARPA (programmes militaires avec potentiel d'application civile), du Air Force Research Lab et de la Federal Aviation Administration (FAA, intégrée au DoT). Les transferts de propriété intellectuelle de la NASA ou d'autres départements, les réductions de taxes des Etats, ainsi que les aides trans-sectorielles pouvant bénéficier à l'aéronautique, ne sont pas comptabilisés.

**Enfin, le budget de financement public Chinois a connu une forte augmentation depuis 2010 (1 milliard €) pour atteindre 1,8 milliards € en 2017.**

Nous remarquons ainsi que sur le période 2010-2017, les avances remboursables françaises pour l'A350 ainsi que le reste de l'action PIA (hors avances remboursables A350) ont joué un rôle majeur puisqu'ils ont représenté respectivement **14% et 8% des financements européens** (soit 23%, ou environ 250M€ par an sur 1,1 milliards €).

Pour la période à venir, le PIA sectoriel et les financements de l'A350 étant terminés, **les financements européens diminuent sensiblement** à environ 700 M€/an, en comptabilisant le budget DGAC de 135 M€/an acté pour les années 2018-2022. Cela représente un budget 2 fois inférieur aux Etats-Unis (en prenant en compte 1,4 Mds€) et environ 3 fois en dessous du budget chinois.

Pour conclure, les financements européens pour l'aéronautique sont substantiels, mais **restent en deçà des financements publics des autres puissances aéronautiques mondiales** (en particulier après la fin du PIA et du financement A350) : les **Etats-Unis maintiennent un niveau stable et élevé de subventions au travers de multiples agences**, et la **Chine subventionne fortement son industrie après une accélération** au début de la décennie.

## Les défis de l'après-PIA

**La filière aéronautique est clé pour la France en matière d'emplois, de souveraineté et de positionnement stratégique** car le seul pays, avec les Etats-Unis, à être en mesure de produire tous les éléments d'un aéronaf.

Les projets soutenus par l'action PIA et principalement pilotés par la DGAC ont permis à la filière française de **conserver son avance technologique. Mais la pression environnementale, concurrentielle, réglementaire et géopolitique va s'accroître sur la filière nécessitant des innovations technologiques majeures**, qui restent à venir.

**L'émergence de nouvelles puissances aéronautiques** civiles, comme la Chine et dans une moindre mesure la Russie, met à risque l'industrie aéronautique européenne en **attaquant directement le cœur du marché** : le segment de l'A320. **Les pays qui sont présents sur le secteur de l'aviation civile commerciale concentrent leurs activités autour d'un seul acteur** : Airbus (Europe), Boeing (Etats-Unis), COMAC (Chine), United Aircraft Corporation (Russie). **Ces acteurs ne peuvent pas manquer un segment de marché ni une nouvelle technologie au risque de se faire distancer.** Par ailleurs, la **guerre commerciale** entre les différentes puissances risque de **restreindre ou de fermer l'accès à certains marchés clés** pour Airbus et Dassault, en particulier la Chine et les Etats-Unis.

Enfin, le **secteur aéronautique doit faire face à de nouveaux défis technologiques** :

- **La réduction de l'empreinte environnementale**, via de nouvelles configurations d'avion, l'optimisation des trajectoires, l'électrification et l'hybridation de l'aéronaf, les nouvelles générations de moteurs UHBR, l'utilisation de biocarburants ou de carburants synthétiques, l'avion à hydrogène...
- **La sécurité** : autonomie de l'aéronaf, la protection contre les risques cyber, etc.
- **La digitalisation** : digitalisation de la conception et de la certification, digitalisation des produits, analyses Big Data en temps réel, divertissement, connectivité en vol...

- **L'usine 4.0** : fabrication additive, automatisation, cobotisation, digitalisation des chaînes de fabrication...

Ces sujets constituent un **tournant pour la filière avec des innovations majeures à apporter**, parfois dépassant le strict périmètre du secteur (nouveaux carburants, hydrogène).

La filière doit aussi **veiller à exploiter pleinement le potentiel offert par les nouvelles technologies développées** et à **capitaliser sur les nouvelles compétences acquises**.

La pression environnementale et réglementaire d'une part, et les difficultés techniques du B737 MAX d'autre part, pourraient **accélérer le développement des remplaçants des avions mono-couloirs moyen-courrier et ainsi préparer de manière accélérée la future génération d'avions à moindre impact environnemental**. Cela nécessiterait un effort supplémentaire de maturation et de **développement de nouvelles technologies**.

Par ailleurs, la filière aéronautique devrait **accentuer sa communication sur ses efforts de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>** car des **gains importants sont déjà réalisés** et la **pression sera de plus en plus forte**.

**L'outil PIA a un rôle clé dans les financements publics**, étant **unique du fait de l'importance des montants mobilisés** par plateforme technologique, **de la pluri annualité des projets** et **des modes de collaboration** mis en place (appel d'offres, confidentialité, collaboration de concurrents, élargissement à de nouveaux partenaires, l'implication des PME et ETI...). De plus, ces financements ont permis d'avoir **une part de financements publics relativement comparable à ceux des autres puissances aéronautiques**.

**Dans ce contexte de forte pression concurrentielle et commerciale, et de défis technologiques, l'arrêt du volet sectoriel du PIA pour la recherche aéronautique semble en rupture avec les efforts consentis par les puissances aéronautiques concurrentes** (en particulier de la Chine qui accélère pour concurrencer le duopole Airbus-Boeing). **L'enveloppe financière actuelle pilotée par la DGAC ne semble pas à la mesure des défis à relever, ainsi des financements additionnels nous semblent nécessaires**. Afin de reproduire l'efficacité de l'action PIA, il nous semble pertinent que ces financements additionnels soient portés et pilotés par les entités dont l'expertise est reconnue par les acteurs de la filière : comité de pilotage interministériel intégrant le SGPI, la DGAC et potentiellement la DGA. De leur côté, **les acteurs privés ont déjà accéléré leurs efforts d'auto-financement** ces 5 dernières années mais **seront limités par la contrainte des ratios à satisfaire pour les marchés financiers**.

## Annexe 1 : Sigles et abréviations

AFC	Avion du Futur Composite
AME	Avionique modulaire étendue
CICE	Crédit d'impôt pour la compétitivité et l'emploi
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency (US)
DGA	Direction générale de l'Armement
DGAC	Direction générale de l'Aviation civile
DoD	Department of Defense (US)
EPICE	Ensemble Propulsif Intégré avec Composites pour l'Environnement
ETI	Entreprise de taille intermédiaire
ETP	Equivalent Temps Plein
FAA	Federal Aviation Administration
Genome	GEstioN OptiMisée de l'Energie
HdF	Hélicoptère du futur
NASA	National Aeronautics and Space Administration (US)
ONERA	Office national d'études et de recherches aérospatiales
PIA	Programme des Investissements d'Avenir
PME	Petites et moyennes entreprises
R&D	Recherche et Développement
R&T	Recherche et Technologie
SEFA	Système embarqué et fonctionnalités avancées
SGPI	Secrétariat général pour l'investissement
TPE	Très petite entreprise
TRL	Technology Readiness to Level
UAF	Usine aéronautique du futur

## Annexe 2 : Liste des entretiens réalisés

Delphine ALLEHAUX	Airbus Helicopters
Yannick ASSOUD	Latécoère
Christian BENES	Airbus
Philippe BENQUET	Thales
Laurent BIANCHI	Airbus Helicopters
Sandy BLANC	Safran
Anne BONDIOU-CLERGERIE	GIFAS
Olivier BOUSSARD	Airbus
Olivier BRASSIER	Airbus
Anne-Marie BREMOND-RECORBET	Airbus
Pierre BRU	Dassault Aviation
Jamel CHERGUI	Airbus Helicopters
Jean-Yves CHIARAMONTE	Airbus
Stéphane CUEILLE	Safran
Pascal DAURIAC	Safran Helicopter Engines
Aymeric de LOUBENS	DGAC
Emmanuel DELABARRE	Safran
Catherine DELIKAT	Airbus
Marc DOUILLY	Stelia
Jan DUMANOWSKI	Safran Helicopter Engines
Jean-Brice DUMONT	Airbus
Didier EVRARD	Ex-Airbus
Rasika FERNANDO	Safran Aircraft Engines
Pierre FOSSIER	Thales
Clementine GALLET	Coriolis
Didier KATZENMAYER	Airbus
TomaszJan KRYSINSKI	Airbus Helicopters
Bertrand LARRIEU	Thales Avionics
Sophie LE BERRE	DGA
Sébastien LEROY	Daher
Laurent MEUNIER	Thales Avionics
Pierre MOSCHETTI	DGAC
Jean-Luc MOULLET	CNRS (Ex-SGPI)
Bruno NOUZILLE	Thales
Eric OMS	Airbus Helicopters
Jean PERROT	AIRBUS
Christian PICOLLET	Safran
Thierry POCHON	Safran Aerosystems
Michael REYNIER	BioMérieux (Ex-SGPI)
Bruno STOUFFLET	Dassault Aviation
Gilles SURDON	Dassault Aviation
Didier TOURRADE	Airbus