Département Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication

1 Les sciences et technologies de l'information et de la communication à Saclay
- 1.1 Les enjeux
- 1.2 Le département STIC
  - 1.2.1 Les laboratoires
  - 1.2.2 Les thématiques
  - 1.2.3 Interfaces avec les autres départements
  - 1.2.4 Les actions structurantes
  - 1.2.5 Innovation et transfert
  - 1.2.6 Formation
- 1.3 Positionnement
  - 1.3.1 Positionnement stratégique
  - 1.3.2 Atouts du département
  - 1.3.3 Pistes de progrès

2. Stratégie partagée de recherche
- 2.1 Big Data
  - Le Big Data: des verrous à lever pour générer de la valeur
    - L'adaptation à l'hétérogénéité
    - Le passage à l'échelle et la maîtrise de la complexité
    - La validation et le contrôle par l'humain
    - L'appropriation sociale du Big Data
  - Recommandations d'actions
    - Structurer la communauté interdisciplinaire Paris-Saclay autour du Big Data
    - Développer les plateformes d'expérimentation
    - Augmenter le potentiel d'encadrement pédagogique et de recherche
    - Former des spécialistes pour répondre aux enjeux économiques et scientifiques
- 2.2 Sécurité, sûreté
  - Quatre défis majeurs
    - Sûreté et sécurité des systèmes cyber-physiques
    - Conception et vérification: du modèle au code exécuté
    - Méthodes et outils utilisables par des non-spécialistes
    - Sécurisation des données et calculs distribués
  - Propositions d'actions
    - Construire un pôle de recherche coordonné autour de la sûreté et sécurité du logiciel
    - Contribuer à l'intégration des aspects liés à la sûreté et sécurité du logiciel dans des domaines d'applications prioritaires
    - Accompagner le développement logiciel en vue de son transfert
    - Coordonner l'offre de recrutement et de formation
- 2.3 Interaction homme-machine et robotique interactive
  - Défis du domaine
    - Des interfaces intuitives, adaptatives, intelligentes
    - Multimodalité, robustesse
    - Sécurité, sûreté des interactions
    - Design et conception centrés sur l'humain
  - Recommandations d'actions
    - Un programme de recherche collaboratif pour l'interaction et la robotique
    - Développer le réseau des plateformes

Un comité d'éthique pour les sciences du numérique
2.4 Systèmes en réseaux
Enjeux du domaine
Institut de la 5G et des réseaux du futur
Sécurité des réseaux
Nouvelles architectures, méthodes et outils
Très grands systèmes en réseaux
Internet des objets - en collaboration avec le département EOE
2.5 Modélisation et simulation des signaux et des systèmes
Défis Méthodologiques
Fondements de la modélisation
Ingénierie des modèles et simulation
Couplage Modèle Contexte
Défis Applicatifs
Sciences de la vie
Énergie
Sciences de l'homme et de la société
Industrie du futur
Actions & Recommandations

1 Les sciences et technologies de l'information et de la communication à Saclay

1.1 Les enjeux

Les Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) sont désormais présentes dans l'ensemble des secteurs d'activité. Elles transforment tout autant les méthodes et outils des scientifiques et des ingénieurs que les comportements sociaux ou les modèles économiques. Au coeur de la révolution numérique en cours depuis une vingtaine d'années, les STIC constituent tout à la fois un moteur de progrès scientifique et un facteur majeur de compétitivité économique, ce qui explique leur présence constante dans les priorités de recherche partout dans le monde et la forte compétition internationale dont elles font l'objet.

Les avancées attendues des technologies, qu'elles soient matérielles, logicielles ou de communication, reposent avant tout sur les progrès des disciplines scientifiques au coeur des STIC : mathématiques, informatique, automatique, électronique et traitement du signal. Ces disciplines doivent faire face à de nouveaux défis comme le passage à l'échelle, la distribution des calculs, des données et des traitements ou la protection de l'intégrité et de la confidentialité des échanges. Les grands enjeux du domaine portent notamment sur le traitement de données massives (*Big Data*) ou le développement de très grands systèmes d'objets connectés (Internet des objets).

Les STIC sont également fortement mobilisés autour de grands défis sociétaux et interdisciplinaires comme l'énergie, le renouveau industriel, la santé, les transports, l'éducation ou la sécurité des personnes. Sur ces thématiques, l'omniprésence des technologies et méthodes issues des sciences du numérique pose des questions qui vont bien au-delà de la recherche en STIC autour, par exemple, de l'appropriation et du contrôle des systèmes technologiques par les utilisateurs, de l'impact des technologies sur l'organisation des activités humaines ou des implications en terme de sécurité des personnes et d'intégrité de la sphère privée Une des clés de la période à venir consiste à intensifier les collaborations avec l'ensemble des disciplines scientifiques ainsi qu'avec les acteurs socio-économiques (entreprises, associations, collectivités…) afin de développer et maîtriser l'impact des recherches menées en STIC.

La recherche en STIC a pour ambition de combiner ces deux objectifs majeurs que sont la progression des connaissances dans ses disciplines de base et la mobilisation autour de défis majeurs, en interaction avec les autres domaines scientifiques et les acteurs socio-économiques.

Le développement du potentiel de formation, à tous niveaux (formation initiale, formation continue, formation par la recherche), constitue également un des enjeux majeurs du domaine. Les meilleurs sites universitaires mondiaux sont désormais entrés dans une compétition féroce pour former des spécialistes dans des domaines clés comme la cybersécurité ou le traitement des données. Dans un contexte de fortes tensions sur le marché de l'emploi en STIC combinées à une mobilité accrue des étudiants et des entreprises, les sites universitaires nationaux doivent monter en puissance en organisant une offre de formation, plus efficace, plus large, plus lisible à l'international en s'appuyant sur les forces de recherche en présence.

1.2 Le département STIC

1.2.1 Les laboratoires

Le département STIC couvre quasiment tout le spectre de la recherche en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication. Il s'inscrit dans le périmètre des sections 27 (Informatique) et 61 (Génie informatique, automatique et traitement du signal) du CNU, des sections 06 et 07 (Sciences de l'Information) du Comité national du CNRS. Vingt-cinq laboratoires dépendant de quatorze établissements membres ou associés à l'Université Paris-Saclay y sont impliqués avec un total de plus de 1300 chercheurs et enseignants chercheurs. Le département STIC correspond à la plus importante communauté de recherche en STIC en France, avec de l'ordre de 15% du potentiel national dans le domaine, selon l'étude Strater[1].

Par rapport aux autres sites nationaux de taille comparable, le département STIC se singularise par l'implication forte de plusieurs organismes nationaux (CEA, CNRS, Inria, ONERA) qui y ont une part significative de leurs forces de recherche respectives ainsi que par la présence forte des écoles d'ingénieurs et grandes écoles (CentraleSupélec, Ecole Polytechnique, ENSTA, ENS Cachan, Institut Mines-Télécom). Le département comporte également des équipes STIC issues d'établissements rattachés de façon prioritaire à d'autres départements, notamment à l'INRA et à AgroParisTech.

La taille des laboratoires associés au département est assez importante avec un effectif médian de l'ordre de 45 permanents (chercheurs ou enseignants chercheurs) et près d'un quart des laboratoires qui ont plus 60 membres permanents (CEA, L2S, LTCI, ONERA, LRI). Par ailleurs, la répartition géographique actuelle des laboratoires qui composent le département est particulièrement étendue mais plus de 50% des laboratoires sont déjà installés sur le plateau de Saclay et près de 30% des laboratoires sont concernés par des projets de déménagement pour les y rejoindre à l'horizon des cinq années à venir.

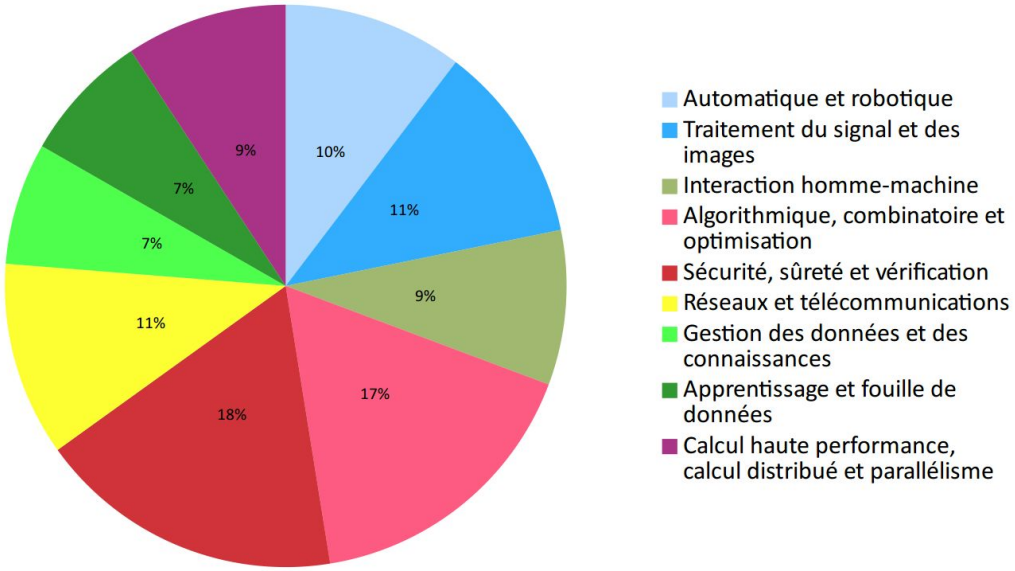
1.2.2 Les thématiques

Les recherches effectuées au département STIC recouvrent toutes les grandes thématiques du domaine:

- Automatique et robotique
- Traitement du signal et des images
- Interaction homme-machine
- Algorithmique, combinatoire et optimisation
- Sécurité, sûreté et vérification
- Réseaux et télécommunications
- Gestion des données et des connaissances
- Apprentissage et fouille de données
- Calcul haute performance, calcul distribué et parallélisme

[1] http://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/Diagnostic_2014/06/9/Ile_de_France_Strater_320069.pdf pages 111-119.

Le graphique suivant présente la répartition des chercheurs et enseignants-chercheurs du département travaillant sur chacune de ces thématiques.



Ces thématiques recouvrent un large pan des 17 technologies qui sont mises en exergue, pour ce qui concerne les STIC, dans le rapport *Technologies clés 2015*[2] du Ministère de de l'économie, des finances et de l'industrie. Compte-tenu de la taille importante du département, les effectifs dans chaque thématique sont très significatifs, de l'ordre au minimum d'une centaine de chercheurs ou enseignants-chercheurs permanents. Par ailleurs, il est important de noter que les recherches effectuées au sein du département STIC recouvrent, sur toutes ces thématiques, un continuum allant des aspects les plus théoriques jusqu'aux applications.

1.2.3 Interfaces avec les autres départements

En complément des travaux sur les disciplines STIC évoqués dans la section précédente, le département se distingue par son engagement significatif dans des recherches de nature interdisciplinaire. Une partie significative des personnels rattachés au département STIC participent à des travaux de recherche impliquant des collaborations avec des chercheurs relevant de thématiques portées par les autres départements de l'université Paris-Saclay.

Les collaborations les plus intenses concernent des disciplines fortement liées aux STIC. Au premier rang viennent les mathématiques dont les outils méthodologiques (théorie du contrôle, probabilités, statistiques, optimisation numérique, méthodes algébriques, combinatoire, modélisation mathématique des signaux et des images) sont largement partagés au sein des STIC. Les collaborations avec le département EOE sont également très significatives, en lien avec la modélisation et le contrôle des systèmes physiques (composants, calculateurs, capteurs, antennes, robots…) utilisés dans les technologies numériques. Les collaborations correspondantes relèvent de domaines tels que la micro/nanoélectronique, l'optique, l' électromagnétisme et les capteurs ainsi que d'enjeux largement partagés avec le département EOE autour de l'énergie (*smart grids*, sécurité des réseaux de distribution d'énergie) ou la mobilité (véhicules intelligents, réseaux véhiculaires, systèmes de communication sans fils).

Le département est également fortement impliqué dans des collaborations mobilisant des concepts, des outils ou des technologies STIC au service d'objectifs qui relèvent d'autres domaines. Les plus significatives en nombre de personnes impliquées concernent les Sciences de la Vie (bioinformatique, biologie des systèmes, modélisation du vivant, imagerie médicale, neurosciences, santé et bien être)

[2] http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/114000139/ (édition 2011)

ainsi que les Sciences de l'homme et de la société (traitement automatique des langues et de la parole, ergonomie, design, cognition, art et sciences, économie et régulation).

1.2.4 Les actions structurantes

La mise en place du département a été préfigurée par plusieurs actions collectives qui ont eu un impact très significatif sur la structuration et la dynamisation des relations entre les laboratoires du périmètre STIC. Digiteo a ainsi été le premier RTRA en STIC créé au niveau national sur un périmètre qui s'est élargi depuis 2007 jusqu'à inclure désormais une grande majorité de l'actuel département STIC. A travers ses différents programmes d'actions (recherche, innovation, international) Digiteo a contribué à fédérer la communauté STIC Paris-Saclay en lui conférant une meilleure visibilité et en la structurant autour de projets impliquant plusieurs partenaires du site dans une dynamique matérialisée notamment par les trois bâtiments Digiteo.

Cette dynamique de collaboration a été encore renforcée par le plan Investissement d'avenir ainsi que par les actions de l'Idex Paris-Saclay qui ont conduit à la création de plusieurs projets structurants au niveau du département dont le labex DigiCosme, l'équipex Digiscope, les projets Idex Institut de la Société Numérique (ISN), Institute for Control and Decision (Icode), le Center for Data Science (CDS) - voir encadrés. Ces projets ont été soutenus par le département STIC qui a également coordonné les deux projets de chaires d' enseignement-recherche sur le Big Data en cours de recrutement pour la rentrée académique 2015-2016.

Le département STIC contribue aussi activement à des actions portées par d'autres départements. En particulier, l'Institut de Modélisation des Systèmes Vivants (IMSV), porté par le département SdV, est à l'origine d'une dynamique interdisciplinaire sur la modélisation des systèmes vivants. Il en est de même pour la plateforme NanoDesign, portée par le département EOE, qui est dédiée à l'intégration et au développement des technologies pour les systèmes à base de nano-dispositifs depuis l'architecture jusqu'aux frontières matériel/logiciel.

Le labex DigCosme[3] développe trois thématiques au coeur de la conception des systèmes d'information et de communication de demain : la **fiabilité et la sécurité**, la gestion des **réseaux** et la **science des données** massives**.** Sur le plan de la **formation**, les principales réalisations de DigiCosme sont la contribution à la structuration de l'offre de master en Informatique avec la définition de programmes communs et une offre de bourses, la contribution à la formation doctorale, en particulier à travers une école de printemps annuelle ou encore des actions de soutien à l'initiation à l'informatique au lycée et au primaire. Sur le plan de la **recherche**, le labex finance des thèses qui contribuent à ses objectifs ainsi que des projets émergents en soutien à l'attractivité internationale du site. Il contribue aux échanges scientifiques au travers de groupes de travail thématiques collaboratifs et de rencontres scientifiques. Sur le plan de l'**innovation** les principales actions durant la période 2012-2015 ont concerné le soutien aux échanges avec les industriels. Un partenariat privilégié a été développé avec le pôle de compétitivité Systematic. Les futures actions concerneront la construction de partenariats directs avec les industriels et l'accompagnement des équipes pour pouvoir répondre plus efficacement aux appels de prématuration et aux actions de transfert de l'Université Paris-Saclay.

L'équipex Digiscope[4] développe une infrastructure de visualisation interactive et collaborative unique au monde de par sa puissance et sa richesse de configuration. Cette infrastructure composée de murs d'images interactifs et de salles de réalité virtuelle interconnectées répartie en neuf lieux pourra être utilisée par des chercheurs, des entreprises ou même des enseignants. Elle sera suffisamment puissante pour permettre de traiter de grandes masses de données et de modéliser et simuler des phénomènes et des systèmes complexes. Huit plateformes sont opérationnelles à ce jour.

Institut de la Société Numérique (ISN)[5] Le numérique suscite des espoirs, mais aussi des craintes. On mesure

[3] http://labex-digicosme.fr/
[4] http://www.digiscope.fr/
[5] http://digitalsocietyinstitute.com/fr/

chaque jour un peu plus ses nombreux domaines d'application, des médias à la biodiversité en passant par la sécurité, la santé… Tant et si bien qu'on parle de « société numérique ». Mais que recouvre celle-ci ? Quels risques fait-elle courir aux citoyens ? L'Institut de la société numérique a pour but d'apporter des éléments de réponse à ces questions légitimes. Il vise à sensibiliser à la nécessité d'une nouvelle approche : les barrières qu'il faut faire tomber pour assurer le déploiement du numérique ne sont pas que technologiques, elles sont aussi économiques et juridiques. D'autres modèles économiques sont à inventer et des contraintes réglementaires à prendre en compte. C'est dire la nécessité d'adopter une vision pluridisciplinaire. Cet Institut mobilise des juristes de l'immatériel, spécialistes du droit de propriété intellectuelle, des économistes de l'innovation, des spécialistes dans les protocoles de sécurisation de la vie privée, la coévolution homme-machine, le e-learning et les MOOCs.

Center for Data Science (CDS)[6] L'objectif de ce centre est d'établir une «agora» dans laquelle des chercheurs et des ingénieurs pourront échanger, initier et nourrir des projets interdisciplinaires. Ils pourront également partager leur expérience sur des projets antérieurs portant sur la science des données. Pour favoriser la synergie entre les analystes et les producteurs de données, le CDS se propose de fournir des ressources pour la mise en place des collaborations et permettre ainsi d'atténuer le risque non négligeable pris par les chercheurs souhaitant s'investir dans des projets scientifiques interdisciplinaires. L'utilisation de formes non conventionnelles comme des séances de brainstorming ou de défis de données, «data challenge», sera vivement encouragée. Le CDS souhaite ainsi faire de l'Université Paris-Saclay l'un des acteurs majeurs des de la science des données, tant sur le plan national que sur le plan 'international.

L'Institut pour le contrôle et la décision (iCODE)[7] a pour but de fédérer la recherche, le transfert technologique, la formation et la diffusion de l'Automatique et de la Décision sur le plateau de Saclay. Les thématiques scientifiques d'iCODE s'articulent autour de quatre initiatives de recherche : Automatique & neurosciences, Large scale systems & smart grids, Economie comportementale, Initiative "blanche". Chacune de ces initiatives de recherche fait l'objet d'un appel à projets interne, ouvert à tous les membres d'iCODE, permettant de financer des ressources humaines, du matériel, l'organisation de manifestations scientifiques, l'invitation de professeurs étrangers, etc.

1.2.5 Innovation et transfert

La valorisation, le transfert de technologies, les coopérations avec l'industrie font partie intégrante de l'activité des laboratoires du département STIC. La présence forte de quatre Instituts Carnot[8] sur le site est un indicateur de l'intensité des relations partenariales bilatérales au sein des laboratoires du département. Les membres du département développent également des collaborations plus pérennes et structurantes sous la forme de laboratoires communs avec un partenaire industriel[9]. Les chaires abondées par un pool de partenaires privés sont aussi un mode de financement de la recherche qui s'est beaucoup développé au cours des cinq dernières années[10]. Le département est également pilote dans l'organisation de la première convention d'affaire de l'Université Paris-Saclay[11] qui aura lieu en novembre 2015.

Tous les établissements du département sont membres du pôle de compétitivité Systematic et 80% des projets labelisés par Systematic comportent une participation des laboratoires STIC. La majorité des établissements sont également membres d'autres pôles de compétitivité franciliens: Cap Digital, AsTech, Moveo ou Medicen.

Les établissements associés au département déposent, le plus souvent en relation avec un partenaire privé, près de 150 brevets ou logiciels par an. Le nombre de start-ups créées par an est variable mais de l'ordre d'une dizaine. Le département a bénéficié dans ce domaine des opérations de pré-maturation et de maturation intiées par Digiteo (OMTE, études de marché) qui ont accompagné plus d'un vingtaine de projets depuis 2007. La participation du département dans les premiers appels de la SATT

[6] http://www.datascience-paris-saclay.fr/
[7] http://www.icode-institute.fr/
[8] CEA LIST, Inria, ONERA ISA, Télécom & Société numérique (soit 20% des Instituts Carnot au périmètre de l'Ile-de-France, toutes thématiques confondues).
[9] Cf., par exemple, RISEGrid avec EDF ; http://www.supelec.fr/342_p_36889/risegrid.html
[10] Cf., par exemple, la chaire MLBD avec BNP Paribas, Criteo, PSA, Safran ; http://machinelearningforbigdata.telecom-paristech.fr/fr/
[11] https://www.universite-paris-saclay.fr/fr/bdbc

Paris-Saclay a été importante[12], confirmant la potentiel significatif du département en terme de transfert au sein de l'Université Paris-Saclay.

1.2.6 Formation

Le département contribue à la formation à tous les niveaux (des premiers cycles au doctorat) et pour des publics variés : étudiants en filières courtes (DUT et licences pro) ou longues ; étudiants et élèves ingénieurs en formation classique ou en apprentissage ; formation permanente et formation continue. La construction de Paris-Saclay offre une opportunité unique de former des étudiants au fait des enjeux socio-économiques de leur discipline, formés à et par la recherche et soucieux de la nécessité du lien entre recherche, société et entreprise. C'est tout particulièrement vrai au département STIC qui fédère les trois universités et une bonne partie des écoles d'ingénieurs du périmètre Paris-Saclay.

Au niveau doctoral, l'Ecole Doctorale STIC de Paris-Saclay a le même périmètre scientifique que le département STIC. Elle est issue de la fusion de sept écoles doctorales antérieures. Elle est organisée en quatre grands pôles qui recouvrent les neuf thématiques du département (*cf* section 1.2.2) : (Pôle 1) Automatique, Traitement du Signal, Traitement des Images, Robotique ; (Pôle 2) Réseaux, Information et Communications ; (Pôle 3) Données, connaissances, apprentissage et interactions ; (Pôle 4) Programmation : modèles, algorithmes, langages, architecture. L'École doctorale STIC accueillera à terme environ 900 doctorants.

Au niveau Master, les thématiques du département STIC sont incluses dans celles de la School EIST (Engineering and Information Science and Technology). Les enseignants-chercheurs et chercheurs du département sont particulièrement impliqués dans deux masters disciplinaires de l'université Paris-Saclay :

- Master mention Informatique[13]. Ce master comprend 16 finalités qui sont toutes dans le périmètre du département STIC. Elles sont regroupées dans six grandes thématiques : Sciences des grandes données, Interaction Homme-Machine, Informatique fondamentale et applications, Informatique des systèmes complexes, Réseaux et systèmes, Sécurité.
- Master mention Electronique, énergie électrique, automatique (E3A)[14] : il comprend 23 finalités dont plus de la moitié relèvent thèmatiquement des STIC (Automatique et traitement du signal et des images, Systèmes avancés de radiocommunications, Réseaux et télécoms, Systèmes embarqués et traitement de l'information, Robotique, assistance et mobilité, …)

Le département est aussi fortement impliqué dans des formations à l'interface de plusieurs disciplines. C'est le cas pour le master mention Bioinformatique[15] qui propose deux finalités et qui émarge à deux Schools : la School EIST, la School BMP (Biologie, Médecine, Pharmacie). C'est aussi le cas pour deux autres mention de master en préparation, qui devraient ouvrir à la rentrée 2016 : Calcul haute performance, simulation ainsi que Ingénierie des systèmes complexes. Signalons enfin le Master mention Miage (Méthodes informatiques appliquées à la gestion en entreprise) qui, bien que ne proposant pas de finalité recherche, est pleinement ancré dans le département STIC, à l'interface avec les sciences de gestion.

Les cycles de professionalisation sont très développées en STIC. Il en est de même pour la formation continue, notamment au niveau des écoles d'ingénieurs. Néanmoins cette offre d'enseignement n'a pas, pour l'instant, fait l'objet d'effort de mutualisation entre les différents établissements ni même d'une cartographie complète[16].

---

[12] Pré-maturation : 7 projets STIC sélectionnées (sur 40) en 2014, 4 (sur 44) en 2015; Maturation : 2 projets STIC sélectionnés (sur 8) en 2015.

[13] https://www.universite-paris-saclay.fr/fr/formation/master/informatique

[14] https://www.universite-paris-saclay.fr/fr/formation/master/electronique-energie-electrique-automatique

[15] https://www.universite-paris-saclay.fr/fr/formation/master/bioinformatique

[16] Un travail de recensement est en cours sur les thèmes liés au Big Data dans le cadre de la Convention d'affaire Paris-Saclay organisée en novembre 2015.

1.3 Positionnement

Le tableau “SWOT” ci-dessous présente le positionnement stratégique du département de façon synthétique. Les différents points qui y sont évoqués sont développés dans la suite de cette section.

Forces	Faiblesses
Couverture très large des thématiques STIC et des enjeux sociétaux qui leur sont associés Regroupement de premier ordre de forces en STIC au niveau national Collaborations interdisciplinaires bien établies, méthodologiques (mathématiques, ingénierie...) et appliquées (SdV, SHS…) Potentiel de recherche de qualité reconnue Existence de plateformes de calcul et d’expérimentation au meilleur niveau Existence de projets structurants au niveau du site Capacité à conduire des projets ambitieux et/ou des grands consortia scientifiques Fort adossement recherche/enseignement	Identité du département qui reste à construire Attractivité à consolider Manque de lisibilité et de visibilité à l’international Faible mutualisation des plateformes, manque d’ingénieurs de recherche et/ou développement pour les maintenir Nombre insuffisant de « start-up » créées malgré un investissement dans des opérations de pré-maturations et/ou de maturation
Opportunités	**Menaces**
Créer une dynamique de recherche intégrative dans le domaine des STIC entre les organismes nationaux, les universités et écoles d’ingénieurs et les acteurs socio-économiques Profiter de la richesse scientifique du site Paris-Saclay pour impulser des actions interdisciplinaires dépassant le cadre des STIC Développer le potentiel de valorisation et de transfert, en s’appuyant sur les outils mis en oeuvre au niveau du site Mettre en place une politique de mutualisation des plates-formes (expérimentales et/ou logicielles) Renforcer la cohésion entre les établissements par la définition de politiques scientifiques communes.	Manque de visibilité sur les moyens disponibles à moyen terme (tant au niveau des établissements que du département STIC)

1.3.1 Positionnement stratégique

La Stratégie Nationale de Recherche[17] a retenu dix orientations (ou “défis”) stratégiques ainsi que trois programmes d’actions prioritaires transversaux. Les STIC sont naturellement au centre du défi 7 «Société de l’information et de la communication» dont les orientations et les actions prioritaires qui lui sont directement associées concernent des points forts de la communauté STIC Paris-Saclay : données

[17] http://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/Strategie_Recherche/69/3/rapport_SNR_397693.pdf

massives et ingénierie de la connaissance, fiabilité des systèmes complexes, sécurité et cybersécurité des infrastructures, interactions homme-machine.

Par ailleurs, le caractère transversal du domaine du numérique se traduit par le fait que la plupart des dix défis identifiés font appel aux STIC ou reposent sur des progrès attendus dans des disciplines STIC. Sur les neuf défis hors STIC, les thématiques sur lesquelles le périmètre Paris-Saclay possède des forces de recherche significatives sont :

- l'ingénierie des systèmes complexes, la sûreté et la sécurité des systèmes d'information et de communication pour l'énergie (défi 2),
- la robotique, la modélisation, les systèmes embarqués pour l'industrie du futur (défi 3),
- les réseaux de capteurs dans le domaine de la santé et du bien-être (défi 4),
- les infrastructures d'information et de communications dans les systèmes urbains et de transport (défi 6),
- la sécurisation et l'optimisation de l'extraction des données au service des sociétés innovantes (défi 8),
- la sûreté des logiciels de commande de véhicule spatiaux (défi 9),
- la protection des données personnelles (défi 10).

Compte tenu de l'adéquation entre la démarche SNR et le programme cadre européen, les conclusions sont relativement similaires lorsque l'on examine le positionnement vis-à-vis du programme H2020. Au niveau européen, Paris-Saclay a une implication forte dans la communauté enseignement et innovation EIT Digital (Future Information an Communication Technologies) dont le CEA, Inria, l'Institut Mines-Télécom et l'Université Paris-Sud sont partenaires principaux. L'implication du département est par contre plus modeste dans les PPP (Public-Private Partnerships) dont certains sont au coeur des thématiques du département comme Big Data Value, Advanced 5G networks for the Future Internet (5G), Robotique ou High Performance Computing (HPC).

1.3.2 Atouts du département

Les recherches menées au sein du département STIC vont des travaux fondamentaux jusqu'à la recherche technologique. Cette diversité est un actif essentiel pour ce département qui lui permet d'avoir une couverture particulièrement large du domaine des STIC. En y incluant les thèmes qui font l'objet de collaborations fortes avec le département EOE (systèmes embarqués, micro/nanoélectronique, optique/optoélectronique), le département est par exemple présent sur l'ensemble des 17 technologies clés identifiées dans le rapport Technologies clés 2015 (voir supra).

Plus de 3500 publications sont produites par an au sein des laboratoires du département, le plaçant au premier rang national pour les publications en STIC (cf. étude Strater 2014 du MENESR citée précédemment).

Le périmètre Paris-Saclay produit des travaux de recherche dont l'excellence scientifique est largement reconnue, tant au niveau national qu'à l'international. Sur les huit dernières années, on compte, par exemple, 9 lauréats ERC[18], 6 médailles d'argent du CNRS[19], 5 prix de l'Académie des Sciences[20] et une distinction (*ACM Software System Awards*) décernée par l'ACM[21]. Cette reconnaissance académique de

[18] S. Abiteboul, K. Bhargavan, M. Bodirsky, P. Bouyer-Decitre, M. Debbah, G. Schaeffer, W. Mackay, D. Miller, N. Paragios.

[19] J-F. Cardoso, H. Comon-Lundh, J-L. Gauvain, J. Goubault-Larrecq, E. Moulines, S. Niculescu.

[20] O. Cappé, J-F. Cardoso, M. Fliess, F. Lamnabhi-Lagarrigue, E. Moulines.

[21] Pour le logiciel Coq (assistant de preuve), distinction récompensant une équipe de neuf contributeurs principaux au logiciel, dont un tiers sont en poste sur le site Paris-Saclay.

la qualité du site Paris-Saclay se retrouve également au niveau du doctorat comme en témoignent les nombreux prix de thèse[22] obtenus au niveau national depuis 2007.

Les collaborations entre les laboratoires du département sont déja nombreuses, favorisées notamment par la priorité donnée dans les financements Digiteo et DigiCosme aux projets impliquant plusieurs partenaires. Environ 10% du total des publications du département sont co-signées par des chercheurs relevant d'établissements distincts au sein du département.

Le département a prouvé sa capacité à faire émerger des projets collectifs au niveau du site. En dehors des projets structurants liés à l'Idex (section 1.2.4), les laboratoires du département sont également impliqués dans de nombreux projets, nationaux ou européens, portés par plusieurs partenaires du site Paris-Saclay[23].

Comme indiqué dans la section 1.2.5, les laboratoires du département STIC entretiennent tous un volume important en moyenne de relations partenariales avec les entreprises. Dans la période à venir, l'accroissement de la présence de centres majeurs de R&D industrielle situés directement sur le campus Paris-Saclay (Thales, Safran, RENAULT, EDF, …) ainsi que la création de centres de recherches technologiques en partenariat public-privé comme l'IRT SystemX ou l'ITE VeDeCoM devrait venir renforcer le potentiel d'innovation et de transfert technologique du département.

1.3.3 Pistes de progrès

Malgré les atouts du site évoqués ci-dessus, la développement de son attractivité en STIC reste un objectif important. En effet, la concurrence est rude dans ce domaine, que ce soit entre les principaux sites académiques au niveau européen (en Grande Bretagne, en Suisse ou en Allemagne) ou avec les centres de recherches privés qui se sont fortement développés en Europe depuis quelques années (Huawei, Facebook à Paris; Amazon à Berlin; Google à Zurich et à Londres, …) Sur certains sujets (robotique, mathématiques appliquées, informatique théorique), Paris-Saclay est également en concurrence avec les sites de Paris centre qui bénéficient également d'une forte notoriété et de l'attractivité liée à une localisation très centrale.

De la même façon, la visibilité internationale du département dans son ensemble reste à développer. Comme indiqué précédemment, la notoriété de certains individus ou équipes au sein du département est grande mais la complexité de la construction du site Paris-Saclay rend le département en tant que tel peu lisible vu de l'étranger. Ce point explique, par exemple, le succès relativement mitigé du programme de bourses de master du labex Digicosme. La mise en place à partir de 2015 de l'offre unifiée de masters ainsi que de la politique de signature commune constituent des premiers pas vers la construction d'un site qui, compte tenu de sa taille et de sa couverture large en STIC, peut prétendre à devenir un des tous premiers acteurs au niveau européen.

L'impact économique des recherches menés en STIC, même s'il est significatif, est encore loin d'être au niveau des grands campus, notamment nord américains (par exemple, pour le nombre de start-ups issues des laboratoires, la diffusion de logiciels, etc.) Par ailleurs, comme signalé précédemment, les actions de valorisation, de transfert ou de partenariat relèvent très majoritairement des établissements et les actions collectives du département en la matière restent modestes. Une meilleure appropriation des outils créés récemment, comme la SATT ou les instituts de recherche technologique, en coordination avec les actions de valorisation des établissements et des pôles de compétitivité est nécessaire dans ce domaine.

Comme on le verra dans la partie suivante, le développement de plateformes expérimentales ou logicielles de visibilité au moins nationale est un objectif stratégique largement partagé au sein du département. A cet égard, le nombre d'ingénieurs de développement présents dans les laboratoires

[22] notamment 4 prix de thèse Gilles Kahn (informatique), 4 prix de thèse Signal, Image et Vision, 1 prix du GdR MACS (automatique), 1 prix Jacques Neveu (probabilité et statistique).

[23] Cf., par exemple, le réseau d'excellence 2012-2015 Newcom# qui associait le CNRS, Supélec et l'Université Paris-Sud.

apparaît comme globalement insuffisant. Outre la question des moyens, cette situation s'explique en partie par le très grand dynamisme du marché de l'emploi privé dans ce domaine, qui rend le recrutement particulièrement difficile pour des établissements publics. Face à cette situation spécifique au domaine des STIC, la mise en réseau des ingénieurs du site ainsi que la focalisation sur quelques plateformes phares apparaissent comme indispensables.

2. Stratégie partagée de recherche

Le département a pour ambition d'asseoir son statut de pôle scientifique de référence en STIC en

- développant une vision à long terme, qui combine des recherches fondamentales, sans exigence d'applicabilité immédiate, avec des initiatives à court ou moyen terme qui offrent une agilité pour soutenir des projets technologiques à fort potentiel de transfert ou pour favoriser l'émergence de nouveaux thèmes de recherche ;
- favorisant une approche interdisciplinaire où le numérique, en synergie avec les autres disciplines du site de Paris-Saclay, constitue un catalyseur dans la création de connaissance et de valeur ;
- s'appuyant sur les acteurs économiques présents sur le site pour expérimenter et valoriser les produits ou procédés résultant de la recherche et pour nourrir en amont le questionnement scientifique.

A cet effet, le département souhaite renforcer et valoriser ses thématiques scientifiques (section 1.2.2), les interfaces avec les autres disciplines (section 1.2.3) ainsi que ses relations avec les acteurs économiques (section 1.2.5) en développant fortement les synergies entre établissements. L'obtention de moyens suffisants pour soutenir la recherche amont, libre et non finalisée - notamment, au niveau du financement doctoral, constitue une condition indispensable à la réalisation pérenne de ces objectifs.

Le département a dégagé cinq axes (Big Data, Sécurité, sûreté, Interaction homme-machine et robotique interactive, Systèmes en réseaux, Modélisation des systèmes) sur lesquels il souhaite faire porter des efforts particuliers dans les prochaines années. Ces cinq axes ont été choisis en raison de

- leur lien avec les enjeux économiques et sociaux majeurs du domaine des STIC,
- leur cohérence avec les stratégies des établissements et avec les stratégies nationale et européenne de recherche,
- leur capacité à stimuler les coopérations avec les autres disciplines et les acteurs économiques présents sur le site,
- l'association d'aspects couvrant l'ensemble du spectre des recherches menées dans le département (des plus fondamentales aux plus appliquées),
- leur potentiel de fédération des acteurs du département autour d'axes transversaux largement partagés.

Nous développons ci-dessous le contexte, les objectifs et les actions envisagées dans chacun des cinq axes. Un certain nombre d'actions à mettre en oeuvre sont communes à tous les axes, nous les résumons ci-dessous.

Structuration des communautés Le besoin de structuration de la communauté est commun dans les cinq axes. L'émergence de pôles de recherche coordonnés permettra de renforcer la structuration et les collaborations entre des équipes disséminées dans différents laboratoires. Des instances de coordination, des mécanismes de mutualisation des ressources et des expertises, des lieux d'échanges scientifiques pourront être mis en place. Des programmes de bourses, de chaires d'enseignement et de recherche, de chaires industrielles, d'invitation d'experts internationaux et de financement de projets de site pourront être mis en oeuvre. Des actions d'animation, des écoles et des conférences pourront être organisées en commun. Une telle structuration aura pour effet de renforcer la visibilité du site, de permettre l'identification de partenaires potentiels (autres disciplines et industriels) et de construire les conditions d'actions de recherche pluridisciplinaires ainsi que d'activités de valorisation et de transfert.

Plateformes Dans tous les axes, des plateformes d'expérimentation, de test et de validation sont nécessaires. Elles demandent un investissement lourd, en moyens financiers et en moyens humains. Il sera nécessaire de développer des instances et outils de coordination afin d'allouer, répartir et utiliser les ressources. Il faudra aussi engager et pérenniser les moyens humains nécessaires à la bonne marche de ces plateformes. Pour cela, un effort de mutualisation devra être fait par établissements, mais un soutien spécifique au niveau de l'Université Paris-Saclay sera également nécessaire.

Formation Le besoin de renforcer les formations en lien avec les thèmes des cinq axes est aussi une constante. Comme indiqué en section 1.2.6, une avancée majeur dans cette direction est en cours avec l'ouverture de l'école doctorale STIC et des masters Paris-Saclay mutualisés à la rentrée 2015. Il faudra, dans les années qui viennent, et à la lumière des premiers retours d'expérience des masters Paris-Saclay, continuer à travailler sur l'articulation entre (a) l'offre de formation à tous les niveaux - y compris en ce qui concerne l'offre de formation continue, (b) les recherches effectuées autour des cinq axes et plus généralement dans les thématiques de recherche du département, (c) les enjeux socio-économiques et les collaborations avec les acteurs industriels. Enfin, les formations ont vocation à s'appuyer sur les plateformes et équipements disponibles au sein des laboratoires de Paris-Saclay.

2.1 Big Data

L'importance du phénomène Big Data (données massives ou data masse) correspond à une prise de conscience collective des enjeux liés à la généralisation de la collecte systématique de données à large échelle. Bien au-delà du simple cumul d'avancées technologiques, il s'agit d'une remise en question majeure destinée à impacter profondément l'ensemble des activités économiques, scientifiques et culturelles.

Comment accéder efficacement à des données devenues désormais massives ? Comment extraire de la connaissance pertinente à partir d'observations captées de façon aveugle ? Quelle confiance accorder à des constats extraits automatiquement à partir de données ? Quelle place donner aux experts, aux décideurs et aux citoyens dans le processus d'exploitation des données ? Ces questions sont autant de défis que la communauté académique de l'Université Paris-Saclay doit relever.

Le Big Data: des verrous à lever pour générer de la valeur

La problématique des données massives concerne l'ensemble des champs de la connaissance, néanmoins le département STIC est bien positionné pour contribuer sur les éléments clés de la chaîne de valorisation des données. Les verrous scientifiques du domaine sur lesquels le département STIC présente des forces de recherche significatives sont notamment :

L'adaptation à l'hétérogénéité

L'hétérogénéité des données réside dans la diversité des sources (capteur, site web, objets connectés), le type de données (signaux, images, vidéos, textes, graphes, etc.), leur nature (numérique/symbolique, structurée/non structurée), leur dimensionnalité (temporelle/spatiale), leur temporalité (flux/archive) ainsi que leur granularité (utilisateur/population). Elle réside aussi dans la perception d'un même phénomène à différentes échelles ou à travers différentes modalités. L'hétérogénéité est à la fois une richesse qui permet d'exploiter les multiples facettes d'observation d'un phénomène pour mieux le décrire ou mieux le comprendre, et un défi qui pose des questions de transformation de représentations, d'alignement de modèles, de corrélation et d'interprétation de données multiformes. La réflexion scientifique sur la nature des données massives, leur modélisation et l'adaptation aux contraintes des applications doit accompagner le changement de paradigme expérimental que constitue le Big Data dans de nombreux domaines.

Le passage à l'échelle et la maîtrise de la complexité

Le traitement des données massives se heurte à trois verrous majeurs : (i) le coût de l'accès aux données, (ii) le faible degré d'automatisation de la préparation et du nettoyage des données et (iii) la consommation d'énergie. L'accès aux données massives a un coût : en plus des coûts classiques en

termes d'accès disque et de transfert réseau, exacerbés dans le Big Data par la distribution des données, parfois à l'échelle de la planète, il faut aussi compter les contraintes d'accès aux données (par exemple, requêtes limitées en nombre et en expressivité sur les sites des réseaux sociaux), le coût algorithmique des outils utilisés pour extraire ou enrichir les données, ou le coût des plateformes de crowdsourcing permettant d'exploiter l'expertise humaine. Le traitement de données massives nécessite également une phase préparatoire pour laquelle l'intervention manuelle devient prohibitive ; les chaînes de traitement classiques des données (extraction, nettoyage, transformation, intégration) doivent être automatisées, en s'appuyant sur les connaissances du domaine (par exemple sous la forme d'ontologies) et des techniques d'apprentissage, tout en contrôlant l'incertitude résultant de cette automatisation. Enfin, la consommation d'énergie pour le stockage et le calcul sur les données est devenu un enjeu économique ; réduire la consommation et diminuer l'impact sociétal de l'exploitation du Big Data requiert de nouveaux paradigmes algorithmiques et de nouveaux modèles de coût.

La validation et le contrôle par l'humain

Le Big Data apporte sa spécificité au domaine classique de l'analyse de données: (i) les modalités d'acquisition sont variées et ouvertes (en archive, en flux, à la demande); (ii) les analyses combinent en général la décision automatisée à l'expertise humaine et nécessitent une évaluation à un niveau plus systémique (rôle des interfaces et visualisations et de l'humain dans l'interprétation et le choix) ; (iii) les résultats d'analyse consistent souvent en des "découvertes" interprétables par les experts du domaine applicatif mais pour lesquelles il est difficile de définir des critères d'erreur formels. L'enjeu est ici de répondre au développement envisagé des méthodes Big Data dans des domaines à fort impact sociétal et économique (santé, agro-alimentaire, défense et sécurité, transport et environnement) en développant des méthodologies de validation certifiées et acceptables par les utilisateurs finaux. L'évaluation s'appuie d'une part sur les statistiques et les données, et d'autre part sur l'implication de l'humain dans l'ensemble du processus Big Data, permettant (i) la prise en compte des connaissances du domaine, palliant les données non observables; (ii) le guidage du processus de découverte, notamment via la visualisation des données et des modèles; (iii) la révision et l'adaptation des modèles en fonction de l'évolution des objectifs.

L'appropriation sociale du Big Data

La transformation numérique ambiante, occasionnée par la disponibilité croissante des données massives, s'accompagne de profondes mutations touchant tous les secteurs de la société : (i) son économie, à travers l'émergence de nouvelles formes de production et de commercialisation des biens et des services ; (ii) ses règles et ses institutions en remettant en cause les modes traditionnels de réglementation, de gouvernance, de formation et de construction de la confiance ; (iii) ses fondements éthiques par la remise en cause de la protection de la vie privée. Sur tous ces aspects, le Big Data est générateur à la fois d'opportunités et de risques. Ce verrou, de nature plus interdisciplinaire, doit être abordé en replaçant les défis scientifiques qui relèvent des STIC (protection de la vie privée, accès sécurisé aux données et aux services, sécurité des infrastructures, interaction avec les utilisateurs) dans une dynamique plus large d'appropriation sociale des technologies du Big Data et d'anticipation de modèles d'affaires innovants. Pour favoriser l'émergence de recherches sur ces thèmes, les collaborations existantes avec le département Sciences de l'Homme et de la Société ont vocation à s'intensifier, profitant de la dynamique mise en place par l'Institut de la Société Numérique (ISN).

Recommandations d'actions

Structurer la communauté interdisciplinaire Paris-Saclay autour du Big Data

Le département STIC a pour ambition de soutenir les recherches sur les enjeux méthodologiques qui relèvent de son périmètre thématique (décrits ci-dessus) à travers ses moyens propres ainsi qu'en s'appuyant sur les outils d'animation scientifique mis en place au cours des deux dernières années (axe DataSense du Labex DigiCosme par exemple). Du fait du caractère incontournable de la problématique des données massives dans l'ensemble des champs de la connaissance, le département STIC a également pour vocation de porter, en lien avec les autres départements, les actions interdisciplinaires de l'Université Paris-Saclay sur ce thème. Le département peut notamment s'appuyer sur l'expérience acquise à travers le CDS (Center for Data Science) pour proposer des outils destinés à soutenir

l'animation scientifique interdisciplinaire sur le thème des données. Une seconde ambition consiste à créer les conditions d'émergence de projets ambitieux mettant en jeu l'ensemble de la chaîne de valorisation et de traitement des données (acquisition, stockage, indexation, requêtage, analyse, extraction de connaissances, apprentissage statistique, décision optimale, visualisation) au service d'objectifs scientifiques partagés avec d'autres départements de recherche de l'Université Paris-Saclay.

Développer les plateformes d'expérimentation

Dans le domaine du Big Data, les objectifs esquissés ci-dessus ne peuvent être atteints qu'en s'appuyant sur des plateformes expérimentales réellement performantes, dont l'échelle dépasse ce qui a été fait jusqu'à présent isolément par les différents partenaires de l'université Paris-Saclay. Un premier enjeu consiste à fédérer les infrastructures de stockage et de calcul en les dotant des moyens humains mutualisés qui permettront leur exploitation effective par l'ensemble des communautés scientifiques concernées. Pour atteindre cet objectif, il est proposé de créer une unité de soutien spécifique aux services de traitement de données, chargée de l'ensemble des aspects impliqués ; du paramétrage et de la configuration à la demande des architectures de stockage et de calcul, jusqu'au maintien des codes d'analyse et de visualisation de données -sur lequel le site Paris-Saclay dispose déjà d'une très bonne visibilité, en passant par l'acquisition, le pré-traitement et la mise à disposition de jeux de données. Dans un contexte très concurrentiel où les ingénieurs ayant ce type de compétences sont très recherchés sur le marché du travail, la mise en place de cette action indispensable devra s'appuyer sur un effort significatif de mutualisation de la part des établissements mais également sur un soutien spécifique au niveau de l'Université Paris--Saclay.

Augmenter le potentiel d'encadrement pédagogique et de recherche

La concurrence très forte mentionnée ci--dessus s'exerce également entre les grands sites universitaires de visibilité internationale qui rivalisent pour offrir des environnements de recherche attractifs (ETH National Data Science Center en Suisse, Big Data Institute du centre Li Ka Shing à Oxford, Data Science Initiative à la New York University, etc.) ainsi qu'avec les centres de recherche privés (Google, Yahoo, Facebook, Huawei). Face à ce défi, il est indispensable de coordonner les politiques de recrutement des différents établissements de l'Université Paris--Saclay sur le thème du Big Data. Un levier important provient des chaires industrielles qui doivent être soutenues de même que de la mobilité, notamment de compétences provenant de l'extérieur du site de Saclay. Le déblocage de moyens permettant l'accueil temporaire de chercheurs et professeurs étrangers ainsi que les échanges de doctorants pour de courtes périodes au cours de la thèse est un enjeu important.

Former des spécialistes pour répondre aux enjeux économiques et scientifiques

Dans le domaine du Big Data, il est impossible de penser séparément la recherche et la formation, tant les attentes socio-économiques en terme de formation sont fortes. Même en tenant compte des recrutements importants effectuées sur ce thèmes dans les deux dernières années par les établissements du périmètre STIC Paris-Saclay (on peut citer notamment les deux recrutements dans le cadre de chaire Idex en 2015), la capacité du site en formation reste à consolider. Un axe de progrès, au delà des progrès significatifs déjà réalisés en 2015 par la mise en place des parcours unifiés du master en informatique, consiste à améliorer la cohérence entre les parcours de formation, en formation initiale mais également en formation continue et dans le domaine de la formation dématérialisée. Un autre axe de différenciation consiste à renforcer la cohérence des formations par rapport aux thèmes de recherche développés sur le site ainsi qu'à mieux exploiter le potentiel des plateformes expérimentales et logicielles de recherche dans le cadre des formations.

2.2 Sécurité, sûreté

La sûreté et la sécurité des systèmes logiciels sont des enjeux sociétaux majeurs: chaque faille révélée a un impact direct immédiat selon la gravité de l'accident mais aussi en terme d'image et de confiance. La nécessité de se préserver de possibles défaillances entraîne également un surcoût important pour les entreprises. Il est donc essentiel que des méthodes et outils soient développés qui répondent à la

complexité des systèmes d'aujourd'hui et de demain et qui s'intègrent dans les cycles de développement logiciel des entreprises.

La principale révolution de ces dernières années est l'ouverture des logiciels et données critiques sur le monde connecté. Les systèmes sont composés d'une multitude d'objets "intelligents" communicants qui manipulent des masses de données. Modéliser de tels systèmes complexes et être capable d'en contrôler le fonctionnement n'est que très partiellement couvert par les connaissances actuelles.

Quatre défis majeurs

Du fait de leur omniprésence en STIC, les questions de sûreté et sécurité ont été naturellement abordées à la fois par des initiatives d'excellence du plateau comme l'Equipex Centre d'Accès Sécurisé Distant aux données, le labex Digicosme (axe SciLex) ou les Idex Institut Société Numérique et Institut pour le Contrôle et la Décision ainsi que, de façon transverse, dans les autres axes prioritaires de la stratégie partagée (Big Data, Interactions, Systèmes en réseaux, Modélisation).

Un de nos objectifs au sein du département STIC est de créer les conditions de collaborations avec les autres thématiques et départements permettant d'apporter des solutions innovantes aux problèmes soulevés par les enjeux de sûreté et sécurité.

Nous présentons ici quatre défis majeurs tant sur le plan scientifique que technologique, au coeur de cette thématique. Une spécificité des forces présentes sur le plateau de Saclay est de couvrir l'ensemble du spectre de la sûreté de fonctionnement du logiciel qui inclut fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité avec une forte compétence en méthodes formelles.

Sûreté et sécurité des systèmes cyber-physiques

Le premier défi concerne la sûreté et la sécurité des systèmes cyber-physiques, c'est-à-dire des systèmes dans lesquels un réseau de processeurs embarqués interagit avec le monde physique pour réaliser certaines fonctionnalités complexes. Ces systèmes, qui incluent les systèmes embarqués, ont des champs d'application très larges qui couvrent des domaines aussi variés que les communications, les transports, la domotique, la robotique, la production, les applications militaires ou industrielles, la santé, l'énergie, ou la conception d'infrastructures innovantes.

Verrous fondamentaux associés à ce défi :

- développement de modèles hybrides
- développement de méthodes d'analyse et de vérification robuste, en particulier d'algorithmes permettant la vérification quantitative
- méthodes pour garantir la sûreté de fonctionnement et la sécurité des systèmes cyber-physiques.

Ce défi encourage naturellement l'approfondissement des interactions établies avec les équipes de Saclay étudiant les systèmes cyberphysiques d'un point de vue de la théorie du contrôle.

Conception et vérification: du modèle au code exécuté

L'enjeu de ce second défi est de concevoir des applications qui exploitent pleinement les capacités des environnements actuels (par exemple code mobile, exécution dans un environnement ouvert sujet aux attaques, architectures cibles parallèles) tout en garantissant un haut niveau de sûreté de fonctionnement/confiance en terme de disponibilité, fiabilité, maintenabilité, sécurité. La complexité des programmes actuels rend nécessaire une approche modulaire de décomposition des problèmes ainsi qu'une méthodologie largement automatisée pour réduire les temps et coûts de développement.

Verrous fondamentaux associés à ce défi :

- conception des formalismes (langages, modèles, preuves) adaptés au développement de systèmes garantis sûrs
- identification des classes de problèmes pour lesquels on sait concevoir des solutions algorithmiques efficaces

- développement de méthodes d'analyse de schémas de code complexe (gestion du parallélisme, flots d'information, calculs en lien avec les composants physiques d'un système)
- développement des techniques et des langages de collaboration entre différentes méthodes de vérification
- conception de systèmes sûrs même en présence de composants non-fiables, ou incertains.

Méthodes et outils utilisables par des non-spécialistes

La conception et la réalisation de systèmes logiciels sûrs requièrent l'utilisation de méthodes rigoureuses pour l'ensemble du développement, s'intégrant dans les processus de développements propres de leurs utilisateurs. Cette interaction entre utilisateurs, outils et méthodes de mise en oeuvre nécessite de développer une base d'experts ayant une compréhension détaillée de leur fonctionnement et de leur utilisation dans des contextes variés.

Les équipes de Saclay développent des outils qui ont comme cible d'être intégrés dans des cycles de développement de production.

L'enjeu de ce troisième défi est de contribuer à l'émergence d'une nouvelle génération de programmeurs qui maîtrise les techniques avancées de développement. Saclay du fait de son ancrage fort dans la formation en particulier en master a l'opportunité de contribuer fortement à ce défi en développant son offre d'éducation, en particulier, en l'ouvrant sur la formation continue.

Verrous fondamentaux associés à ce défi :

- adaptation des méthodes aux langages métiers cibles, en particulier pour les appliquer dans des projets interdisciplinaires autour de l'énergie du transport et de la santé
- développement de composants (librairies, preuves, etc) réutilisables
- automatisation des traitements et facilitation de leur composition, en lien avec le second défi pour les aspects fondamentaux
- intégration des méthodes formelles dans le processus de certification
- développement des techniques permettant le passage à l'échelle.

Sécurisation des données et calculs distribués

L'enjeu de ce quatrième défi est d'assurer la sécurité des données et des calculs distribués.

La cryptographie, qui consiste traditionnellement à assurer l'intégrité, l'authentification, la confidentialité et le contrôle d'accès, reste au cœur de la sécurité, avec les algorithmes de chiffrement, de signature et de hachage, qui peuvent être utilisés de nombreuses manières différentes et détournées.

Avec le cloud, et le déport des calculs et des données sur des ressources distantes, qui ne sont pas automatiquement considérées comme sûres, des problématiques nouvelles apparaissent, selon que l'utilisateur d'un centre de calcul distant veuille protéger ses données, ce qui pose les questions de confidentialité, d'intégrité, d'anonymisation, de protection de la vie privée, de protection des consultations (Private Information Retrieval), mais aussi selon qu'il souhaite protéger ses traitements ou le résultat de ses traitements.

Verrous fondamentaux associés à ce défi :

- réalisation de progrès quantitatifs sur les primitives classiques (algorithmes de chiffrement, signature)
- conception de nouveaux mécanismes en présence de déport de calculs (signatures aveugles, calcul multipartite, cryptographie à seuil, protocoles de certification anonyme, chiffrement homomorphique, primitives d'obfusquation).

Propositions d'actions

Construire un pôle de recherche coordonné autour de la sûreté et sécurité du logiciel

Une communauté importante forte d'environ 200 chercheurs offre aujourd'hui sur le plateau un spectre large de compétences méthodologiques en sûreté et en sécurité allant du fondamental aux applications.

En particulier, ont été développés et disséminés des outils de vérification à haute valeur ajoutée (Frama-C, Coq, Orchids,…). Certaines de ces compétences sont cependant aujourd'hui dispersées géographiquement et structurellement. Un moyen d'augmenter leurs synergie et visibilité est de construire un grand pôle de recherche coordonné en sûreté et sécurité qui renforcera les coopérations entre équipes, organisera des conférences et écoles, mutualisera les plateformes et outils, facilitera à terme la reconfiguration d'équipes.

Contribuer à l'intégration des aspects liés à la sûreté et sécurité du logiciel dans des domaines d'applications prioritaires

La présence exponentiellement croissante de logiciel dans des applications prioritaires comme l'énergie, le transport et la santé, rend cruciale la vérification des propriétés de sûreté au fur et à mesure de leur intégration. L'expérience acquise dans le domaine du nucléaire ou aéronautique devrait être utile pour les domaines émergents concernant la santé et l'automobile. Ce processus nécessite de développer des partenariats avec des entreprises par exemple via des chaires industrielles, la proposition de projets communs type H2020 ou la création de laboratoires communs[24]. Il est également important, tant pour la recherche que la formation, d'attirer de nouvelles compétences dans des domaines transverses comme la cyber-sécurité au travers de programmes de type chaire d'accueil.

Accompagner le développement logiciel en vue de son transfert

La recherche académique fournit des outils novateurs qui restent trop souvent à l'état de prototype développé par un chercheur unique, puis abandonné après son départ. Un enjeu majeur est d'accompagner la production d'outils afin de pérenniser leur utilisation et préparer leur exploitation dans des contextes industriels. Cela peut être réalisé par le recrutement d'ingénieurs de soutien ou l'octroi de bourses de type « code consolidator » (comme celà se fait dans le lidex CDS).

Coordonner l'offre de recrutement et de formation

La constitution d'une communauté forte, thématiquement ciblée, constitue une opportunité pour disséminer une culture en sûreté et sécurité du logiciel au travers d'une formation doctorale coordonnée et d'un catalogue d'offre commune de formation continue, en particulier concernant les plateformes logicielles et la cyber-sécurité.

2.3 Interaction homme-machine et robotique interactive

Au fur et à mesure que le numérique envahit tout le champ des activités humaines, nos moyens d'échange et de communication avec le monde numérique se multiplient et se diversifient, comme se multiplient les médiations numériques entre humains ou entre l'humain et le monde physique, aussi bien du point de vue de la perception que du point de vue de l'action. Nous sommes ainsi en permanence engagés, consciemment ou à notre insu, dans une myriade d'interactions avec le monde numérique, ces contacts allant du plus sporadique au plus persistent (exosquelette, lunette à réalité augmentée).

Défis du domaine

Des interfaces intuitives, adaptatives, intelligentes

Dans ce contexte, un premier défi est de concevoir des interfaces plus intelligentes et plus intuitives, adaptatives et adaptables; capables d'apprendre et de s'adapter à des multiplicités (voire à des collectifs, co-présents ou distants) d'usagers, du plus au moins expert, du plus au moins dextre, du plus au moins empêché; capables également d'être adaptées, appropriées et détournées par ces mêmes utilisateurs; capables enfin d'informer en retour, de manière transparente et non disruptive, sur les services offerts, mais également sur leur état interne, sur leur mode de fonctionnement ou encore sur les données qu'elles collectent : dans la palette toujours plus vaste des signaux disponibles pour effectuer ce retour d'information (par l'image, le son, la pression, les mouvements, les vibrations), il

[24] Un exemple de telle action est le laboratoire commun ProofInUse (http://www.spark-2014.org/proofinuse/) financé par l'ANR dont l'objectif est de déployer dans un cadre industriel des outils de vérification s'appuyant sur des preuves mathématiques.

faudra savoir, en contexte, opérer les choix idoines, en réutilisant au mieux les modalités (geste, parole, toucher) d'interaction naturelles de l'être humain. Dans un environnement peuplé d'interfaces connectées en réseau, leur capacité à s'inter-opérer, à s'informer et s'enrichir mutuellement, idéalement de manière transparente, compréhensible et appropriable pour l'humain, sera décisive, afin que cette invasion numérique reste vécue positivement par les utilisateurs.

Multimodalité, robustesse

Un second défi majeur est celui posé par l'intégration d'informations multimodales, permettant à la machine de tirer au mieux parti des multiples sources de capture d'information (vision, haptique, audio, parole, mouvement) et de calcul dont elle est dotée afin d'assister, de manière efficace, l'humain dans des tâches toujours plus complexes. Ainsi, les interactions verbales exigent de détecter, d'intégrer et d'interpréter des signaux linguistiques et paralinguistiques (émotions, expressions faciales, gestes, postures) subtils impliquant des dimensions sociales et culturelles, de raisonner à partir de ces signaux pour construire une représentation des intentions, désirs et émotions des interlocuteurs humains, et de générer ensuite des réponses réalistes et des actions appropriées. L'étape d'intégration est essentielle pour réduire l'incertitude sur les signaux d'entrée et pour interagir efficacement avec des environnements variés et dynamiques; elle demande toutefois des efforts accrus de modélisation de l'humain à tous les niveaux (physiologique, cognitif, comportement social) pour atteindre une robustesse suffisante des estimations. Les dispositifs de synthèse de comportements anthropomorphes bénéficieraient également grandement d'une telle modélisation.

Sécurité, sûreté des interactions

Un troisième défi est relatif à la robustesse, à la fiabilité et à la sécurité de fonctionnement de nos assistants artificiels. L'intégration d'assistants numériques au sein d'environnements critiques (cockpit d'avion, centre de contrôle aérien, salle d'opération, etc), leur déploiement au contact des humains les moins experts et les plus fragiles (assistance à domicile pour les personnes âgées, garderie d'enfants), leur prise en charge partielle des fonctions corporelles donnent une nouvelle résonance à ces questions. Comment établir la confiance envers des compagnons numériques de plus en plus autonomes ? Comment assurer une bonne coordination et une division du travail efficace entre la machine et l'humain, en s'assurant que les limites et limitations de l'un sont bien comprises par l'autre, que les défaillances de l'un ne menacent pas l'intégrité physique de l'autre ? Comment engager humains et machines dans des processus réellement collaboratifs sur la durée en développant les capacités d'adaptation à l'utilisateur, de mémorisation des échanges et de l'apprentissage à long terme ?

Design et conception centrés sur l'humain

Pour affronter ces questions et y répondre au mieux en fonction des contextes applicatifs et des publics visés, un quatrième défi est celui de la refondation des méthodologies de design et d'évaluation des interfaces, dont l'utilisabilité et l'acceptabilité ne pourront être assurées que si l'humain, dans toutes ses dimensions est mis au centre du processus de conception. Il sera en particulier essentiel d'intégrer, dès les premières étapes, des connaissances relatives aux mécanismes de bas-niveau (boucles de commande) et de plus haut-niveau (organisation, décision), qu'ils soient physiques ou cognitifs, impliqués dans les interactions humaines, mais également de prendre en compte l'intégralité du contexte "exécutif" de l'interaction et de l'engagement de ceux qui y participent, ce qui demande d'aborder des questions relatives à l'allocation de ressources (sélection de l'action, attention, mémoire de travail), à la prise de décision dans des situations de conflit ou de stress, à la planification, etc. En outre, l'étude approfondie des usages et les approches participatives devront nourrir le processus de conception pour créer des technologies qui augmentent réellement les capacités humaines.

Les questions de recherche relatives à ce thème sont donc multiples et profondes : leur caractéristique commune est qu'elles ne pourront être correctement abordées que si se mettent en place des collaborations de recherche pluridisciplinaires effectives, au sein d'équipes associant des spécialistes des sciences de l'information, avec d'une part des experts capables de maîtriser la physique des capteurs et des effecteurs embarqués, d'autre part des chercheurs en bio-mécanique, en neurosciences, ainsi qu'en psychologie, en ergonomie ou en sciences humaines. Cette culture de l'interdisciplinarité doit être encouragée dès les premières étapes de la formation.

Recommandations d’actions

L'émergence à Paris-Saclay d'un grand pôle de recherche coordonnée sur les problématiques relatives à l'interaction homme-machine et à la robotique interactive est une condition nécessaire qui permettra d'exprimer au mieux le très riche potentiel humain du site, d'exploiter de façon optimale les plateformes expérimentales et les installations disponibles, enfin de faire fructifier le potentiel de transfert et d'innovation. Plusieurs actions doivent être menées en parallèle, elles sont développées ci-dessous. Avant de les détailler, signalons qu'il existe d'autres leviers à actionner, en particulier du côté de la formation, où il y aurait matière à développer des formations pluridisciplinaires associant plus étroitement les élèves d'écoles d'ingénieur du plateau, qui ne sont que trop peu exposés à ces problématiques durant leur formation : on pourra, ici encore, s’appuyer sur les plateformes et équipements disponibles au sein des laboratoires du site.

Un programme de recherche collaboratif pour l’interaction et la robotique

La première recommandation porte sur la mise en place d'un large programme de recherche collaboratif pour répondre aux défis listés ci-dessus, d'une ambition comparable aux actions déjà initiées par l'IDEX. Ce programme pourrait s'organiser en cinq grands axes de recherche choisis soit parce qu'ils recoupent des collaborations déjà existantes (par exemple au sein de l'Équipement d'Excellence DIGISCOPE, ou au sein de la Structure Fédérative de Recherche Demenÿ-Vaucanson), soit parce qu'ils s'appuient sur des équipements et des forces humaines particulièrement bien représentées sur le site. Ces axes sont les suivants: "Interaction en grand", "Interaction par le mouvement", "Interaction verbale et non-verbale", "Robotique Interactive et Télé-Opération", "Interaction Multi-Robots collaboratifs". Ce projet pourra s'appuyer sur une implication forte de nombreux laboratoires académiques (IBISC, Inria, L2S, LIMSI, LISV, LRI, LTCI, SAMOVAR) ainsi que de l'ENSTA/U2IS, et compter également sur le soutien des laboratoires et équipes de recherche du CEA/LIST et de l'ONERA.

Développer le réseau des plateformes

Pour valider les recherches sur les thèmes de l'interaction homme-machine, il est nécessaire de mener des travaux expérimentaux impliquant des interactions réelles entre un sujet humain et un système de traitement. Pour que ces expériences soient significatives, des plateformes expérimentales dotées des technologies (logiciels, matériels, grappes de calcul et de stockage, réseau, capteurs, actionneurs, afficheurs) les plus récentes sont indispensables, sauf à renoncer à l’ambition d’une recherche d’excellence. Les investissements pour implanter ces plateformes sont lourds, et leur administration et leur maintenance exigent des ressources en personnel technique (techniciens, ingénieurs). Si les équipements aujourd’hui disponibles à Paris-Saclay sont exceptionnels, il faut prendre acte de la difficulté d’obtenir et de pérenniser les supports de postes de soutien à l’activité expérimentale. La recommandation est que les établissements partenaires du département STIC développent une meilleure coordination pour allouer, répartir et utiliser ces ressources (les équipements comme les équipes de support), à l’instar de ce qui est mis en œuvre au sein de l’équipex DIGISCOPE, de manière à ce que les investissements qui ont été consentis pour construire et déployer les plates-formes de l’Université Paris Saclay puissent être complétés par des financements récurrents et des postes permanents, ce qui permettra d’optimiser leur utilisation et de maintenir une recherche de pointe.

Un comité d’éthique pour les sciences du numérique

Une part significative des recherches menées dans le domaine de l'interaction homme-machine repose sur des données ou expériences impliquant des participants humains. Ces travaux posent des questions éthiques, spécifiques au domaine des STIC et l'absence d'un cadre de protection adapté permettant de traiter ces questions fait courir des risques à ce type de recherches. En particulier, les financeurs publics (Europe, ANR, etc.) imposent de plus en plus souvent le recours à des IRB (“Institutional Review Boards”), qui n'existent pas aujourd'hui pour le type d'expérimentations conduites dans le domaine de l'interaction homme-machine ou de la robotique interactive. Les comités d'éthique des organismes représentés sur le périmètre Paris-Saclay ne sont pas adaptés, soit parce qu'ils ne traitent pas de questions opérationnelles d'éthique (CNRS), soit du fait de leur périmètre thématique très éloigné (INSERM). Cette recommandation reprend une préconisation du rapport 2014 de la CERNA et a pour

objectif la création d'un comité d'éthique local Paris-Saclay pour encadrer les recherches en sciences du numérique impliquant des participants humains, à mettre en place à partir de 2016.

2.4 Systèmes en réseaux

Enjeux du domaine

Les systèmes en réseaux, qu'ils s'incarnent sous la forme de systèmes embarqués, de réseaux de communication fixes et mobiles ou d'internet des objets sont au centre des préoccupations STIC aujourd'hui. Comment interagit l'être humain dans ce lacis d'objets connectés ? Comment créer des données en masse sinon en les mesurant et les recueillant en divers points? Comment les acheminer de manière fluide là où elles seront traitées puis interprétées ? Comment assurer la sécurité de ces systèmes qui s'étendent sur de larges zones et qui sont exposés à un nombre croissant d'utilisateurs ? Les défis que posent les systèmes en réseaux sont omniprésents et touchent tous les domaines des STIC.

Plus spécifiquement, il s'agit de résoudre les questions de capacité et d'architecture que posent de tels systèmes : comment les faire fonctionner de manière efficace, résiliente, souvent hétérogène ? Comment respecter leurs contraintes extrêmes en temps réel, en énergie, en autonomie ? Comment, à titre d'exemple, un nombre toujours croissant d'objets connectés souvent mobiles communiquent-ils dans la ville, dans l'usine ou dans l'hôpital, avec un spectre de fréquences souvent limité de manière économiquement viable ? Chaque exemple d'application posant des contraintes différentes de performances, de sécurité ou de protection de la vie privée. Il est également nécessaire d'établir des méthodes et des outils pour l'architecte, le développeur ou l'inventeur pour concevoir simuler, émuler, puis tester et vérifier de manière efficace, sûre, et compétitive.

Les enjeux sociétaux sont à la mesure de ces défis. La ville aujourd'hui croît et change avec de multiples applications numériques nouvelles, voire perturbatrices, impliquant l'usager/citoyen constamment connecté, le transport multimodal ou des services intelligents. Les campagnes doivent elles aussi être repensées, avec une agriculture maîtrisée dans un écosystème complexe et respecté. De même nos usines se transforment et se restructurent autour de machines communicant avec d'autres machines. Bref, le monde numérique s'accélère, nécessitant l'élaboration de systèmes souples, ouverts, transparents, pouvant changer d'échelle, et pouvant accueillir les objets communiquant les plus divers.

Dans ce contexte, les laboratoires partenaires du département STIC s'associent pour s'attaquer aux quatredéfis scientifiques et techniques majeurs décrits ci-dessous.

Institut de la 5G et des réseaux du futur

Parmi les principaux défis scientifiques et techniques déjà identifiés, l'Institut a l'intention de répondre aux questions d'une demande toujours croissante (en termes de capacité, débit, exigences de latence), d'une forte hétérogénéité (terminaux, équipements, technologies), d'une connectivité massive, d'une large gamme d'applications, mais en premier lieu à la nécessité d'optimiser la consommation d'énergie et de garantir la sécurité et la vie privée. Au sein de cet Institut, les partenaires du département STIC se focaliseront tout d'abord sur deux verrous essentiels :

- **Haute performance énergétique** : réduire la consommation d'énergie du réseau est une exigence essentielle de 5G. Cela permet de réduire le coût total du déploiement, de faciliter l'extension de la connectivité réseau aux zones reculées et fournit l'accès au réseau d'une manière économe en ressources. Pour cela il s'agit de gérer *i)* les ressources par l'activation sélectives des stations de base, le contrôle de puissance ou l'accès opportuniste au spectre et *ii)* le réseau grâce à des architectures virtuelles centralisées («fog computing», SDN…) ou auto-organisées décentralisées..
- **De la Qualité de Service (QoS) à la Qualité d'Expérience (QoE**) : la QoE de l'utilisateur est influencée par un certain nombre de facteurs tels que le débit, la latence, la fiabilité, la durée de vie de la batterie, de la sécurité et de la couverture du réseau. Pour cela la 5G va développer la

notion de «densité de capacité» (en Mbits/km²) en augmentant de la largeur de bande des canaux radio, en améliorant son efficacité spectrale, en densifiant le déploiement par l'usage de petites cellules (femtocells), de relais (mobiles), de communications « Device to Device » ou de réseaux hétérogènes..

Moyens et actions à mettre en œuvre

Issu de relations existantes (par exemple le projet Digiteo NC4Wireless, l'axe Comex du labex Digicosme, la proposition de projet Idex WirelessUbiquity), l'Institut de la 5G sera un institut sans mur qui aura un rôle de facilitateur pour la communauté de la recherche et de l'innovation. L'ambition est de le faire monter en puissance graduellement pour devenir l'institut français de référence qui offrira un support exceptionnel pour renforcer :

- les coopérations recherche académique – industrie, en fournissant un cadre et des ressources scientifiques pour les projets d'innovation et d'entrepreneuriat.
- un continuum recherche technologique – services en offrant le cadre pour la réflexion sur l'impact des nouvelles technologies mises en œuvre sur les applications coopératives ;
- Une articulation renforcée recherche – formation: en particulier plusieurs finalités de master actuelles proposent des formations centrées sur certains des aspects du périmètre envisagé et une vision globale permettra d'enrichir ces formations et, à terme, de proposer une offre plus réduite, plus homogène, aux parcours plus complets.

Les partenaires du département envisagent de s'appuyer sur un club d'industriels affiliés qui soutiendront les projets grâce à leur engagement financier. Ce club pourrait être renforcé par le montage d'autres projets tels qu'une chaire ANR ou des participations à de projets européens via l'institut.

Pour valider les projets de recherches développés dans l'institut, il est nécessaire de mener des travaux expérimentaux mêlant simulations et expérimentions physiques. L'institut collaborera avec ses partenaires en France et en Europe qui gèrent déjà de telles plate-formes et en particulier avec Eurecom pour bénéficier de ses capacités expérimentales sans dupliquer les infrastructures existantes

Sécurité des réseaux

La généralisation de la mise en réseau des systèmes, et plus particulièrement à travers des connections sans fil, rend toujours plus crucial de s'assurer de la sécurité de ces connections. Le second défi consiste donc à concevoir des solutions techniques pour protéger les infrastructures des réseaux contre la malveillance, garantir la sécurité des transactions électroniques sur tout type de réseaux (filaire/sans fil, fixe/mobile, avec/sans infrastructure), et bâtir des architectures et services de confiance et des applications qui prennent en compte les dimensions suivantes : sûreté du service rendu, respect de la vie privée, facilité d'intégration dans un écosystème technologique existant. Le département ambitionne de résoudre les principaux verrous suivant :

- Développer des mécanismes de défense (détection d'intrusions, politiques de sécurité, filtrage des informations) fiables et réactifs,
- Rechercher le meilleur compromis entre robustesse et performance des mécanismes de sécurité, et évaluer des vulnérabilités
- Automatiser les traitements en tenant compte du caractère multidisciplinaire parfois induit selon la thématique (e.g., protection des données personnelles)

Moyens et actions à mettre en œuvre

Les partenaires du département STIC ont pour ambition de soutenir les projets de recherche sur le défi de la sécurité des réseaux d'abord à travers leur moyens propres ainsi qu'à travers la participation à des projets collaboratifs sous l'étiquette du département et en s'appuyant sur les moyens d'animation du département et de l'université afin de conserver la dynamique des partenaires.

Dans le domaine de la sécurité des réseaux, il est impératif, pour valider les performances des outils développés de pourvoir les tester expérimentalement sur une plateforme dédiée. Une telle plateforme nécessite des moyens performants sans pour autant apporter de valeur ajoutée autre que celle de valider les résultats. C'est tout à fait un outil qui doit être mutualisé au sein du département. Une telle plateforme participera à l'animation du département car elle pourra être ouverte pour créer un challenge régulier ou chacun pourra tester la résistance des outils développés

Nouvelles architectures, méthodes et outils

Les ordinateurs peuvent traiter beaucoup de données, mais ils ne pensent pas vraiment. Ils adhèrent tous au modèle d'architecture de Von Neumann, en grande partie inchangée depuis un demi-siècle, dans lequel les ordinateurs sont construits en séparant la mémoire et le traitement et qui fonctionne en exécutant une série de fonctions logiques. Complètement adapté aux composants à base de CMOS, ce type de modèle est inadéquat pour des composants proposant des fonctions plus avancées et surtout pour répondre aux exigences de sens que requiert le «big data». Les départements STIC et EOE se sont déjà associés autour de la plate-forme nanodesign pour co-concevoir des calculateurs et leur architecture dans une vision dépassant le carcan des architectures de type «von-Neumann». Mais il reste un verrou important pour l'usage de ces nouvelles architectures (neuromorphiques ou quantiques), celui de les programmer de manière efficace en concevant des langages « haut niveau » adaptés

Moyens et actions à mettre en œuvre

L'environnement de l'Université Paris-Saclay, avec les nombreuses équipes de toutes disciplines travaillant sur les différents domaines du numérique, est un écosystème remarquable pour l'émergence de nouvelles idées et la découverte de systèmes de calcul. Depuis juillet 2013, les départements EOE et STIC ont constitué une plateforme dédiée à conception matérielle/logicielle de nanosystèmes parmi lesquelles des nouveaux systèmes de calcul. Les partenaires du département STIC vont s'associer plus étroitement à cette initiative pour étendre la co-conception aux langages de programmation pour optimiser le développement de langages simples et économiques adaptés à ces fonctions complexes et vice-versa. Le département STIC envisage d'augmenter sa participation à l'issue de la première phase de la plateforme et de s'investir conjointement dans les actions collaboratives au niveau international.

Internet des objets - en collaboration avec le département EOE

Situé à la frontière de champs disciplinaires multiples, l'Internet des objets (IoT) implique, dans son acception la plus large, composants, capteurs, intelligence embarquée, transmission sans fil temps réel, calcul haute performance, gestion intelligente des données. Avec l'accroissement des domaines d'application de l'IoT (manufacturing, santé, ville/maison intelligente…), un nombre considérable de capteurs seront déployés dans le futur. Les coûts de déploiement et d'entretien, en particulier celui du remplacement de la batterie de ces capteurs, vont devenir importants. Par conséquent, le premier défi qu'il faut résoudre consiste à concevoir des technologies de capteur qui requièrent un minimum d'effort à déployer et à maintenir et une faible puissance voire pas de puissance (capteurs passifs). C'est essentiellement à travers des réseaux sans fil que se connectent ces nouveaux capteurs, ce qui pose d'énormes défis en terme de sécurité et confidentialité mais aussi en terme de d'efficacité énergétique (nombre de bits nécessaires pour transmettre un bit de donnée) et de qualité de service en particulier pour assurer un service temps réel. Aussi, l'Internet des Objets va générer des flots de données auxquelles il va falloir donner du sens en exploitant les moyens de calcul répartis avec chaque capteur.

Moyens et actions à mettre en œuvre

Une communauté de recherche importante, répartie principalement entre les départements STIC et EOE, offre aujourd'hui au sein de l'Université Paris-Saclay un large spectre de compétences recouvrant l'ensemble du domaine. En particulier ont déjà été développés un grand nombre de capteurs, des protocoles de communications sécurisés et basse énergie mais aussi des outils logiciels (RIOT). Cependant ces compétences sont aujourd'hui thématiquement « cloisonnées ». L'objectif est de créer un grand pôle de recherche interdépartements afin de créer cette synergie qui permettra de se hisser au meilleur niveau dans ce domaine. Ce pôle pourra dans un premier temps profiter de la dynamique autour de l'usine numérique pour proposer une plateforme de référence dans le domaine permettant d'expérimenter des solutions innovantes.

2.5 Modélisation et simulation des signaux et des systèmes

À la confluence des grands défis de société se pose naturellement la question de la modélisation afin de garantir une prise de décision éclairée de la compréhension des causalités gouvernant les phénomènes ainsi que leur prédiction. L'axe stratégique modélisation et simulation des signaux et des systèmes a pour objectif de répondre à cet enjeu en concevant les méthodes et les outils STIC nécessaires à cette compréhension. L'ambition est de forger un cadre collaboratif d'excellence en modélisation capitalisant les résultats fondamentaux et appliqués acquis de domaines prioritaires. Les actions ont pour objectif de fédérer une communauté en coordonnant une dynamique de recherche à/entre deux niveaux: spécifique aux domaines prioritaires, et intégrative sur le thème de l'axe.

L'essor de cette stratégie de recherche se fonde sur : la complémentarité d'expertise des différents acteurs, la pluralité des objets d'études des domaines prioritaires, ainsi que sur une couverture thématique des chaînes "données, modèle, usage, prise de décision" et "perception, réflexion, action".

Son développement s'appuiera sur quatre domaines prioritaires, **les sciences de la vie, l'énergie, les sciences de l'homme et de la société** et **l'industrie du futur.** Ces domaines possèdent sur le site de Paris-Saclay une dynamique de recherche importante favorisant les collaborations interdisciplinaires avec une forte demande en modélisation garantissant la pérennité des actions engagées. Les défis de la modélisation étant autant méthodologiques que disciplinaires, nous considérerons aussi d'autres domaines pour lesquels l'excellence des travaux est indispensable à la montée en puissance des méthodes.

Défis Méthodologiques

Fondements de la modélisation

Il s'agit de traiter de questions fondamentales relatives au cadre de modélisation pour des systèmes et des signaux multimodaux. Ce défi s'appuie sur les réalisations au sein des domaines prioritaires en les unifiant afin de faire émerger des solutions répondant à des problématiques générales. Parmi les verrous d'intérêt on peut identifier : les systèmes de systèmes, la robustesse, la modularité, la modélisation en contexte d'incertitude (rupture, événements rares, viabilité, perturbations, dynamiques non modélisées), la modélisation des signaux multimodaux, le couplage de modèles (multi-modélisation et modélisation multi-échelle), les problèmes de grande taille, les problèmes inverses, la réduction de modèle, l'identification.

Ingénierie des modèles et simulation

Ce défi s'intéresse aux réalisations relatives aux environnements et à l'exploitation des modèles. Son objectif est de passer de la modélisation mathématique d'un phénomène à un outil numérique exploitable au sein d'une chaîne de prise de décision. Il s'agit donc de résoudre des problèmes computationnels relatifs à la performance des méthodes ainsi que de concevoir des environnements

facilitant la tâche du modélisateur. L'enjeu est d'être à même non seulement de proposer des outils numériques adaptés mais aussi de promouvoir de nouveaux usages de la modélisation. Relever ce défi signifie d'être capable de se positionner à l'intersection entre la modélisation (physique, biologique, etc.), l'algorithmique, l'optimisation, l'intégration de données, les architectures matérielles et logicielles, les systèmes d'acquisition de données, d'analyse, d'imagerie, d'inversion, de diagnostic et de prise de décision.

Couplage Modèle Contexte

Ce défi pose la question de l'usage des modèles dans leur contexte et de la rétroaction dans cet usage, notamment dans un processus de prise de décision. Il faut bien sûr intégrer pleinement l'humain, dont les connaissances complètent les données observables, dans les systèmes considérés. Mais ce défi a plus généralement pour objectif de comprendre la manière d'intégrer le modèle dans le contexte de son usage (e.g., chaîne CFAO).

Défis Applicatifs

Sciences de la vie

Les progrès de la connaissance dans les sciences du Vivant, amplifiés par l'essor des technologies d'observation du vivant (génomique, imagerie, nouvelles «omiques», images satellitaires, etc.), induisent actuellement une mutation profonde dans l'étude du vivant. Cette mutation requiert clairement la nécessité de concevoir des cadres computationnels et systémiques, pour interpréter, exploiter et tirer parti de ce déluge de données hétérogènes. Elle place donc la modélisation comme un levier significatif pour le développement des Sciences de la Vie afin d'élucider la complexité systémique des organismes. Cette approche est requise à toutes les échelles du Vivant : de la molécule à l'organisme en s'étendant aux écosystèmes et plus généralement au couplage organismes/environnement. Les résultats attendus ont des retombées naturelles dans les domaines de la santé (médecine de précision, santé publique, cancer, etc.), des biotechnologies (biologie de synthèse, bioéconomie, etc.) et des défis liés à l'environnement et l'agronomie face au changement climatique.

Énergie

Le défi en énergie a pour objectif de réduire la consommation d'énergie par son utilisation intelligente et durable en garantissant un approvisionnement en électricité à faible coût tout en réduisant les émissions de carbone. La modélisation ouvre la voie de l'intelligence énergétique dont l'enjeu est de se doter de capacités de prédictions fiables sur de grandes échelles de temps pour des systèmes de grandes tailles distribués sur de larges territoires (région, pays, continent) afin d'instruire la prise de décision servant à leur contrôle. Outre ces caractéristiques, ces systèmes sont aussi parfois soumis à des aléas de diverses natures (stochastiques, scénarisées) dans des conditions d'apparition de phénomènes sous-caractérisés en situation réelle (e.g., paramètres des réseaux en courant alternatif) qui complexifient leur modélisation.

Sciences de l'homme et de la société

La modélisation en sciences humaines et sociales présente des particularités méthodologiques uniques, relatives à la conceptualisation de l'immatériel et à l'observation d'un milieu dont on fait partie. Elle soulève donc la question de l'objectivation et de la validation des modèles, tenant compte de la proximité entre l'objet d'étude et la culture du sujet l'analysant (neutralité axiologique). Outre les aspects prédictifs, les modèles cherchés doivent permettre l'interprétation du phénomène étudié; ils doivent aussi être analysés en termes de causalité, en vue de recommandations ou d'applications normatives. Ceci conduit à une recherche complexe de procédures argumentatives formelles intégrant l'analyse de données à une herméneutique des connaissances et croyances du domaine. Par ailleurs, l'extraction des données pose des problèmes d'acquisition (données textuelles, hétérogènes, longitudinales sur plusieurs décennies, ...). Enfin, au cœur de la jonction STIC-SHS réside la modélisation des effets de la

révolution numérique (éducation - MOOC, confidentialité, économie des bitcoins, ...) appelant une approche interdisciplinaire entre STIC et SHS.

Industrie du futur[25]

L'industrie va connaître des bouleversements importants essentiellement dus à l'avènement de l'internet des objets et à la numérisation de la chaîne de valeur (production, équipements et logistique). Plus connectée, plus agile et réactive aux besoins de ses clients, plus respectueuse de son environnement et des individus qui y travaillent, l'industrie du futur s'appuiera fortement sur la modélisation de la chaîne de valeur, des procédés, ainsi que des processus de pilotage de la qualité. La ré-industrialisation à l'échelle nationale et européenne se traduit par la mise en place des outils numériques offrant une assistance dans les phases de conception et de production et passe par la mise en connexion de chaînes de modélisation multi-disciplinaires. Un objectif est également de rendre les systèmes de conception et de production proactifs et adaptatifs dans le contexte d'une personnalisation de plus en plus importante des produits manufacturés.

Actions & Recommandations

- Définir une structure fédérative d'animation au travers d'un Institut (sans mur) sur la thématique de l'axe. Cet instrument d'animation et de collaboration apparaît indispensable étant donné la nouveauté de cet axe afin de rassembler les chercheurs en modélisation.
- Établir un ensemble de challenges autour de problèmes fédérateurs tels que la modélisation multi-échelle, l'étude de problèmes inverses, l'optimisation, la réduction et couplage de modèles.
- Développer un programme de Chaire (senior, junior) pour que l'université de Paris Saclay soit le lieu d'attraction en ce domaine.
- Soutenir les actions visant à développer l'attractivité de la modélisation auprès des étudiants: MOOC, Ecoles d'été, projets d'étudiants ….
- Orienter les thèmes d'actions plus spécifiques sur des titres des projets européens afin d'identifier l'Université Paris-Saclay comme un partenaire leader possédant une masse critique de chercheurs pour ces projets, par exemple, des sujets couvrant les thématiques «systèmes auto-organisés» ou «coordination à l'échelle du système» et centre de compétences en «biologie du système humain » et « médecine de précision».

[25] http://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/industrie-du-futur_dp.pdf