

Rapport d'activités 2018



Inria

Sommaire

••• <i>Stratégie</i>	03
Éditorial - Bruno Sportisse	
Président-directeur général d'Inria	03
8 centres de recherche en France	04
Chiffres clés	04
Accroître l'impact pour la société et l'économie	05
Les fonctions d'appui, colonne vertébrale de l'institut	06
Engagés dans la réussite des politiques publiques	07
••• <i>Recherche</i>	08
Éditorial - Jean-Frédéric Gerbeau	
Directeur général délégué à la science	08
Inria Project Labs	09
Prix et distinctions de l'année 2018	10
HACL*, une bibliothèque crypto qui fait ses preuves	13
••• <i>Innovation</i>	14
Éditorial - François Cuny	
Directeur général délégué à l'innovation	14
Dilepix et OneAngstrom, deux start-ups issues d'Inria	15
L'initiative scikit-learn, bibliothèque logicielle de référence en machine learning	16
Un laboratoire commun avec Nokia Bell Labs	17
••• <i>Inria s'engage</i>	18
••• <i>Bilan financier</i>	20



Stratégie



Bruno Sportisse

Président-directeur général d'Inria

« Notre responsabilité est de renforcer une dynamique ambitieuse de recherche et d'innovation dans le numérique, en France et en Europe. »

2018 a marqué l'entrée de l'institut dans un nouveau cycle. Acteur unique des écosystèmes de recherche et d'innovation dans le numérique, **Inria a réaffirmé son ambition d'excellence scientifique et d'impact économique, en conciliant ancrage territorial et envergure internationale.**

Cette ambition se concrétise de multiples façons : du niveau mondial de notre recherche au dynamisme de notre écosystème entrepreneurial, de l'impact des centres créés il y a dix ans à Bordeaux, Saclay et Lille, au rôle d'Inria pour le développement d'un web ouvert via le nœud européen du W3C.

Fidèles à notre devise « excellence scientifique et transfert », nous avons commencé à définir une nouvelle politique d'établissement. Le numérique « dévore » le monde, bouscule tous les cadres et rend d'autant plus nécessaire d'engager une nouvelle étape pour un institut de recherche comme Inria.

La recherche et l'innovation évoluent en effet vite et en profondeur : l'interdisciplinarité et le croisement des compétences, la capacité à être un acteur d'écosystèmes ouverts, l'expérimentation rapide de voies nouvelles donc risquées sont des enjeux majeurs. Face à ces enjeux, Inria doit repenser son positionnement, ses choix et son fonctionnement : nous sommes à la

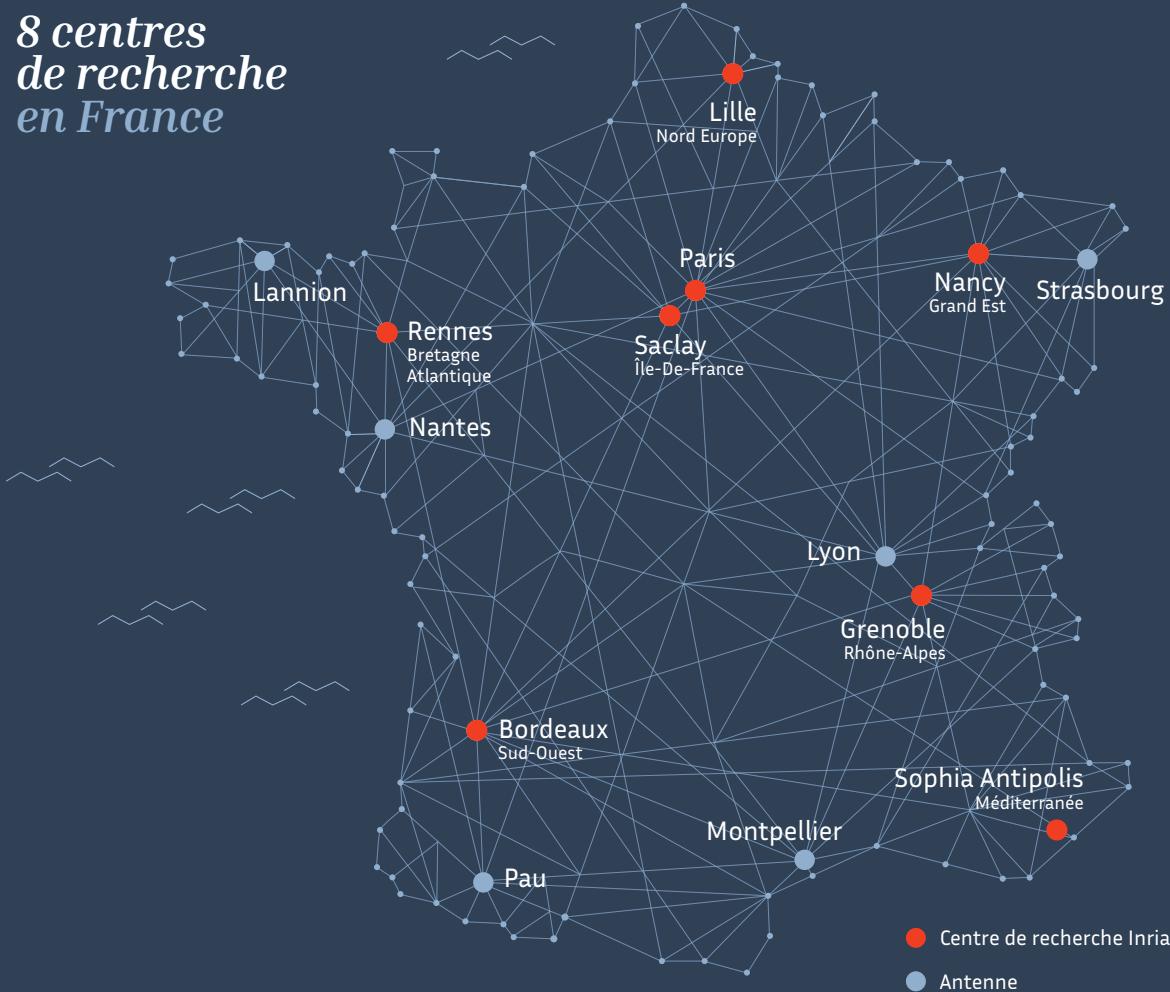
fois bien armés, car les gènes de l'institut sont évidemment numériques, mais nous ne devons pas sous-estimer les défis posés par cette accélération, que nous attendions impatiemment ! Par exemple, d'autres lieux d'expertise scientifique de haut niveau dans le numérique apparaissent ou se consolident : universités, grands groupes privés, start-up.

Dans ce contexte, notre politique d'établissement réaffirme la responsabilité majeure d'Inria comme l'institut national de recherche dans le numérique, avec des objectifs ambitieux : **accélérer la dynamique de recherche et d'innovation dans le numérique pour amplifier le rayonnement et l'attractivité scientifique et économique de la France, accompagner la transformation numérique de la société, renforcer par le numérique les écosystèmes de recherche, d'enseignement supérieur et d'innovation.** L'État a ainsi confié à Inria le rôle de coordonner le volet recherche du plan sur l'intelligence artificielle, un rôle à inventer, au bénéfice de tous et toutes.

Cette responsabilité nécessite aussi de faire des choix pour faire émerger des projets scientifiques et entrepreneuriaux ambitieux. En recherche, nous devons nous positionner sur le long terme et sur la prise de risque, assumer que des sujets sont clés, tels que la cybersécurité, l'IA responsable, ou encore les applications à la santé et à l'énergie. En innovation, notre défi est le passage à l'échelle avec des modalités qui privilient l'entrepreneuriat technologique, pour le développement de notre tissu économique. Pour autant, choisir ne doit pas figer nos priorités *a priori*, comme l'histoire de l'institut le montre : Inria doit rester une organisation agile.

Ces choix guideront notre action pour les années à venir.

8 centres de recherche en France



54
ERC

4300
publications

2500
agents rémunérés par Inria

236 millions d'euros dont 25% de ressources propres

Plus de 160 start-up créées

1350 doctorantes et doctorants

92 équipes associées à des universités ou instituts étrangers

180 équipes-projets

Accroître l'impact pour la société et l'économie

Inria élabore sa nouvelle politique d'établissement au service d'un enjeu majeur pour les prochaines années : renforcer l'impact de la recherche et de l'innovation dans le numérique sur la société et l'économie françaises.

L'impact est au cœur de l'élaboration du prochain « Contrat d'Objectifs Performance » de l'institut.

Il s'agit d'abord pour l'institut de produire des résultats scientifiques qui s'avèreront majeurs pour faire avancer les connaissances et, peut-être, inventer de nouvelles disciplines où le numérique va être structurant.

Il s'agit aussi de favoriser l'impact économique de notre recherche, notamment en créant et en accompagnant un grand nombre de start-up technologiques issues ou partenaires des équipes-projets : des start-up créatrices d'emploi qui deviendront de "vraies" entreprises, ou seront acquises par des entreprises existantes ancrées dans nos territoires, et d'où émergeront peut-être des acteurs à empreinte mondiale.

Il s'agit ainsi de contribuer à la revitalisation et à la pérennité d'une base industrielle française et européenne dans le numérique,

de construire une infrastructure technologique pour les entreprises innovantes, ou encore d'accompagner l'ambition numérique des territoires.

Et enfin, parce que la société est devenue numérique, il incombe à l'institut de répondre aux défis de la transformation numérique : mieux diffuser les

connaissances scientifiques, éclairer pour tous les débats, par exemple éthiques, posés par le numérique, participer à la construction d'une société numérique de l'innovation et de la confiance en participant à la mise en œuvre de politiques publiques nationales.

4 grandes priorités pour réussir

Les champs d'action suivants sont mis en avant pour mener à bien cette ambition

- **Maintenir l'ambition de l'excellence scientifique,** tant dans le cœur du numérique que dans l'interdisciplinarité. Cette excellence est le socle de l'institut de recherche qu'est Inria ;
- **Renforcer l'impact économique de l'institut ;**
- **Consolider une organisation efficace et sereine ;**
- **Renforcer l'apport d'Inria** à l'émergence de grandes universités de recherche au meilleur niveau mondial et conforter sa valeur ajoutée pour l'écosystème français de la recherche et de l'innovation, en appui aux politiques publiques.

Les fonctions d'appui, colonne vertébrale de l'institut

Toutes les équipes qui interviennent en appui aux équipes-projets d'Inria sont essentielles pour une dynamique ambitieuse de recherche et d'innovation. Elles sont au cœur de l'organisation d'Inria et font aussi la performance de l'institut.

Tant l'émergence de projets scientifiques ambitieux que l'accompagnement de projets entrepreneuriaux nécessitent l'engagement d'équipes d'appui à la compétence reconnue, dont l'action s'inscrit au service des ambitions de l'institut. L'une des clés du positionnement d'Inria réside dans **sa capacité à s'affirmer comme un lieu de vitalité scientifique et technologique, comme un moteur pour l'innovation** et comme une infrastructure publique au cœur et au service de l'écosystème français du numérique.

À travers les équipes-projets, le socle du modèle organisationnel d'Inria, les chercheurs et chercheuses doivent pouvoir réaliser leurs ambitions en s'appuyant sur un cadre agile d'excellence académique, dans un contexte promouvant l'interdisciplinarité et l'intégration dans des écosystèmes locaux qui se projettent à l'international.

Scientifiques comme ingénieurs doivent aussi pouvoir s'engager dans les meilleures conditions dans des projets de start-up, une modalité efficace pour aller au-delà de l'activité scientifique. Les entrepreneurs de nos territoires doivent pouvoir accéder à des technologies et à des compétences. Les entreprises basées en France et en Europe doivent pouvoir

monter des partenariats de recherche ambitieux.

Ces sujets sont au cœur des missions des équipes d'appui. Ces dernières accompagnent le développement technologique des équipes-projets, les partenariats industriels, la création et l'accélération de start-up technologiques du numérique, ou encore l'engagement d'Inria dans l'espace européen de la recherche et de l'innovation. Les équipes d'appui sont aussi engagées dans la transformation digitale de l'institut, qui doit être exemplaire du fait de son positionnement. Elles garantissent les fonctions clés que sont l'accompagnement des ressources humaines ou encore l'administration financière et patrimoniale. À travers une politique de communication qui sait aussi promouvoir les partenaires publics de l'institut, elles permettent

enfin de construire la marque Inria, pour le rayonnement de la France et de nos territoires.

Les fonctions d'appui sont réparties entre plusieurs directions, au siège et dans les huit centres, que ce soient des équipes administratives, techniques ou communicantes.

L'année 2018 a été une année de transition pour Inria avec **la priorité donnée à la réflexion sur l'évolution des métiers, sur la valorisation des métiers d'appui comme une colonne vertébrale de l'institut**, et la nécessité de rendre plus fluide l'activité quotidienne entre les centres et les directions fonctionnelles. Autant de sujets qui convergent vers la nécessité de développer ensemble le cadre qui permette de prendre des risques, d'aller vite, dans une dynamique collective, au meilleur niveau mondial.

SonarQube, outil au service de l'efficacité collective

Le projet SonarQube a remporté le *Prix Inria 2018 d'appui à la recherche*. Cette *open source* innovante a été portée par des ingénieurs des centres de Lille, Rennes et Bordeaux. Le logiciel est utilisé au sein d'Inria depuis avril 2018 pour tester et mesurer la qualité du code source des projets informatiques. Il constitue une solution de référence sur le marché en matière de contrôle continu de la qualité.

Engagés dans la réussite des politiques publiques

Inria est acteur de la réussite des politiques publiques pour le développement raisonnable du numérique dans la société. L'institut accompagne ainsi des politiques à très fort enjeu : l'intelligence artificielle, la cybersécurité et la science ouverte en sont quelques exemples.

Faire de la France un des leaders mondiaux de l'intelligence artificielle, en sachant concilier performance et humanité : c'est le cap ambitieux que le Président de la République a fixé en mars 2018.



Pour une IA responsable et de confiance

Selon la stratégie *AI for Humanity*, nourrie par le rapport du député Cédric Villani, recherche et innovation sont les fers de lance du développement de l'IA. Inria a été missionné pour coordonner un programme national, notamment à travers la mise en place des « 3IA », un réseau d'Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle ancré dans les pôles universitaires. Inria participe également à trois des quatre

projets retenus à l'issue de l'appel à manifestation d'intérêt 3IA.

Parallèlement, Inria est engagé sur plusieurs programmes français ou européens.

Il opère également *TransAlgo*, une plate-forme de recherche et de médiation dédiée aux algorithmes responsables et éthiques et l'IA responsable.

Garantir la sécurité du cyberspace

La France dispose d'un écosystème de premier plan en cybersécurité, avec des acteurs publics comme l'Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information (ANSSI), la Délégation Générale à l'Armement (DGA), plusieurs groupes industriels, des start-up technologiques très innovantes et, bien sûr, la recherche publique.

Une trentaine d'équipes d'Inria, ancrées dans cet écosystème, répondent aux défis scientifiques et technologiques de la cybersécurité.

Un nouveau livre blanc d'Inria, avec un positionnement d'expert scientifique assumé, vient de faire le point sur les enjeux et les travaux de recherche menés dans ces domaines.

Renforcer le rôle de la France dans la science ouverte

Le plan national pour la science ouverte annoncé en juillet 2018 par la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, Frédérique Vidal, rend obligatoire l'accès ouvert pour les publications et pour les données issues de recherches financées sur projets.

À travers de nombreux projets, Inria a réaffirmé son engagement pour la science ouverte et reproductible, avec les nouveaux enjeux que posent le logiciel et la donnée scientifique.



Recherche



Jean-Frédéric Gerbeau

Directeur général délégué à la science

2018 a été la première année de notre nouveau plan stratégique scientifique. Parmi les cinq grands défis affichés, l'intelligence artificielle (IA) et la cybersécurité ont fait l'objet d'une attention particulière. Dans chacun de ces domaines stratégiques, un nouveau poste d'adjoint au directeur scientifique permettra une plus grande mobilisation d'Inria. 2018 a aussi été le cinquième anniversaire de l'implication d'Inria dans les MOOC (*Massive Open Online Courses*), une activité tournée vers un large public.

Intelligence artificielle

Avec le lancement du plan national, Inria construit un nouveau rôle : coordonner la partie recherche d'une politique publique. Notre participation à trois des quatre propositions présélectionnées d'Institut Interdisciplinaire d'IA (3IA) illustre la place nationale d'Inria.

Inria est aussi bien présent sur la carte mondiale de l'IA. Après dix ans de R&D, le lancement du consortium *scikit-learn* a regroupé sept mécènes industriels internationaux autour de la deuxième bibliothèque d'apprentissage machine la plus populaire au monde.

Autre fait marquant : en nombre d'articles acceptés à *ICML 2018*, une des conférences prestigieuses en IA, Inria se situe en 12^e position sur 58 institutions académiques et industrielles, en 7^e position académique, au coude à coude avec Oxford, Princeton, l'EPFL, l'ETHZ et Cornell. En 2017, dans une autre conférence majeure, *NIPS*, Inria était classé 14^e sur 57, à égalité avec Harvard.

Pour progresser vers une IA au service de l'humain, cinq équipes-projets uniront leurs efforts en 2019 dans l'action incitative nationale *HyAI*. Leur défi : « l'interprétabilité » de l'apprentissage machine, en combinant approches symbolique et numérique.

Cybersécurité

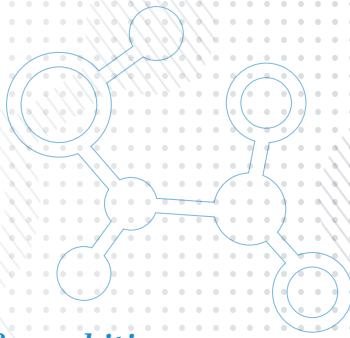
En cybersécurité, l'une des forces d'Inria est la complémentarité des équipes spécialistes de système, réseau, cryptographie et preuves de programme, comme le souligne le livre blanc Inria paru début 2019. Plusieurs de ces équipes sont réunies dans deux actions incitatives nationales, SPAI et RIOT-FP. SPAI veut garantir l'impossibilité de violations de propriétés de sécurité pour l'Internet des objets, en certifiant, avec l'assistant de preuve *Coq*, des programmes écrits dans un langage multiniveau. RIOT-FP développe des primitives cryptographiques et des protocoles de communication vérifiés pour le système d'exploitation *RIOT* dédié à l'internet des objets.

E-éducation

Inria met régulièrement son expertise au service de la société. En 2013, Inria contribuait à la mise en place de *France Université Numérique*, qui a maintenant plus de 50 partenaires et un million d'inscriptions à ses MOOC. L'*Inria Learning Lab* a produit 19 MOOC qui ont totalisé 160 000 inscriptions. De l'apprentissage de la programmation à la protection de la vie privée, de la recherche reproductible à la formation des enseignants, les MOOC Inria proposent des innovations pédagogiques pour former scientifiques et citoyens.

Inria Project Labs :

mobiliser des équipes complémentaires pour des défis pluridisciplinaires ou intégrateurs



Inria Project Labs : des équipes multidisciplinaires pour des défis ambitieux

Les Inria Project Labs (IPL) travaillent sur des sujets de recherche dont l'ampleur est trop importante pour une seule équipe et nécessite d'intégrer des expertises complémentaires.

Ils sont généralement en lien avec le plan stratégique de l'institut et réunissent des chercheurs et chercheuses de différentes équipes-projets mais aussi des partenaires académiques extérieurs ou industriels.

Algae in Silico : le potentiel des microalgues

Les microalgues peuvent produire avec un impact environnemental moindre que d'autres sources d'énergie, une extraordinaire diversité de molécules. Elles sont utilisées dans les domaines de l'énergie, la chimie, la nutrition et représentent une source d'innovation en plein développement. Chez Inria plusieurs équipes-projets travaillent autour de ces organismes. Biocore (Sophia Antipolis) développe des outils pour optimiser la production de biocarburants par les microalgues et des formules protéinées pour l'alimentation animale ou pour traiter les eaux usées. Elle fait partie de l'*Inria Project Lab* (IPL) Algae in silico avec d'autres équipes-projets aux compétences complémentaires : Ange (Paris) pour la modélisation de la dynamique du liquide dans lequel les microalgues poussent, Coffee (Sophia Antipolis) sur la modélisation biofilms de microalgues, Pléiades (Bordeaux) sur la production de lipides par les micro-organismes ou encore Dyliss (Rennes) sur le métabolisme des microalgues. *Algae in silico* est aussi un partenariat avec l'Université Pierre et Marie Curie, l'Institut National de

la recherche agronomique (Inra) et l'Ifremer. Parmi les axes de travail de cet IPL, l'élaboration d'une plate-forme numérique qui évaluera la performance d'une espèce donnée de microalgue dans un procédé spécifique, sous un climat défini. Objectif : économiser du temps et mieux calibrer les investissements avant de mettre en place des cultures de microalgues, tout en optimisant la production.

En 2018, *Algae in Silico* a créé une start-up, Inalve, qui exploite une partie des brevets issus de l'IPL.

Fratres : la fusion nucléaire contrôlée

Alors que 80% de l'énergie mondiale est produite à base de ressources fossiles, la recherche de sources d'énergie alternative devient l'un des grands défis des années à venir. La fusion nucléaire contrôlée peut être l'une de ces alternatives, notamment à travers les « tokamaks », des machines expérimentales qui exploitent l'énergie issue de la fusion. Une des difficultés pour la réalisation de ces machines est qu'il existe plusieurs approches de physique théorique pour les décrire, toutes basées sur des équations très

difficiles à résoudre numériquement car incluant de nombreuses échelles spatio-temporelles. Plusieurs équipes-projets d'Inria œuvrent pour développer des outils mathématiques et numériques qui contribueront à résoudre ces problèmes. **Différents domaines de compétences entrent en jeu : modélisation physique et mathématique, algorithmique et développements logiciels, mise en œuvre de codes de simulation haute performance (HPC).** L'IPL Fratres organise la collaboration entre ces différentes spécialités. Il réunit les équipes-projet Castor, Mingus, et Tonus en partenariat avec l'IRFM-CEA Cadarache, Max Planck Institute-IPP Garching, LJLL-Jussieu et IMT-Toulouse. Fratres travaille en lien avec les initiatives nationales ou européennes sur la fusion nucléaire.

À titre d'exemple, c'est le code numérique de l'équipe Castor qui a permis de trouver les bons paramètres structuraux pour allumer le tokamak WEST (ex-Tore Supra) au CEA de Cadarache. Il contribue aussi au projet de réacteur à fusion thermonucléaire Iter et deux membres de l'IPL figurent parmi le petit nombre de scientifiques nommés *ITER scientist fellows*.

Prix et distinctions de l'année 2018



Stéphanie Chalita

Prix L'Oréal-UNESCO

Stéphanie Chalita développe au centre de recherche Inria Lille - Nord Europe des travaux de recherche portant sur le domaine du *cloud computing* et notamment sur la problématique d'hétérogénéité des ressources que proposent Amazon, Google, OVH et bien d'autres. Son approche vise à unifier tous les fournisseurs afin de masquer les spécificités de chacun d'entre eux, en supprimer la dépendance, assurer la migration des applications hébergées sur le *cloud* vers d'autres fournisseurs pour les protéger des pannes éventuelles ou encore optimiser les coûts et performances en combinant les offres les plus avantageuses de plusieurs fournisseurs.



Fanny Orlhac

Prix L'Oréal-UNESCO

Au sein du centre de recherche Inria Sophia Antipolis - Méditerranée, Fanny Orlhac travaille à l'amélioration de la prise en charge des patients en cancérologie en combinant intelligence artificielle et imagerie médicale. Son objectif est d'extraire des indicateurs diagnostiques et pronostiques des images et de les combiner avec d'autres indicateurs biologiques (génomiques, métabolomiques, etc.) pour caractériser précisément l'hétérogénéité tumorale. Cela permettrait d'identifier précocement les patients non-répondeurs au traitement standard à partir des données d'imagerie et des données biologiques disponibles avant la mise en place du traitement. Cette information serait fournie au praticien pour qu'il puisse considérer des pistes thérapeutiques alternatives dès le diagnostic.



George Drettakis

ERC Advanced Grant

George Drettakis, directeur de recherche Inria au centre de Sophia Antipolis - Méditerranée, responsable de l'équipe-projet GraphDeco travaille sur la synthèse d'images (*computer graphics* en anglais), technologie permettant la création des images utilisées pour les effets spéciaux des films, les jeux vidéo réalistes, mais aussi pour la simulation des projets d'architecture et d'urbanisme, le design de produits, et toutes les applications récentes de la réalité virtuelle (RV) et augmentée.



Xavier Pennec
ERC Advanced Grant

Xavier Pennec, directeur de recherche Inria au centre de Sophia Antipolis - Méditerranée dans l'équipe-projet Epione, s'intéresse à l'analyse des formes, et en particulier à la variabilité de celle des organes dans le corps humain, un domaine qu'on appelle l'anatomie computationnelle. Les problèmes mathématiques qui sont soulevés par ces statistiques morphologiques sont particulièrement intéressants car on ne peut pas additionner ou soustraire des formes entre elles. Son projet cherchera à réinventer les méthodes statistiques pour travailler dans ces espaces nonlinéaires. Les applications potentielles en médecine sont nombreuses car ceci permet d'encoder la connaissance *a priori* sur l'anatomie normale ou anormale.



Laura Grigori
ERC Synergy Grant

Le projet interdisciplinaire *Extreme-scale Mathematically-based Computational Chemistry (EMC2)* porté par Éric Cancès, Laura Grigori, Yvon Maday et Jean-Philip Piquemal, est à l'interface de la chimie, de l'informatique et des mathématiques. La simulation moléculaire peut être utilisée comme un microscope virtuel pour l'étude de molécules plus ou moins complexes avec une résolution spatio-temporelle à l'échelle atomique. Elle peut également servir d'outil pour la conception assistée par ordinateur (CAO) et l'ingénierie de nouvelles molécules, de nouveaux matériaux et de nouveaux nanodispositifs.



François Baccelli
ERC Advanced Grant

Le projet de François Baccelli se situe à l'interface des mathématiques et de l'ingénierie des communications. Il porte sur la géométrie stochastique, une branche de la théorie des probabilités qui s'intéresse à la distribution de probabilité d'objets géométriques et a pour but de développer des outils pour comprendre la dynamique de ces objets. Les outils de géométrie stochastique qu'il a mis au point sont déjà très utilisés dans la conception de réseaux cellulaires. La version dynamique de ces outils permettra d'aborder des questions importantes sur ces réseaux, mais aussi d'analyser d'autres types de grands réseaux, comme les réseaux sociaux ou les réseaux de neurones.



Xavier Leroy

Grand Prix Inria - Académie des sciences

Grand spécialiste mondial des sciences des langages de programmation et de la vérification de programmes et professeur au Collège de France sur la chaire permanente Sciences du logiciel, Xavier Leroy est notamment reconnu pour ses apports théoriques sur le typage et la sémantique et le rôle qu'ils peuvent avoir dans la sécurité informatique. Deux projets ambitieux caractérisent son expertise : le langage de programmation *OCaml* (l'un des deux langages fonctionnels typés les plus utilisés aujourd'hui) et le compilateur *CompCert*, rouage essentiel dans la chaîne de sécurisation de logiciels critiques. Les apports de Xavier Leroy, aussi bien théoriques que pratiques, constituent une avancée considérable dans le domaine de la programmation sûre des systèmes modernes.



Pierre-Yves Oudeyer

Prix Inria - Académie des sciences du jeune chercheur

Directeur de recherche chez Inria, Pierre-Yves Oudeyer est l'un des pionniers de la « curiosité artificielle », une approche de l'intelligence artificielle par apprentissage autonome intrinsèquement motivé. Depuis quelques années, Pierre-Yves Oudeyer et son équipe-projet FLOWERS s'investissent notamment dans ce domaine d'activités qui vise à conjuguer intelligence artificielle et motivation intrinsèque pour mettre au point des technologies éducatives au service de l'apprentissage humain. Ces recherches intéressent tout particulièrement le monde de l'éducation et un projet avec un consortium d'entreprises pour des expérimentations à grande échelle est en cours de constitution.



Stéphane Cotin

Prix de l'innovation Inria

Académie des sciences - Dassault Systèmes

Stéphane Cotin mène, en tant que directeur de recherche et avec son équipe-projet MIMESIS, une activité de recherche de haut niveau international sur la simulation médicale numérique dans les domaines de l'apprentissage du geste chirurgical mais également de l'assistance peropératoire via des techniques de réalité augmentée. En février 2013, il crée avec plusieurs collègues chercheurs, *InSimo*, une start-up utilisant *SOFA*, framework logiciel open source de simulation interactive à l'initiative duquel il se trouve. *InSimo* est créateur d'applications de simulation chirurgicale sur organes virtuels à comportement haute fidélité. Stéphane Cotin est particulièrement investi dans l'innovation clinique.

HACL*, une bibliothèque crypto qui fait ses preuves

Créée par l'équipe-projet Prosecco (Inria de Paris) dans le cadre du projet Everest développé en collaboration avec Microsoft Research, la bibliothèque cryptographique HACL* propose une solution à haut niveau de confiance pour améliorer la sécurisation des transactions sur Internet.

Engagé en janvier 2015, le développement de HACL* a nécessité deux années de travaux intensifs, pilotés par Karthik Bhargavan, responsable de Prosecco, et son doctorant de l'époque, Jean-Karim Zinzindohoué.

Une bibliothèque cryptographique rapide et formellement vérifiée, ce qui assure qu'elle est correcte, sûre et sans canaux cachés... Tel était le cahier des charges de l'équipe-projet Prosecco (Inria de Paris) au moment de lancer le projet HACL* (pour *High Assurance Crypto-Library*). Nous étions alors en 2015, quelques mois après les révélations d'Edward Snowden, et dans le sillage d'une conférence internationale de cryptographie où avait été lancé un appel à de nouveaux travaux de recherche en vérification formelle. **L'enjeu : trouver une parade aux nombreuses failles de sécurité de**

la bibliothèque *OpenSSL*, pourtant la plus attentivement scrutée par toute la communauté «crypto».

Le projet s'intégrait dans le cadre du partenariat engagé entre Inria et Microsoft Research en 2005 et plus particulièrement dans celui du projet Everest, dont l'objectif est de renforcer la sécurisation des transactions sur Internet en proposant une mise en œuvre performante et vérifiée mathématiquement de l'écosystème HTTPS. Ces efforts ont abouti à la naissance d'une bibliothèque cryptographique à haut niveau de confiance, écrite dans le langage de programmation et assistant de preuve *F** et compilée en *C* en s'appuyant sur les compilateurs *KreMLin* et *Compcert*, un compilateur *C* formellement vérifié issu des travaux de l'équipe-projet Gallium (Inria de Paris). Le code qui en résulte est aussi rapide (voir plus) que celui d'une bibliothèque écrite d'emblée en *C*, à l'instar d'*OpenSSL*.

Deux ans après le début du projet, la bibliothèque a fait ses débuts dans plusieurs conférences de premier plan : *ICFP*, *IEEE Symposium on Security and Privacy*, *ACM CCS*. Loin de rester cantonné dans un rôle d'outil dédié à la recherche fondamentale, HACL* a aussi rapidement trouvé

son chemin vers des applications de grande envergure. En effet, depuis septembre 2017 la bibliothèque a été successivement implémentée dans le navigateur *Mozilla Firefox*, dans le VPN *WireGuard* – qui pourrait prochainement lui-même être implémenté dans le noyau *Linux* – ainsi que dans la *blockchain Tezos*.

Dans les mois qui viennent de nouveaux développements sont attendus, avec une version intégrant de nouveaux algorithmes parallélisés pour une performance optimale et des travaux sur la vérification de constructions cryptographiques plus avancées, à l'instar de celles qui relèvent de la cryptographie postquantique.



Innovation



François Cuny

Directeur général délégué à l'innovation

« En 2018 Inria a poursuivi ses actions dans le domaine du développement technologique, des partenariats stratégiques avec des grandes entreprises, de la création de start-up et de la diffusion de logiciels open source. »

Accompagnement des projets de start-up

En 2018, Inria a continué l'accompagnement des projets de start-up pris en charge au quotidien par les centres de recherche. Les porteurs de projets d'entreprises de la deuxième promotion du programme *Digital start-up* ont pu bénéficier de l'accompagnement de coachs et de mentors pour les dimensions marketing, *business* et finance. Le programme *Horizon start-up* de promotion de la culture entrepreneuriale au sein de l'institut a permis la sensibilisation de plus de deux cents scientifiques à la création de start-up.

Six start-up ont été créées en 2018 : *Dilepix*, *UT4H*, *Nurea*, *Denimbo*, *Neurinno* et *OneAngstrom*. Deux belles levées de fonds pour *Therapixel* et *Mensia Technologies* et un *Emmy Award* dans la catégorie *Technology & Engineering* pour *Golaem* viennent compléter ces succès.

Début 2018 Inria s'est installé à *French Tech Central*, au cœur de *Station F*, pour y assurer le développement des relations entre la recherche publique et les start-up. Des masterclasses ont été organisées afin de faire découvrir les technologies développées chez Inria.

À propos des consortiums logiciels

L'action *InriaSoft* poursuit ses objectifs de pérennisation et de valorisation à travers l'*open source* de logiciels scientifiques d'envergure issus des équipes-projets Inria. Fin 2018, une dizaine d'ingénieurs *InriaSoft* accompagnent ainsi neuf logiciels et les consortiums associés autour de thématiques aussi variées que l'intelligence artificielle, les langages de programmation, la sécurité logicielle, la bio-informatique ou l'imagerie médicale.

Les partenariats stratégiques

En 2018, un accord-cadre avec *Google* a été conclu et un partenariat stratégique centré sur l'intelligence artificielle a été lancé avec *PSA*. Les partenariats de longue date avec *Microsoft* et *Nokia* ont été renouvelés, traduisant l'engagement des chercheurs et chercheuses sur les projets élaborés avec ces industriels. Dans un contexte plus scientifique, le partenariat avec l'*ANDRA* a été également renouvelé, autour de la modélisation du stockage souterrain des déchets radioactifs.

Dilepix et OneAngstrom, deux start-up issues d'Inria

Inria est très impliqué dans l'accompagnement à la création de start-up. C'est l'un des moyens privilégiés du transfert. Aujourd'hui, plus de 120 entreprises commercialisent des technologies issues des travaux des équipes de recherche de l'institut. Zoom sur deux des cinq start-up nées en 2018.

« Pouvoir s'appuyer sur des équipes de recherche qui ont une réputation mondiale a apporté beaucoup de crédibilité à notre projet. »

Alban Polba, Cofondateur de Dilepix

Dilepix simplifie la vie des agriculteurs

Cette start-up propose un service en ligne d'analyse d'images pour automatiser la surveillance d'une exploitation agricole. À l'origine de ce projet : Aurélien Yol, ingénieur et chercheur de l'équipe-projet Lagadic (Inria Rennes) spécialisée dans la vision robotique.

« L'agriculture est un secteur en pleine transition numérique pour lequel nos technologies de vision présentent un gros potentiel », remarque l'ingénieur. Caméras et capteurs intelligents équipent en effet de nombreuses exploitations pour observer le bétail et les récoltes ou détecter la présence de ravageurs. **Dilepix aide les agriculteurs et agricultrices à appréhender les**

données de ces dispositifs de surveillance. Elle fournit un système d'analyse d'images qui va travailler de façon automatique et informer l'exploitant en cas de problème. Pour peaufiner son projet de création d'entreprise, il a été soutenu par *InriaHub*, le dispositif de maturation de start-up de l'institut. Il s'est également associé avec un expert de la robotique et de l'agriculture de précision, *Alban Polba*. En 2018, *Dilepix* faisait partie des 64 lauréats du concours national *i-Lab* qui vise à accompagner la création d'entreprises innovantes. La start-up a également remporté le prix *Crisalide Numérique 2018* dans la catégorie *Greentech* et a participé en 2019 au *Consumer Electronic Show (CES)* de Las Vegas.

OneAngstrom vise à révolutionner la pratique de la modélisation moléculaire

Fondée en octobre 2018, la start-up *OneAngstrom* est l'aboutissement d'un travail né dix ans plus tôt dans l'équipe-projet Nano-D (Grenoble Rhône-Alpes). L'équipe, créée en 2008 par Stéphane Redon pour concevoir des algorithmes pour les nanosciences, est à l'origine de *SAMSON*, une plate-forme logicielle

qui permet de simuler, d'analyser et de concevoir des médicaments, des matériaux, des composants électroniques, des nanosystèmes, etc. La modélisation moléculaire est un sujet complexe dans lequel la diversité des sciences et des techniques employées (mécanique quantique, dynamique moléculaire, apprentissage profond, calcul haute performance, etc.) rend les avancées scientifiques et la collaboration difficiles.

L'architecture ouverte unique de la plate-forme *SAMSON* répond à cette problématique. **OneAngstrom offre une double proposition de valeur, à destination des consommateurs et des producteurs d'outils, de données et de services pour la modélisation moléculaire, qu'ils soient académiques ou industriels.**

Déjà lauréat en 2012 d'une bourse *Starting Grant* de l'*European research council (ERC)*, Stéphane Redon a reçu en 2016 une bourse *Proof of concept*, qui lui a permis de construire un *business model* autour de *SAMSON*, concrétisé par la création de *OneAngstrom*.

Après une levée de fonds en décembre 2018, *OneAngstrom* démarre l'année 2019 sereinement et se concentre pleinement sur son développement commercial.

L'initiative scikit-learn, bibliothèque logicielle de référence en machine learning

L'initiative *scikit-learn*, un partenariat avec des entreprises utilisatrices, a été lancée en septembre 2018. Son objectif est d'intensifier le développement de cette infrastructure de référence en y ajoutant de nouvelles fonctionnalités. *Scikit-learn* est une bibliothèque développée en langage *Python*, et est consacrée au *machine learning*.



10 ans de recherche

Lancé initialement en 2007 par des membres de la communauté scientifique *Python*, le projet *scikit-learn* a connu son véritable essor dans le cadre de travaux de recherche sur l'imagerie fonctionnelle du cerveau, menés au sein de l'équipe-projet Parietal d'Inria. L'équipe avait besoin d'un outil de modélisation prédictive qui s'intégrait à l'écosystème *Python*. Elle a alors organisé un atelier de développement participatif ouvert, avec pour objectif d'implémenter en *open source* des méthodes d'analyse statistique de données. Deux ans plus tard, une version stable a pu être mise en ligne.

Scikit-learn bénéficie maintenant du soutien d'une équipe importante de développeurs basés à Paris, mais aussi à New-York, Sydney et un peu partout dans le monde. Il est dans le top 3 des logiciels de *machine learning* les plus populaires sur *GitHub*.

Des domaines d'application diversifiés

Scikit-learn extrait la structure de données complexes (bases de données, textes, images) pour les classifier en utilisant des techniques statistiques. Développée en *open source*, elle est disponible sous licence *BSD*. Une communauté de développeurs et développeuses (internes et externes à Inria) a été rapidement constituée, ce qui a permis d'accélérer le développement de l'outil et de promouvoir des applications très diverses. ***Scikit-learn* est par exemple utilisé par un grand nombre d'entreprises du Web pour prédire des comportements d'achat d'utilisateurs**, pour proposer

des recommandations de produits ou pour détecter les tendances ainsi que les comportements abusifs (fraudes, spams, etc.). *Scikit-learn* sert à extraire la structure de données complexes (textes, images), et à les classifier en utilisant des techniques correspondant à l'état de l'art.

Un des points forts de *scikit-learn* est sa généricité, qui lui assure une grande polyvalence et des domaines d'application très divers, tels que la lutte contre la fraude et le spam, le ciblage marketing, la prévision des comportements des utilisateurs ou l'optimisation des processus industriels et logistiques.

Le consortium *scikit-learn*

Pour accompagner et stimuler l'écosystème *scikit-learn*, un consortium regroupant des mécènes (*BCG Gamma, Microsoft, Axa, BNP Paribas Cardif, Intel, Nvidia et Dataiku*) a été créé avec le soutien de la Fondation Inria. Il doit ainsi permettre aux ingénieurs de développement d'assurer la qualité du projet et l'intégration de nouvelles contributions, ainsi que l'ajout de nouvelles fonctionnalités ambitieuses, le tout en lien et au bénéfice de sa vaste communauté d'utilisateurs et de développeurs.

Un laboratoire commun avec Nokia Bell Labs

S'associer pour relever les défis scientifiques de demain, c'est l'enjeu du partenariat signé entre l'institut et *Nokia*. Depuis dix ans, ils collaborent au sein d'un laboratoire commun. Le but : développer les réseaux de communication pour l'Internet du futur. Un partenariat fructueux renouvelé pour les quatre prochaines années.

Lancé en 2008, le partenariat entre l'Institut et *Nokia Bell Labs*^{*}, le pôle recherche du géant des télécommunications, a été renouvelé, fin 2017, pour quatre ans. Un laboratoire commun réunit chercheurs, doctorants et postdoctorants qui mettent en commun leurs connaissances et leurs travaux autour des réseaux de communication. L'objectif de cette collaboration est de développer des ressources réseaux optimisées pour répondre aux enjeux de l'Internet du futur. Objets connectés, voiture autonome, ville intelligente, e-santé... Autant de domaines en plein essor mais pour lesquels de nombreux défis techniques restent à relever. **Les réseaux du futur devront être capables de gérer cette multitude d'objets connectés, d'héberger et d'interconnecter massivement des fonctions distribuées et d'afficher une agilité sans précédent pour prendre en charge ces cas d'utilisation multiples et exigeants.** Inria et *Nokia Bell Labs* collaborent pour répondre à toutes ces problématiques. Tous les deux disposent d'une expertise reconnue en matière de théorie de l'information, apprentissage automatique, théorie des graphes,

théorie des jeux, cybersécurité, virtualisation des réseaux et contrôle logiciel avancé.

Pour les quatre années à venir le laboratoire commun se consacrera à quatre axes de recherche : la théorie de l'information et les algorithmes pour résoudre les défis de l'IoT ; l'analyse et l'apprentissage automatique pour optimiser dynamiquement et automatiquement le réseau virtualisé ; l'apprentissage et le contrôle répartis et évolutifs afin d'exploiter des réseaux IoT complexes d'éléments dynamiques avec l'intelligence augmentée ; la cybersécurité pour assurer la confidentialité, l'intégrité des données et la résilience contre les intrusions. Des recherches de très haut niveau pour développer les innovations qui, demain, enrichiront les produits développés par *Nokia*.

*Anciennement Alcatel-Lucent Bell Labs.

« Sur la base d'une relation riche et fructueuse établie au cours des vingt dernières années, Inria et Nokia Bell Labs sont copionniers dans cette aventure. Nous avons des attentes et des plans encore plus élevés pour notre future collaboration via notre laboratoire commun centré sur les défis fondamentaux de l'Homme dans le futur monde connecté. »

Marcus Weldon,
CTO de *Nokia* et président de *Nokia Bell Labs*

Inria s'engage

L'humain doit être au cœur de nos projets.
Fondés sur les principes de transparence et d'éthique,
les axes stratégiques d'Inria sont porteurs de sens :
la première des causes portées par l'institut est de mettre
le numérique au service du handicap.



Dans son projet d'établissement 2019-2023, Inria s'engage
ainsi à être une organisation exemplaire en la matière :
c'est ainsi tout un ensemble d'actions qui touchent
au sujet du handicap et méritent d'être mis en cohérence
au sein d'un « programme Handicap ».

• *En matière de recherche*

25 équipes-projets travaillent sur le sujet, mêlant plusieurs compétences pour avoir un impact réel ;

• *En matière d'innovation*

Ces actions seront cadrées en fonction de besoins exprimés par les utilisateurs et utilisatrices, en liaison avec des associations et des entreprises innovantes, notamment des start-up ;

• *En matière d'accessibilité* numérique

de nos contenus : **Inria doit se donner l'ambition d'être exemplaire sur l'accès de ses contenus numériques**, en promouvant (par ailleurs en tant qu'hôte du W3C en Europe) et en s'appliquant à lui-même, les standards WCAG (*Web Content Accessibility Guidelines*) ;

• *En tant qu'employeur*

Au travers de son dispositif « Travailleurs handicapés », **Inria développe une politique d'intégration** qui valorise la formation, les compétences et l'expérience professionnelle.

L'équipe-projet POTIOC à Bordeaux

a mis en place un système de réalité augmentée audio-tactile pour rendre accessible des supports à des personnes avec une déficience visuelle. Ici, un atlas botanique réalisé à partir de vraies plantes qui permet à l'utilisateur de retrouver la texture réelle de ces dernières et d'en comprendre les parties grâce à une légende.



La start-up UT4H

crée en 2018, elle développe une solution connectée complète, *Home-Assist*, pour simplifier et faciliter le quotidien des seniors vivant seuls, des proches et des aidants professionnels. Via des objets connectés au domicile reliés à une plate-forme sécurisée de données de santé, *Home-Assist* aide aux activités de la vie quotidienne et à la vie sociale de la personne, et renforce sa sécurité à son domicile.



Bilan financier

RAPPORT ANNUEL BUDGÉTAIRE DE L'EXERCICE 2018

Le **budget initial** d'Inria pour l'année 2018 voté en novembre 2017 s'est établi en ressources et en dépenses à 236,5 M€ ramené à 240,6 M€ au dernier budget rectificatif voté en novembre 2018.

Concernant l'exécution du budget 2018 et côté recettes, la **Subvention pour Charge de Service Public (SCSP)** se situe à 172,1 M€ contre 170,6 M€ en 2017 et 167,5 M€ en 2016. Elle représente 72% des recettes encaissées pour l'exercice 2018.

Les ressources propres encaissées se situent à 66,8 M€ soit un taux d'exécution de 104% par rapport aux montants inscrits au dernier budget rectificatif. Elles représentent 28% de l'ensemble des ressources de l'institut pour 2018. Les ressources propres ont principalement pour origine :



* Dont : 11,3 M€ de l'ANR, 14,2 M€ d'autres partenaires publics, 20,4 M€ de la commission européenne et 8,9 M€ de partenaires privés.

Les **ressources totales** encaissées ont été de **239 M€** en 2018 soit un taux d'exécution par rapport au budget rectificatif de 101,2%.

Par nature, les dépenses sont ventilées comme suit : 167,1 M€ de charges de personnel (69,5 % des dépenses totales), dont 133,6 M€ de Masse Salariale Limitative et 33,5 M€ de Masse Salariale Non Limitative.

L'effectif des personnels « sous plafond » (c'est-à-dire dont la rémunération est assise sur la SCSP) a atteint 1 616 équivalents temps plein travaillé (ETPT) contre 1 579 en 2017 et 1 604 en 2016 pour une prévision au budget initial 2018 de 1 603 ETPT. L'effectif des personnels « hors plafond » (c'est-à-dire ceux dont la rémunération est assise sur ressources propres) a été de 730 ETPT contre 729 en 2017 et 805 ETPT en 2016.

51,3 M€ de dépenses de fonctionnement et d'investissement non programmé (FCI) ;

9,1 M€ de dépenses relatives aux opérations d'investissement programmées (OIP).

Globalement, les dépenses décaissées 2018 ont été de 227,6 M€ pour une prévision initiale de **236,5 M€** soit un taux d'exécution de 96,2 %.

Par destination, les dépenses décaissées en 2018 ont porté :

- pour 160,1 M € sur les activités scientifiques des centres de recherche (agrégat 1) soit 70 % des dépenses totales 2018 ;
- pour 23,1 M€ sur les actions de recherche communes (agrégat 2) soit 10 % ;
- pour 44,4 M€ sur les fonctions support (agrégat 3) soit 20 %.

Les thèmes scientifiques correspondant aux grands objectifs de l'institut sont retracés dans le tableau ci-joint et prennent en compte l'intégralité des dépenses quelle que soit leur source de financement et tout agrégat confondu.

DÉPENSES D'ÉQUIPES PAR THEME EN M€	116,6
Mathématiques appliquées, calcul et simulation	18,4
Algorithmique, programmation, logiciels et architectures	26,2
Réseaux, systèmes et services, calcul distribué	19,4
Perception, Cognition, Interaction	29,6
Santé, biologie et planète numériques	23,0

CERTIFICATION DU COMPTE FINANCIER

Comme c'est le cas depuis 2010, les comptes 2018 ont fait l'objet d'une certification par deux commissaires aux comptes. Les certificateurs ont renouvelé les deux réserves précédemment formulées (recensement des dettes fournisseurs ; inventaire physique et suivi des immobilisations).

Le compte financier de 2018 fait apparaître un résultat bénéficiaire de + 1,4 M€ (au lieu d'un bénéfice de + 0,8 M€ l'année précédente). Cette évolution résulte de plusieurs facteurs, dont principalement :

- la baisse des subventions et produits assimilés (- 4,2 M€), malgré une légère progression de la subvention pour charges de service public (+ 1,5 M€) ;
- presque compensée par l'augmentation des produits directs d'activité (+ 4,0 M€), tirée notamment par la hausse des produits de contrats avec des partenaires privés (+ 3,5 M€) ;
- l'augmentation des autres produits (+ 1,5 M€), qui résulte notamment de la progression des reprises de provisions ;
- la diminution des consommations d'approvisionnements, travaux et services (- 4,2 M€) ;
- elle-même plus que compensée par la hausse des charges de personnel (+ 4,4 M€) et des dotations aux amortissements, dépréciations et provisions (+ 0,5 M€).

Le total du bilan (actif et passif) s'établit à 257,8 M€ contre 253,9 M€ en 2017.

COMPTE DE RÉSULTATS 1/2

RUBRIQUE	Montant (en euros)	Montant (en euros)	Variation 2018 / 2017
Subvention pour charges de service public	172 132 749	170 614 575	0,9%
Subventions de fonctionnement de l'Etat et des autres entités publiques	33 912 234	39 611 017	-14,4%
Subventions affectées au financement de charges d'intervention	-	-	-
Dons et legs	508 706	522 667	-2,7%
Produits de la fiscalité affectée	-	-	-
SUBVENTIONS ET PRODUITS ASSIMILÉS	206 553 689	210 748 259	-2,0%
Ventes de biens ou prestations de services	14 440 560	11 295 342	27,8%
Produits des cessions d'éléments d'actif	29 731	29 344	1,3%
Autres produits de gestion	2 089 954	1 188 157	75,9%
Production stockée et immobilisée	-	-	-
Produits perçus pour la réalisation d'un service public	-	-	-
PRODUITS DIRECTS D'ACTIVITÉ	16 560 245	12 512 843	32,3%
Reprises sur amortissements, dépréciations et provisions	15 251 013	13 163 265	15,9%
Reprises du financement rattaché à un actif	6 192 438	6 770 584	-8,5%
AUTRES PRODUITS	21 443 451	19 933 849	7,6%
PRODUITS DE FONCTIONNEMENT	244 557 385	243 194 951	0,6%
Achats	119 741	103 481	15,7%
Consommation de marchandises et approv., travaux et services	38 053 394	42 230 932	-9,9%
Charges de personnel	155 822 975	151 472 276	2,9%
Autres charges de fonctionnement (dont pertes/créances irrécouvrables)	19 670 196	19 605 280	0,3%
Dotations aux amortissements, dépréciatio, provisions, VNC actifs cédés	29 469 555	28 973 397	1,7%
CHARGES DE FONCTIONNEMENT	243 135 861	242 385 366	0,3%
PRODUITS (OU CHARGES) NETS DE L'ACTIVITÉ	1 421 524	809 585	75,6%

COMPTE DE RÉSULTATS 2/2

RUBRIQUE	Montant (en euros)	Montant (en euros)	Variation 2018 / 2017 %
Produits des participations et prêts	-	-	-
Produits nets sur cessions des immobilisations financières	-	-	-
Intérêts sur créances non immobilisées	-	-	-
Produits des valeurs mobilières de placement et de la trésorerie	-	-	-
Produits nets sur cessions de valeurs mobilières de placement	-	-	-
Gains de change	10 666	20 615	-48,3%
Autres produits financiers	39 808	-	-
Reprises sur amortissements, dépréciations et provisions financières	-	-	-
PRODUITS FINANCIERS	50 474	20 615	144,8%
Charges d'intérêts	-	-	-
Charges nettes sur cessions de valeurs mobilières de placement	-	-	-
Pertes de change	20 862	6 032	245,9%
Autres charges financières	-	-	-
Dotations aux amortissements, dépréciatio et aux provisions financières	-	-	-
CHARGES FINANCIERES	20 862	6 032	245,9%
PRODUITS (OU CHARGES) FINANCIERS NETS	29 612	14 583	103,1%
Impôt sur les sociétés	-	-	-
RÉSULTAT DE L'EXERCICE	1 451 136	824 168	76,1%



Directeur de la publication : Bruno Sportisse

Responsable éditoriale : Ariane Beauvillard

Responsable graphique : Sophie Barbier

Conception graphique et réalisation : Philippe Aran

Crédits photos : © Inria : Pierre Morel p. 3, p.8, p.14 ; G. Scagnelli p.10-1 et 2, p.11-3,
p.12-2 ; Kaksonen p.12-3 ; C. Morel p.19

Fonds ext. : A. Macarri / UCA p.10-3, p.11-1 ; Fondation Simons p.11-2 ;
Collège de France / P. Imbert p.12-1

Inria

Domaine de Voluceau - Rocquencourt - BP 105 - 78153 Le Chesnay Cedex France
www.inria.fr