

gramme de démonstrateur sur les systèmes propulsifs à fort taux de dilution ;

- les turbopropulseurs utilisés pour l'aviation commerciale régionale (ATR) ou pour l'aviation militaire (A400M) ;
- les turbomoteurs utilisés pour les hélicoptères. Des travaux initiés par Eurocopter et Safran Turbomeca portent notamment sur les turbomoteurs forte puissance (gain de consommation, gains environnementaux, amélioration du rapport puissance/masse).

À noter que les technologies de turbomachines sont très proches des turbines utilisées dans le domaine de l'énergie et certains motoristes ont développés des gammes de turbines dédiées à ce marché.

Enjeux et impacts

Les enjeux concernent essentiellement la réduction des émissions polluantes et des gaz à effet de serre. Ainsi, les objectifs fixés par l'Acare (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe) pour 2020 imposent au transport aérien de réduire les émissions de CO₂ de 50 %, de NOx de 80 %. Ces objectifs sont pour beaucoup tributaires de l'amélioration des performances énergétiques des turboréacteurs couplée à l'avènement de nouveaux carburants à faible impact en termes de rejets.

Un des autres enjeux concerne la limitation des nuisances sonores. À nouveau, l'Acare fixe des objectifs ambitieux pour 2020 avec une réduction du bruit perçu de moitié par rapport aux niveaux d'aujourd'hui.

L'enjeu économique est de taille puisque l'industrie des turbomachines et plus généralement l'industrie aéronautique est particulièrement développée en France, 80 % de son chiffre d'affaires est réalisé à l'export. Les vingt prochaines années, ce ne sont pas moins de 30 000 avions de ligne qui devraient être mis en service dans le monde [5.36].

Acteurs

- **Recherche** : Onera ; Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (Isae) ; Laboratoire de mécanique des fluides et d'acoustique (LMFA) – Ecole centrale de Lyon ; Complexe de recherche interprofessionnel en aérothermochimie (Coria) – Université de Rouen, CNRS...
- **Pôles de compétitivité et réseaux** : Aerospace Valley, Astech, Gifas, Corac (Conseil pour la recherche en aéronautique civile)
- **Industriels français** : Safran Snecma (notamment à travers la joint venture CFM International créée avec General Electric), Safran Turbomeca, Safran Aircelle, Airbus, Dassault Aviation, Eurocopter

Position de la France

La France dispose d'acteurs majeurs dans le domaine de l'aéronautique, et notamment pour ce qui est des turbomachines à travers Safran et ses différentes filiales. Les activités de Safran en font d'ailleurs le quatrième motoriste mondial, derrière General Electric, Rolls-Royce et Pratt & Whitney. Il est à noter que la collaboration entre Snecma et General Electric est un exemple réussi de coopération industrielle entre la France et les États-Unis. Suite au succès du CFM56 l'alliance CFM International a été reconduite jusqu'en 2040 et s'attache désormais à développer le Leap-X.

Le monde académique et la recherche sont aussi bien développés : l'Onera et les nombreux laboratoires en mécanique des fluides et énergétiques contribuent largement au développement des turbomachines pour l'industrie aéronautique européenne.

Analyse AFOM

Atouts

Safran Snecma est un challengeur sur le marché mondial (moteurs d'avions), Safran Turboméca un leader (moteurs d'hélicoptères).

Faiblesses

Offre peu développée pour les turboréacteurs de faibles puissances, autonomie réduite liée aux coopérations internationales.

Opportunités

Renouvellement des avions vers des gammes plus sobres et respectueuses de l'environnement.

Menaces

Concurrence mondiale sévère, marché de l'aéronautique mondial lié aux taux de change.

Recommandations

La principale recommandation concerne le soutien financier pour le développement des grands programmes de démonstrateurs afin de permettre ainsi aux acteurs français de continuer la course dans le peloton de tête. L'étude des carburants alternatifs doit être renforcée dans le développement de la filière.

Liens avec d'autres technologies clés

41

56

65

68

Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input checked="" type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input checked="" type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input checked="" type="radio"/>	Fort



61. Interaction homme-machine, ergonomie

Description

L'interaction homme-machine constitue, sinon une technologie, un savoir et un savoir-faire nécessaires à la mise en œuvre des aides à la conduite dans le domaine automobile, des assistances au pilotage en avionique et dans le domaine naval, du poste de conduite des trains et transports guidés, des systèmes d'aide aux chauffeurs routiers, et enfin à une meilleure supervision des systèmes (salles de contrôle, logistique). La question du rôle de l'humain dans la décision est centrale dans la conception des interfaces, et la compréhension de l'interaction entre opérateur et « machine » est un maillon important de la conception des systèmes, la composante humaine étant alors partie prenante du système. La limitation de la charge sensorielle, du stress des opérateurs est une qualité primordiale dans la conception des systèmes complexes ou critiques.

Ces savoir-faire sont fortement liés à une meilleure connaissance du comportement de l'opérateur sur la base de travaux académiques notamment.

D'un point de vue purement technique, de nouvelles technologies, ou du moins leur diffusion plus large, servent ces ambitions en termes d'interaction. Par exemple :

- interfaces tactiles (écrans, surfaces, etc.) dont l'usage est largement démocratisé par les téléphones mobiles ;
- interaction vidéo par reconnaissance de gestes, analyse de visages, d'attitudes, etc. ;
- interaction vocale ;
- retour d'information haptique, sonore ou visuel ;
- affichage tête haute.

La place des appareils nomades comme interface disponible entre un opérateur ou un usager et le système de transport est ici pleinement posée.

Les questions d'acceptabilité sociale et juridique des interfaces et des fonctions qu'elles sous-tendent sont également posées dans ce cadre. Elles conditionnent directement la capacité d'un produit ou service à remplir sa fonction de manière efficace.

Applications

Non spécifique au transport, cette technologie ou méthodologie est critique pour des domaines aussi différents que le pilotage d'un réseau d'énergie ou de transport (enjeu d'efficacité ou de sécurité) et l'interaction sur ordi- phone (enjeu commercial). De manière non exhaustive, les applications peuvent être :

- aides à la conduite pour les usagers automobiles (particuliers) ou les professionnels (camion, bus, train, tram...) ;
- pilotage non intrusif des systèmes de confort à bord des véhicules (téléphone mobile, navigation, systèmes multimédia...) ;

- poste de conduite des navires ;
- poste de pilotage des avions ;
- salles de contrôle des systèmes de transport : opérateurs routiers, logisticiens, opérateurs de transports en commun, contrôle aérien ou maritime...

Le marché de l'interaction homme-machine, fondée en grande partie sur le service à mi-chemin entre design et ingénierie, est difficile à chiffrer.

Enjeux et impacts

La question du rôle de l'humain dans la décision est centrale dans la conception des interfaces. Ces connaissances sont diffusantes. Le besoin se fera sentir de plus en plus, tant la qualité de l'interaction est déterminante pour l'acceptabilité d'un dispositif par les utilisateurs. Aujourd'hui, la maîtrise et la compréhension de cette interaction sont considérées comme des facteurs différenciants d'une offre industrielle, voire un prérequis indispensable de la mise au point des systèmes.

En ce sens, il est difficile de circonscrire un marché pour cette technologie tant elle est diffusante. Ses impacts sont par contre immédiatement perceptibles sur la sûreté de fonctionnement des systèmes complexes (les secteurs hautement critiques du nucléaire, de la défense ou de l'aéronautique font figure de précurseurs en la matière).

La sécurité routière, et des transports en général, passe également par ces contraintes.

D'une manière générale, les effets de la bonne conception des interfaces se traduiront dans :

- la productivité sur les systèmes concernés ;
- la consommation énergétique potentiellement (travail sur l'éco-conduite par exemple) ;



Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

- la fiabilité des produits et des *process* ;
- les conditions de travail et leurs conséquences sur la santé des opérateurs...

On se doit de souligner que la bonne définition de l'interaction et des interfaces est un vecteur d'image fort pour l'entreprise.

Acteurs

Deux types d'acteurs se rencontrent sur ces questions, dans un dialogue indispensable pour en maîtriser les tenants et aboutissants. Les industriels intègrent des compétences de conception, d'ergonomie, en interaction avec les laboratoires académiques pour la compréhension des processus (ergonomie, psychologie, sociologie, etc.). Le développement technologique est également pris en compte, au service de l'interaction. Par nature, cette thématique est fortement interdisciplinaire et inter filières.

• **Tous systémiers et équipementiers :** Thales, Areva, EDF, EADS, Airbus, Renault, PSA Peugeot-Citroën, DCNS, Alstom, STX, SNCF, RATP, Renault Trucks, Valeo, Continental...

• **Sociétés spécialisés dans la conception des interfaces et fabricants d'interfaces :**

• **Laboratoires :** Inrets, Lamih, IRCCyN, École nationale supérieure de cognitive de Bordeaux, Université de Strasbourg, Inria

• **Plateformes des pôles de compétitivité :** System@tic, Mov'eo, Nov@log...

Position de la France

La France, à travers son industrie des grands systèmes critiques, occupe une position forte sur cette thématique. Cependant, force est de constater que la diffusion des compétences est aujourd'hui faible dans l'ensemble des filières industrielles.

Analyse AFOM

Atouts

Présence de compétences fortes chez les grands systémiers.

Existence d'un écosystème académique sur la question.

Faiblesses

Faible diffusion de la compétence et de la connaissance.

Opportunités

Prise en compte croissante de la qualité de l'interaction dans l'acte d'achat.

Recommandations

La clé du développement de ces technologies réside dans l'acquisition de connaissances et l'intégration de disciplines telles que la psychologie cognitive, par les industriels. À ce titre, il est recommandé de travailler en profondeur sur les usages à travers la mise en place de laboratoires des usages (*living labs*). Les conditions d'accès à ces laboratoires doivent permettre à l'ensemble des filières de développer des compétences et des connaissances pour une meilleure adaptation de leurs produits et services à l'usage qui en est fait, tant par les consommateurs que dans un milieu professionnel.

Par ailleurs, la diffusion des compétences, ou à tout le moins d'un certain niveau de connaissance, est à organiser au sein des filières ou des regroupements d'entreprises.

Liens avec d'autres technologies clés

17

18

66



Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



62. Optimisation de la chaîne logistique

Description

L'optimisation de la chaîne logistique concerne des technologies logicielles et matérielles, notamment liées aux systèmes d'information et à la communication.

L'objectif est d'optimiser tous les composants de la chaîne logistique, en partant du fournisseur de matière première jusqu'au client final, par une meilleure coordination des différents processus à mettre en œuvre : achats et approvisionnement, production, gestion des stocks, distribution, service client..., qu'ils soient séquentiels, simultanés ou indépendants.

Ces technologies comprennent aussi bien l'optimisation de la charge d'un camion que la réduction des temps morts lors des ruptures de charge :

- systèmes de chargement et outils de manutention tels que les transpalettes et gerbeurs ;
- organisation des entrepôts et automatisation des *process*, dont l'intégration des utilisateurs finaux et les impacts sociaux économiques qui en découlent ;
- architecture des véhicules (barges modulaires, wagons autotractés, véhicules urbains propres et silencieux...);
- outils de traçabilité : marqueurs et capteurs pour la réalisation d'un étiquetage intelligent (RFID, tags...);
- outils d'information en temps réel des professionnels;
- logiciels et méthodes d'optimisation des transports de bien (chargement, tournées, gestion des stocks et des entrepôts, planification, relation clients...): SCM, TMS, SCM, ERP, WMS, éco-comparateurs et éco-calculateurs....
- normalisation : poids et mesures des unités de transport intermodales : conteneurs, caisses mobiles, semi-remorques afin d'optimiser leur remplissage et le transfert modal ;
- éco-conception (conditionnement et emballages) : optimisation des palettes, des emballages et suremballages logistiques et du packaging.

L'optimisation de la chaîne logistique peut être réalisée à différents niveaux :

- niveau stratégique, à long terme (implantation et nombre des entrepôts, choix des fournisseurs, stratégie de production) ;
- niveau tactique, à moyen terme (prévisions, planification de la production, de la distribution et du transport) ;
- et enfin niveau opérationnel, à court terme et en temps réel (production, stockage, distribution et gestion de l'interaction des étapes).

En plus de la modification et de la complexification de la structuration des flux et des processus, certaines tendances vont amener à faire évoluer la gestion de la chaîne logistique :

- le partage des données de référence entre les différents intervenants, à travers des bases de données com-



munes et normalisées (les logiciels en mode SaaS et le *cloud computing* ont un rôle à jouer) ;

- les entrepôts mutualisés fabricants-distributeurs ;
- la distribution mutualisée en zone urbaine : les flux de transport dans les villes sont regroupés pour décongestionner les centres-ville ;
- la logistique ascendante (*bottom-up* ou encore « adaptative ») fondée sur des décisions locales, à la différence de la logistique verticale qui planifie et optimise à l'avance ;
- la prise en compte de la logistique des retours (« reverse logistique ») pour les problèmes de recyclage ;
- la tendance à l'intermodalité ou la multimodalité des différents réseaux de transport.

Applications

Tous marchés de la logistique, quel que soit le secteur (industrie, transport, santé) ou le mode (maritime, fluvial, messagerie, aérien, route...).

Elle comprend notamment :

- le transport de marchandises ;
- les activités d'opérations physiques (manutention) ;
- les activités d'entreposage ;
- et toutes les activités de pilotage et d'organisation opérationnelle de la chaîne logistique.

Enjeux et impacts

L'objectif de l'optimisation de la chaîne logistique est de réduire les coûts tout en améliorant la qualité de service. Pour cela, plusieurs leviers d'optimisation sont disponibles : configuration de la chaîne, coûts de distribution, processus, délais, niveau des stocks...

Face à la mondialisation des marchés, l'enjeu est donc économique et représente une source majeure de gain de productivité pour les entreprises du secteur. Un réseau logistique performant est toujours source de compétitivité. Le développement de l'intermodalité constitue par ailleurs un enjeu important pour le futur de la chaîne logistique. Par exemple, la seule suppression de la rupture de charge pour l'acheminement par rail entre le réseau électrifié et le point de desserte est de nature à faire gagner une part

Degré de diffusion dans l'absolu

● Faible diffusion
● Diffusion croissante
● Généralisation

Degré de diffusion en France

● Faible diffusion
● Diffusion croissante
● Généralisation



importante (jusqu'à 50 %) du prix du transport par rail. On pourra également citer l'apparition de préoccupations liées à l'écologie auxquelles peut répondre l'optimisation de la chaîne logistique par une meilleure gestion des ressources. À ce titre, la « green logistique » est actuellement un nouvel axe de travail pour les grands groupes des transports de marchandise qui n'ont plus besoin d'optimiser leur chaîne logistique. Enfin, en termes d'aménagement du territoire, le dynamisme industriel est indissociable de la facilitation des circuits de transport.

Acteurs

- **Recherche** : Laboratoire d'optimisation des systèmes industriels (LOSI) – UTT ; Laboratoire de mathématiques appliquées du Havre (LMAH), Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS) – CNRS
- **Pôles de compétitivité** : Nov@log, I-trans, Advancity, Movéo, LUTB2015
- **Transporteurs** : CFT, SNCF, ECR, Norbert Dentressangle, Géodis, STEF-TFE
Logisticiens, commissionnaires de transport, « intégrateurs » : Norbert Dentressangle, FedEx, Gefco, Géodis, STEF-TFE, Kuehne et Nagel, FM Logistic, DHL Supply
- **Infrastructures** : RFF, VNF, les sociétés concessionnaires d'autoroutes (regroupées dans l'Asfa), les Grands ports maritimes
Manutention : Unim, Paris-Terminal, GMP, Bolloré...
Matériel : Alstom, Renault, Volvo, PSA, Bombardier, Chantiers navals de Haute-Seine, Siemens... et leurs fournisseurs spécialisés (Baudouin, Lohr...)
Infologistique : Soget, Ilog (groupe IBM), Orange, GS1 France...
- **Entrepôts** : Sogaris, Gazeley, Prologis, Parcolog... et les fonds d'investissement : Axa Reim, Lasalle Investment...
- **Chargeurs** : AUTF et réceptionnaires (notamment commerce-distribution)

Position de la France

En plus de nombreux donneurs d'ordre particulièrement expérimentés, onze des quinze plus importants prestataires de la gestion de la chaîne logistique sont situés sur le continent européen, qui est aujourd'hui considéré comme la zone économique la plus mature dans ce domaine.

La France occupe une position de premier plan, et est notamment dotée d'un milieu académique très développé.

Analyse AFOM

Atouts

Communauté académique développée, position géographique de la France privilégiée, nombreux acteurs.

Faiblesses

Malgré sa position géographique, la France n'est pas toujours compétitive pour le passage de flux logistique.

Opportunités

Amélioration de la compétitivité.

Menaces

Fortes contraintes sur les coûts, exigences disparates dans la chaîne de la valeur créant des surcoûts, manque d'implication des activités d'« achats », problèmes concurrentiels pour la diffusion des données.

Recommandations

Plusieurs recommandations peuvent contribuer à l'amélioration de la compétitivité de la filière :

- création d'un référentiel commun pour la mesure de la performance logistique ;
- développer les activités de modélisation et de simulation encore trop limitées et qui permettent pourtant de limiter les coûts ;
- développer l'offre de formation en approche globale des systèmes ;
- étudier et développer des modèles économiques pour développer l'innovation tout en respectant les fortes contraintes de coût ;
- impliquer les services achats qui doivent être intégrés comme chaînon à part entière.

Liens avec d'autres technologies clés

16

21

28

29

66

Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



63. Technologies de stockage et de gestion à bord de l'énergie électrique

Définitions

L'exploitation en masse des batteries au lithium dans l'automobile pose d'autres questions – non technologiques – liées notamment au modèle économique de leur mise en circulation, à l'acceptabilité des nouveaux véhicules. Autre point non couvert par la présente description, l'approvisionnement en lithium apparaît aujourd'hui stratégique à certains acteurs, les ressources économiquement exploitables étant fortement concentrées dans le monde, et exploitées principalement par trois entreprises : SQM, Chemetall et FMC Lithium.

Description

Les technologies couvertes concernent le stockage et la gestion de l'énergie électrique dans les véhicules :

- batteries Lithium principalement ;
- systèmes de gestion de batteries (BMS) ;
- supercapacités associées à la batterie ;
- gestion des appels d'énergie au sein du véhicule.

Les travaux de développement visent à :

- assurer et optimiser la gestion du stockage d'énergie et la cyclabilité ;
- diminuer les coûts de production ;
- assurer la sécurité des systèmes ;
- optimiser la recyclabilité, le désassemblage ou la seconde vie des batteries ;
- optimiser la gestion de l'énergie à bord, y compris dans les architectures hybrides.

Les verrous portent ainsi sur des questions liées :

- aux matériaux de la batterie (anode, cathode, électrolyte, packaging et matériaux d'assemblage, contacts électriques) ;
- à l'intelligence de gestion, répartie sur plusieurs étages de la chaîne (batterie, calculateur...).

Applications

Ces technologies répondent à la demande d'électrification des véhicules pour de meilleures performances environnementales. Dans ce contexte, la contrainte de masse est un moteur du développement des batteries lithium, qui présentent des énergies spécifiques très fortes en dépit d'un coût élevé.

La capacité à stocker et délivrer de la puissance électrique en fonction des besoins est centrale dans le développement et l'acceptabilité des véhicules décarbonés. Les secteurs applicatifs comprennent l'automobile et le transport routier, l'avion, le ferroviaire et le naval, pour des applications liées à la propulsion ou aux fonctions auxiliaires.

Son introduction sera progressive, avec 10 % de ventes d'automobiles électriques anticipés en 2020. Selon Pike Research, le marché des batteries Li-ion pour véhicules électriques sera de 8 Mds\$ en 2015.

Enfin, la capacité mondiale de production devrait surpasser fortement la demande en 2015. À horizon de cinq à dix ans, cette tendance devrait conduire à des consolidations autour d'un nombre réduit d'acteurs.

Enjeux et impacts

La technologie améliore l'impact environnemental des transports dans la mesure où l'ensemble du cycle de vie des batteries et du système de gestion est maîtrisé. Compte tenu des mutations induites dans l'industrie

automobile et de l'intensité concurrentielle dans les filières industrielles des transports, sa maîtrise est essentielle pour les acteurs français. Dans l'automobile, cette maîtrise conditionne des choix stratégiques forts.

De plus, c'est la baisse des coûts attendus du développement d'une filière de production de masse qui permettra l'utilisation de la technologie lithium dans d'autres secteurs du transport ou des applications stationnaires.

La technologie est diffusante et d'avenir. Diffusante car sa maîtrise et sa diffusion dans l'industrie sont essentielles pour relever les défis liés à l'électrification des fonctions des véhicules. D'avenir parce que les choix technologiques ne sont pas figés : la maîtrise technique est encore dans les mains des acteurs de la recherche, des grands groupes industriels et de quelques rares PME innovantes.

Acteurs

Principaux acteurs français

- **R&D** : LRCS (Amiens) ; ICMCB (Bordeaux), laboratoire Laplace (Toulouse), IMN (Nantes), CEA-Liten, Ines, Ineris, Inrets, EDF, IFP Énergies nouvelles, pôles Mov'eo, LUTB, i-Trans, Tenerrdis, Véhicule du futur...
- **Intégrateurs** : Saft, CEA, Renault, Batscap, Johnson Controls Saft, Dow Kokam France (ex-SEV), E4V, Valeo
- **Utilisateurs** : Renault, PSA, EADS (Airbus, Eurocopter...), DCNS, Cnes, EDF, Alstom Transport, Heuliez, Gruau, Renault Trucks...

Principaux acteurs étrangers

- **R&D** : en Europe, réseau Alstore ; laboratoire Argonne (États-Unis)...
- **Intégrateurs** : Sanyo, AESC, Lithium energy Japan, Mitsubishi, Nissan, Toyota (Japon), Samsung, Kokam, LG Chemical (Corée), BYD (Chine), Electrovaya (Canada), A123 Systems, Altair Nano, EnerDel, Gs Yuasa, Valence Technology, 3M (États-Unis), Magna Steyr (Autriche), Continental, Deutsche Accumotive, LiTec, BASF, Epcos, Bosch (Allemagne), Leclanché (Suisse)...
- **Utilisateurs** : Daimler, BMW, Volkswagen, EADS, (Allemagne), ESA (Europe), Ford, GM, etc.

Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation



Liens avec d'autres technologies clés

51

64

65

Position de la France

La France dispose donc de compétences académiques de premier plan. Industriellement, France et Europe sont des challengers de l'Asie (Japon, Corée et Chine) et de l'Amérique du Nord.

La France et l'Allemagne portent leur industrie nationale, tirée à l'instigation des constructeurs automobiles et des acteurs de la chimie du lithium. La capacité de production française annoncée à horizon 2015 est de 150 000 packs (équivalents véhicule électrique). Toutes les catégories d'acteurs sont représentées dans le paysage français, à l'exception des fournisseurs de matières premières. Bolloré a pris des participations dans des gisements de lithium en Bolivie pour sécuriser ses approvisionnements futurs.

Les Français Batscap, Epcos et Saft (sous contrôle américain) sont les principaux fabricants européens de supercondensateurs.

Analyse AFOM

Atouts

Communauté de la recherche de niveau international sur les matériaux.

Premier fabricant européen (Saft) et acteurs industriels en position challengers.

Acteurs industriels sur l'électronique embarquée et l'intégration dans les véhicules.

Soutien actif et continu des pouvoirs publics.

Faiblesses

Peu de fabricants proprement dits de matériaux en France.

Opportunités

Marchés émergents de l'électrification des véhicules procurant l'occasion aux challengers de prendre des positions sur le marché.

Menaces

Risque sur le rythme d'émergence des marchés de masse.

Diversité des choix technologiques.

Concurrence asiatique et américaine forte. Le Japon avec Sanyo (qui a racheté Panasonic) est le premier.

Recommandations

Les conditions pour le développement de ces technologies ressortent d'une part, de la poursuite des travaux de recherche qui permettront de faire vivre les générations successives de produits, d'autre part, de l'émergence réelle des marchés applicatifs visés, qui seule permettra d'assurer la pérennité de la filière en cours de constitution.

Sur ces sujets, le soutien de l'état à l'industrie est déjà fort à travers l'investissement industriel (FSI), le soutien à l'innovation (plateforme Steeve), le fonds démonstrateur et les commandes massives du plan national véhicule électrique.

L'autre facteur clé de succès qu'il faut maîtriser pour l'industrie française est le chantier de la normalisation, notamment sur la sécurité. Pour arriver à des déploiements effectifs, sécurité et sûreté doivent être traitées en parallèle des développements technologiques. Une analyse stratégique est en cours au C.A.S.

Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



64. Électronique de puissance



meilleure tenue en température et de moindres pertes. Une conséquence sera la possibilité de monter en fréquence ou encore de faciliter l'intégration dans les systèmes mécatroniques. Les voies de développement concernent les matériaux à grand gap : GaN sur Si, SiC, l'IGBT, diamant.

- Les composants actifs et passifs sont aujourd'hui fabriqués par des acteurs asiatiques. En conséquence, les architectures des systèmes de puissance en Europe sont dépendantes de ces développements, et non l'inverse. Les ruptures technologiques à venir sur les matériaux créeront des opportunités pour modifier les rapports de force et éventuellement renforcer les positions française et européenne sur l'amont de la chaîne de valeur.

- L'architecture est très liée aux deux points précédents et également aux applications potentielles dans les domaines de la mécatronique, de la conversion de puissance, etc.

- La fiabilité des composants est un impératif des systèmes d'électronique de puissance, le taux de défaillance des systèmes devant être compatible avec les contraintes des différentes filières.

- L'intégration et les technologies de production liées à ces différentes ruptures attendues entrent également dans le champ de la technologie. Leur maîtrise est un verrou du positionnement sur le marché de la filière française.

L'électronique de puissance comprend notamment les technologies de transformation et de mise en forme des courants d'alimentation pour la traction et la puissance, ainsi que les technologies de commande électronique sous forte tension et fort courant.

Ces technologies sont communes avec le domaine de l'énergie. Notamment, l'électronique de conversion est un élément clé de tous les modes de génération à base d'énergies renouvelables.

Applications

Transports

- Ferroviaire : l'électronique de puissance est présente dans les dispositifs de traction électrique, de captage de courant, de commande des systèmes de puissance, de génération de courant au freinage...

- Routier : l'électrification du véhicule, est bel et bien amorcée avec la généralisation de l'hybridation et l'émergence des véhicules électriques de nouvelle génération. Les architectures hybrides, les alternodémarreurs, la gestion de l'énergie électrique, la traction, la génération au freinage sont autant de systèmes concernés.

- Aérien : l'avion plus électrique est aujourd'hui une réalité. Les fonctions hydrauliques sont de plus en plus remplacées par des commandes électriques qui requièrent

Description

L'électronique de puissance est une technologie clé dans un environnement qui utilise de plus en plus l'électricité, et ceci pour des usages qui tiennent tant à la production qu'à la conversion et à l'usage de l'électricité.

Il s'agit d'un groupe technologique homogène qui répond aujourd'hui à des enjeux industriels importants. Il peut s'agir de composants (transistors, thyristors...) comme de matériaux (III-V, GaN sur Si...) ou d'architecture, les différents aspects étant interdépendants. À tous les niveaux les verrous technologiques sont liés à la nécessité de pouvoir gérer des moyennes et grandes puissances à des fréquences plus élevées, dans des conditions d'environnement plus rudes, notamment en vue d'une intégration mécatronique.

Ce champ technologique pose des questions de développement liées aux verrous technologiques suivants :

- Les matériaux doivent évoluer pour permettre une

Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

là encore la gestion de la puissance.

• Naval : l'hybridation de la propulsion dans le domaine naval est un fait établi.

Énergie

La conversion de puissance dans le domaine de la génération d'énergie touche toutes les technologies de production. Dans les applications pour lesquelles se posent des problèmes de conversion comme par exemple le photovoltaïque, ou l'éolien, la gestion de la grille et de la production décentralisée est également un champ d'application.

De manière connexe, l'électronique de puissance intéresse aussi d'autres secteurs, tels que les lasers de puissance, les outils de production, les télécoms, l'éclairage, etc.

Enjeux et impacts

La chaîne de valeur est dominée par les acteurs japonais. Ils maîtrisent les technologies de composants passifs et actifs, et en conséquence imposent en partie les architectures des systèmes qui en découlent. En France, les forces sont dispersées principalement sur les domaines applicatifs.

Les enjeux économiques sont importants : le marché mondial des modules et composants de puissance est de l'ordre de 390 M€ en 2009 et devrait croître à 570 M€ en 2015 d'après Yole ; 65 % de ce chiffre d'affaires est représenté par le seul secteur ferroviaire. Le cabinet Décision précise dans une étude d'avril 2009 que la croissance est attendue à 12 % sur la période 2009-2013.

L'électronique de puissance est enfin une des clés pour répondre aux enjeux environnementaux en lien avec les technologies d'avenir liées.

Acteurs

Principaux acteurs français

- **Laboratoires** : Satie (ENS Cachan), Inrets, Leg, L2ES, Laas, L2EP, IFP Énergies nouvelles
- **Fabricants** : Schneider Electric, Converteam, Thales, Alcatel
- **Intégrateurs** : Areva, Valeo, Alstom, Continental, Airbus, Zodiac, Renault, PSA Peugeot-Citroën, DCNS, EADS, EDF...
- **Organismes** : plate-forme Primes, pôles de compétitivité Mov'éo, Fieec

Principaux acteurs étrangers

- Siemens, ABB, Mitsubishi Electric, Fuji, Hitachi, Toshiba, Infineon, General Electric, Semikron, Bombardier...

Position de la France

La filière française est aujourd'hui dispersée selon les secteurs applicatifs de l'électronique de puissance. Cette dispersion implique un faible poids sur les fournisseurs asiatiques pour la prise en compte des contraintes des industriels dans la conception des composants. Les ruptures technologiques attendues peuvent créer l'opportunité de faire émerger ou croître des acteurs français ou européens sur les composants et leurs technologies de fabrication, adaptés aux usages.

L'étude de Décision indique que la production française en électronique de puissance représente 9% de la production européenne hors transports, pour lesquels la part française est plus importante.

Analyse AFOM

Atouts

Acteurs de premier plan en France sur l'intégration et sur la conception des composants.

Faiblesses

Pas d'acteurs industriels sur la fabrication du composant. Absence d'une filière organisée.

Opportunités

Ruptures technologiques à venir peuvent créer l'occasion de renforcer les positions de la France.

Recommandations

L'absence d'organisation forte en filière de l'électronique de puissance, ventilée sur les secteurs applicatifs, nuit aujourd'hui à la transmission des compétences et de l'expertise. Des transferts seraient à organiser entre les différentes filières pour tableur sur l'expertise de l'une pour le développement et la compétitivité des autres.

Liens avec d'autres technologies clés

59

63

65

Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input checked="" type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input checked="" type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input checked="" type="radio"/>	Fort



65. Mécatronique

Description

Initiée par les grands programmes de l'aérospatiale et de l'armement, la mécatronique reprend l'ensemble des procédés de conception et de production pour une intégration plus poussée des fonctions mécaniques, électroniques et logicielles, ainsi que les produits qui en résultent.

La mécatronique nécessite de rassembler des compétences techniques variées (mécanique, hydraulique, pneumatique, électronique, informatique, automatique, métrologie...) mises en commun à travers des démarches de co-ingénierie et de travail collaboratif. La combinaison de ces technologies doit être étudiée dès la phase de conception des systèmes mécatroniques de façon à garantir leur fiabilité : analyse fonctionnelle, simulation du comportement dynamique et évaluation de la sûreté de fonctionnement.

Fondamentalement, un système mécatronique a pour finalité une action physique pilotée par une brique intelligente. Ainsi, les composants suivants entre dans son champ d'applications :

- actionneurs autonomes à faible et à forte puissance ;
- capteurs de différentes natures (pression, température, imagerie...);
- organes de conversion, de stockage et de gestion de l'énergie ;
- composants actifs et passifs ;
- lois de commande et logiciels embarqués ;
- systèmes communicants, dont les technologies sans fil.

L'intégration mécatronique accompagne la tendance à la miniaturisation des systèmes électroniques et électromécaniques avec la réalisation de systèmes toujours plus compacts.

Applications

Tous les marchés des transports sont concernés par la conception, la fabrication et la mise en œuvre des dispositifs mécatroniques. Elle constitue en effet une des bases de l'intelligence embarquée aujourd'hui.

Dans le secteur automobile, la mécatronique accompagne l'augmentation du niveau d'équipement et l'intégration de fonctions de plus en plus complexes : systèmes pour l'aide à la conduite et la sécurité active (freins, roulements et pneus « intelligents »), optimisation énergétique du groupe motopropulseur thermique et/ou électrique (contrôle d'injection, de température, gestion de la charge électrique), systèmes de bord communicants... La mécatronique joue bien évidemment un rôle prépondérant dans la tendance à l'hybridation et à l'électrification des véhicules par l'apport d'un pilotage et d'une

optimisation plus fine des paramètres du ou des moteurs. Pour le secteur aéronautique, la mécatronique intervient dans de nombreux systèmes de l'avion. Elle a un rôle particulièrement important dans la tendance à l'électrification totale des commandes (*fly-by-wire*) opérée sur les avions de conception récente (Airbus A380, A400M, Boeing 787). Dans le domaine ferroviaire, la mécatronique permet de réduire la taille des éléments moteurs et facilite leur intégration, elle est notamment employée par Alstom pour la conception des bogies articulés de la nouvelle automotrice grande vitesse (AGV).

Enfin dans l'industrie navale, la mécatronique intervient dans une moindre mesure pour les systèmes de gestion de l'énergie à bord.

Il est à noter que la mécatronique joue un rôle important dans le domaine de la production (machines-outils, robots...), particulièrement pour l'industrie des transports. On retrouve aussi la mécatronique dans l'électronique grand public, les machines de travaux publics, dans le secteur médical.

Enjeux et impacts

Outre l'enjeu industriel indéniable, la mécatronique permet une réduction des consommations énergétique par une meilleure intégration des sous-systèmes, et autorise des entreprises du secteur de la mécanique traditionnelle à proposer des produits à plus forte valeur ajoutée à leurs clients à travers cette intégration :

- conception de produits aux performances supérieures aux produits traditionnels ;
- réalisation de nouvelles fonctionnalités ou réduction des coûts ;
- augmentation des performances et de la flexibilité des équipements de production ;
- réduction du nombre de composants critiques.

La mécatronique représente aujourd'hui en France un volume de production global de 4,3 Mds € pour un effec-



Degré de diffusion dans l'absolu

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

Degré de diffusion en France

- Faible diffusion
- Diffusion croissante
- Généralisation

tif de 28 200 personnes. 62 % de ce chiffre d'affaires étant réalisé à l'export [5.47].

Deux verrous sont toutefois à noter concernant son développement :

- la multiplicité des métiers et des technologies à maîtriser. La mécatronique impose notamment de faire dialoguer les experts de différents domaines entre eux. Ces difficultés peuvent être surmontées par une mise en réseau efficace des acteurs et par la formation d'ingénieurs et techniciens pluridisciplinaires ;
- les outils et méthodes à disposition des concepteurs de systèmes mécatroniques sont aujourd'hui très divers et trop spécifiques pour apporter un niveau de fiabilité systématique aux phases d'ingénierie. Des projets sont actuellement menés pour développer des outils génériques pour l'ensemble de la filière. On pourra citer le projet O2M (outils de modélisation et de conception mécatronique) de Mov'éo.

Acteurs

Principaux acteurs français

- **Recherche** : CEA Leti ; Laboratoire électromécanique de Compiègne (LEC) – UTC ; Laboratoire mécatronique 3M (M3M) – UTBM ; laboratoire systèmes et matériaux pour la mécatronique (Symme) – Université de Savoie ; Département mécatronique de l'ENS Cachan
- **Pôles de compétitivité et réseaux** : Thésame, Mov'éo, Arve-Industries, Viameca, Aerospace Valley, Astech, Artema, Cetim, PFA
- **Constructeurs, intégrateurs et équipementiers** : Airbus, Renault, PSA Peugeot Citroën, Valeo, Continental, Johnson Controls, SNR, ST Microelectronics, Michelin, Schneider Electric, Groupe Gorgé, ECA, Cybernetyx, Dassault Systèmes, Zodiac Aerospace



Position de la France

La présence de donneurs d'ordre à vocation mondiale (constructeurs) et les initiatives de mise en réseau par diverses organismes (Thésame, Artema, Cetim, pôles de compétitivité...) ont permis de développer un potentiel d'acteurs important en France, notamment autour de la filière automobile.

Par ailleurs, des initiatives françaises de normalisation des méthodes de conception ont abouti à la publication de deux normes et à la création d'un groupe technique international (Iso) dans le domaine de la mécatronique Iso/TC 184/AH Mechatronics.

Analyse AFOM

Atouts

Communauté structurée ou du moins se structurant, nombre de formations en hausse, initiative de normalisation.

Faiblesses

Frilosité de certains industriels liée aux problématiques de complexité, de fiabilité et de sûreté de fonctionnement.

Opportunités

Amélioration de la compétitivité de la filière transport, nombre d'applications croissant.

Menaces

Maintien d'un cloisonnement entre les différentes disciplines qui pourrait ralentir l'essor de la mécatronique.

Recommandations

La mécatronique est jugée comme étant particulièrement clé pour améliorer la compétitivité de la filière transport en France. Pour cela plusieurs actions doivent être menées :

- développer l'offre de formation, en particulier l'offre de formation continue qui permettrait aux techniciens et ingénieurs d'avoir une vision mécatronique globale ;
- soutenir les projets de recherche appliquée et collaborative sur les trois thèmes prioritaires de la mécatronique : sûreté de fonctionnement, méthodes et outils de conception, micro-machines de production ;
- maintenir l'investissement (le leadership) de la France dans les travaux de normalisation.

Liens avec d'autres technologies clés

13

58

59

64

69

Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



66. Communications et données

Définitions

De manière connexe aux communications proprement dites, se posent des questions concernant les données elles-mêmes :

- l'acquisition des données : les capteurs, le traitement, la fusion et la mise en forme des données liées au fonctionnement du sous-système (véhicule et son chargement), du système (trafic, incidents, disponibilité, information multimodale), à la localisation des mobiles, etc. ;
- la gestion des données renvoie à des questions matérielles (bases de données, leur sécurité, leur fiabilité), organisationnelles (interopérabilité des bases, standardisation internationale des formats), juridiques (protection des données personnelles, responsabilité des acteurs), économiques (modèle économique de l'usage et de la gestion des données, déploiement des services et des infrastructures).

Description

Les technologies et protocoles de communication répondent aux enjeux spécifiques des différents modes et de l'intermodalité. Les communications véhicule-véhicule (V-V) et véhicule-infrastructure (V-I) seront de plus en plus sollicitées pour assurer un recueil des données de trafic à destination des opérateurs d'infrastructures, faire coopérer des systèmes pour la sécurité et la gestion du trafic, ou pour assurer les missions de maintenance prédictive ou de services de confort aux utilisateurs des transports.

Dès lors que le transport est de plus en plus géré comme un système intégré, le recueil et l'échange des données entre objets et acteurs deviennent des fonctions essentielles, au même titre que la remontée d'information vers un calculateur de bord est maintenant une réalité incontournable du système « véhicule ».

De fait, l'usage des communications hertziennes se développe à différentes échelles :

- entre véhicule et infrastructure à courte portée pour de l'échange d'information ponctuelle, conjoncturelle ;
- de véhicule à véhicule à moyenne portée pour échanger ou relayer des informations de sécurité ou de trafic ;
- de véhicule à infrastructure à longue portée pour des données liées au fonctionnement du système ou de ses composants, ou encore de l'information de service ou de divertissement à usage des passagers ;
- enfin, de passager à infrastructure pour l'information multimodale en réseau extérieur ou couvert (métro).

Ces technologies s'intéressent principalement aux :

- vecteurs, protocoles, normes de communication en V-V et V-I dans les différents modes, à des fins de gestion, de tarification et de sécurité (bas débit à fortes contraintes de fiabilité) ou de services de « confort » (haut débit à contraintes réduites). L'interfaçage avec les téléphones mobiles est à prendre à considération dans ces axes de travail.
- modèles économiques de déploiement et d'usage de ces vecteurs : si les domaines aérien et ferroviaire ont certaines capacités de mise en œuvre des systèmes innovants en raison des enjeux économiques et de sécurité, le secteur routier doit assoir ces déploiements sur des modèles économiques rentables à court terme. La filière transport et logistique est déjà engagée dans des démarches de standardisation sur les échanges de données.
- contraintes de fonctionnement en fonction des applications : fiabilité, continuité, interopérabilité, prise en compte de la massification, etc.

Dans certains cas, des protocoles spécifiques sont requis pour garantir par exemple la disponibilité des canaux pour l'information d'urgence, la continuité du transfert des don-

nées pour le suivi en continu et la maintenance prédictive des avions ou des trains, l'interopérabilité internationale au regard du standard ferroviaire ERTMS, etc.

Applications

Dès lors que l'on considère le transport selon un angle systémique, les applications des télécommunications sont très variées. On peut cependant les considérer selon deux axes, tous les modes étant concernés.

Les applications critiques

Elles concernent le fonctionnement du système en sécurité. À différents niveaux, les fonctions applicatives sont par exemple la transmission de messages d'urgence ou le *e-call*, les informations de localisation et de fonctionnement des avions et trains, la gestion du trafic, la gestion des flottes, le suivi des conditions de transport des marchandises, les fonctions de tarification ou de contrôle d'accès...

Les applications de services

Ces services représentent une source de revenus potentielle, à même de permettre le financement des systèmes et infrastructures de communication critiques. Ce type d'offre est d'ores et déjà déployé par certaines compagnies aériennes (accès à Internet à bord). Dans l'automobile, la vente de services de confort permettra le financement des équipements de communication liés à la sécurité ou à la maintenance prédictive.

Enfin, les services liés à un enjeu économique dans le secteur de la logistique sont également des champs d'applications majeurs de ces technologies.

Enjeux et impacts

Ces technologies répondent aux enjeux :

- écologique en permettant une meilleure gestion des transports (ciel ouvert pour l'aéronautique, gestion des créneaux ferroviaires, gestion du trafic routier visant une réduction des congestions, optimisation du transport multimodal...);
- de sécurité : transmission d'informations sur les incidents et accidents. Il est notamment envisagé d'imposer à brève échéance la fonction d'*e-call* dans les automobiles neuves, ce qui représenterait un marché européen de 13 millions de véhicules particuliers dans l'UE15 ;
- la qualité de service des systèmes de transport, monomodaux ou multimodaux, favorisant également l'information et la planification. Le développement de ces systèmes permettra aussi le déploiement de média d'information multimodale.

Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

Acteurs

Principaux acteurs français

- **Industriels** : Orange, SFR, Bouygues Telecom, Sagem, Thales, Renault, PSA Peugeot-Citroën, Alstom, Airbus, Valeo, EADS, Atos origin, Senda, Globalsys, MTS, CTS...
- **Opérateurs d'infrastructures** : Vinci Autoroutes, Sanef, RFF, Aéroports de Paris, RATP, DGAC, Eurocontrol, Nov@log

Position de la France

Les usages imposent que le développement des technologies soit normalisé au niveau européen *a minima*. La France dispose d'acteurs importants pour le déploiement des systèmes de communication dans l'automobile, avec des opérateurs, des constructeurs, etc.

Sur le plan des technologies et des déploiements, la France est en léger retard sur l'Allemagne, qui voit ses constructeurs développer et tester activement les technologies de communication dans le cadre des projets européens notamment.

Analyse AFOM

Atouts

Opérateurs importants, constructeurs automobile et équipementiers nationaux.

Faiblesses

Faible coordination des différents acteurs de la chaîne de valeur.

Opportunités

Déploiement de l'*e-call* aux États-Unis et en Europe.
 Déploiement de l'ERTMS.
 Développement de services multimodaux.
 Développement commercial des ordiphones...

Menaces

Risque de développements de protocoles antagonistes.

Recommandations

Le développement et le déploiement des communications dans le secteur automobile se feront sur la base de nouvelles offres de services. Cependant, le renouvellement d'un parc sur une durée typique de douze à quinze ans bride le déploiement des usages. Les industriels établis et les start-up travaillent sur les déploiements et la prise en compte des dispositifs portables dans le système.

La généralisation des systèmes de communication impose une approche organisationnelle (conduite du changement) et systémique. Elle doit établir le dialogue entre tous les acteurs de la chaîne pour des déploiements de masse des systèmes, y compris expérimentaux.

Enfin, la promotion des standards et normes d'interopérabilité internationaux par opposition aux standards propriétaires est un élément clé pour la compétitivité des entreprises intégratrices et utilisatrices de la chaîne logistique. La participation active des industriels et opérateurs français aux instances de normalisation est stratégique.

Liens avec d'autres technologies clés

14

16

19

61

62

69

Maturité (échelle TRL)

<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input checked="" type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input checked="" type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input type="radio"/>	Moyen
<input checked="" type="radio"/>	Fort



67. Démarche d'optimisation de l'ingénierie et de la production

Définitions

Kanban : outil de management visuel mis en œuvre par des étiquettes permettant un suivi optimal de la production.

5S : technique de management d'origine japonaise basée sur cinq principes : débarrasser, ranger, nettoyer, ordonner, être rigoureux.

Gemba Walk : technique de management sur le terrain qui consiste à envoyer les responsables de production sur le terrain à la rencontre des opérationnels.

Description

Le concept d'optimisation de l'ingénierie et de la production se réfère aux démarches dites *lean* (littéralement « maigre » ou « svelte »). Ces dernières visent à améliorer l'efficacité des processus d'ingénierie et de fabrication par la recherche des sources de pertes de productivité dans l'ensemble de la chaîne de la valeur.

Développée puis mise en œuvre dès les années trente à travers le système de production Toyota (TPS), les démarches *lean manufacturing* ont permis au constructeur japonais de se hisser au rang des premiers constructeurs automobiles mondiaux.

Ces démarches sont par contre relativement plus récentes lorsqu'il s'agit de leur application à la conception. De façon plus globale, le *lean* peut en effet être appliqué aux processus de R&D complets à travers le *lean engineering*, le *lean design* et le *lean development*.

Structuré autour de plusieurs outils et méthodes (tels que le Kanban, le 5S, le traitement des gaspillages (Muda), le changement d'outil rapide (Smed), le juste-à-temps, les détrompeurs, le management visuel, le Gemba Walk...), le *lean manufacturing* est basé sur l'application de différents principes :

- arrêt immédiat de la production lors de la détection d'un défaut ;
- analyse des problèmes et éliminations des sources d'erreurs, recherche de stabilité ;
- réaménagement optimal des équipements de production pour se concentrer sur les tâches à valeur ajoutée ;
- fluidification des processus et organisation en flux tendus.

Pour ce qui est de son application à l'ingénierie, les démarches *lean* consistent à repousser au plus tard les choix de conception contrairement aux approches classiques (cahier des charges figé dès le départ). Les spécifications et le développement sont focalisés sur les étapes créatrices de valeur. Parallèlement à cela, la priorité est mise sur l'accumulation des retours d'expérience, les outils mis en œuvre sont alors la méthode PDCA (*Plan Do Check Act*), la méthode Lamda (*Look Ask Model Discuss Act*), les courbes de sensibilité (*Trade-off et Limits*), les cartographies de chaîne de valeur ajoutée...

La conception *lean* a deux objectifs : un *time-to-market* le plus court possible et la réduction des coûts globaux de développement par l'élimination du gaspillage de ressource.

Applications

Tous les secteurs industriels sont concernés, *a fortiori* le secteur des transports, pour lequel la démarche *lean* peut être une clé de résistance à la concurrence des pays à bas

coûts. Le *lean* peut être un facteur clé de succès du développement, voire de la relocalisation des entreprises.

Les constructeurs automobiles et les grands équipementiers français ont instauré des démarches *lean manufacturing* depuis le début des années 2000, et tentent aujourd'hui de diffuser ces pratiques auprès de leurs fournisseurs. En témoigne l'initiative de la PFA (Plateforme de la filière automobile) en mars 2010 pour promouvoir le *lean* à travers tous les acteurs de l'industrie automobile française : cette dernière souhaiterait améliorer de 15 % leur efficacité en deux ans en se basant sur la capitalisation et le retour d'expérience des grands industriels.

Le *lean manufacturing* est aussi appliqué depuis un certain temps par les grands acteurs de l'aérospatial (Airbus, Astrium, Safran), du ferroviaire (Alstom) ou du naval (STX). De la même façon que pour le secteur automobile, ces industriels souhaitent aujourd'hui diffuser ces pratiques chez leurs fournisseurs.

Utilisé depuis quelques temps pour le développement logiciel en complément des approches dites « agile », le *lean* pour l'ingénierie est un phénomène plus récent. Il est encore peu développé dans l'industrie française, le secteur de l'aérospatial semble précurseur avec des acteurs tels que EADS, Snecma ou Thalès qui appliquent ces méthodes.

Enjeux et impacts

Ces méthodes constituent une clé pour la compétitivité des entreprises dans les années qui viennent.

Dans un contexte difficile, l'amélioration du gain de productivité, la flexibilité et la réactivité de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement apportées par le *lean manufacturing* constituent un avantage concurrentiel important.

De même, l'amélioration de la rapidité de mise sur le marché par une fiabilisation de la conception par le *lean engineering* constitue aussi un avantage non négligeable.

Le *lean manufacturing*, intégré par les grands groupes, est jugé comme étant une technologie diffusante auprès des PME/PMI.

Le *lean engineering* qui n'en est encore qu'à ses prémices est quant à lui jugé d'avenir.

Ce type de démarche nécessite toutefois de repenser l'organisation de l'entreprise que ce soit pour la production ou pour l'ingénierie et impose des changements parfois lourds. Pour cette raison des réseaux se sont mis en place pour leur promotion et la diffusion de bonnes pratiques.

Degré de diffusion dans l'absolu

Faible diffusion

Diffusion croissante

Généralisation

Degré de diffusion en France

Faible diffusion

Diffusion croissante

Généralisation



Acteurs

Principaux acteurs français

- **Pôles de compétitivités et acteurs du soutien aux PME** : Thésame, PFA, Cetim, Artema, Mov'eo, LUTB2015, Nova@log, les Chambres de Commerce et d'Industrie, le département Performance de l'Ardi Rhône-Alpes, l'Institut Lean France, le Lean Global Network à l'échelle mondiale
- **Acteurs académiques et formation** : Télécom ParisTech, Ecam, Ensam
- **Groupes industriels** : Renault, PSA Peugeot Citroën, Valeo, Airbus, STX, Alstom, Safran, Thalès
- **Acteurs du conseil** : AL Consulting, Chorege, Efidyn, GMI – Goupe Emergence, Ineum Consulting, JMA Consultants, Lean Key, Lean Training, Moventeam, PMGI, Schneider Electric Consulting, Toptech, Vinci Consulting

Position de la France

Le Japon et les États-Unis sont à la pointe de l'application de ce type de démarche.

En France les grands constructeurs et les fournisseurs de rang 1 ont déjà bien intégré ces démarches. La diffusion est aujourd'hui en cours auprès de leur multitude de sous-traitants. Le réseau des acteurs est relativement bien développé avec notamment un centre de gravité en région Rhône-Alpes.

Le *lean engineering* est quant à lui encore peu répandu en France.

Analyse AFOM

Atouts

Acteurs industriels importants déjà bien avancés sur les démarches *lean* et diffusant auprès de leurs sous-traitants.

Écosystème d'acteurs du conseil en *lean* bien implanté. Montée en puissance du réseau, soutien de la PFA.

Faiblesses

Secteur académique tout juste émergent, manque de compétences.

Les acteurs français réalisent parfois une application trop partielle des principes du *lean*.

Opportunités

Réduction des coûts de conception et de production, résistance face aux marchés émergents.

Menaces

Dimension sociale du *lean* liée à une mauvaise image (précipitation et implémentation du *lean* par les outils sans prendre en compte les aspects management, ce qui dévalorise les opérationnels).

Démarche à long terme (il faut entre trois et cinq ans pour qu'une entreprise devienne *lean*).

Recommandations

Le développement et la diffusion du *lean* dans les entreprises ne pourra se faire sans une communication adéquate pour susciter l'adhésion de toutes les parties prenantes. Le *lean* peut être en effet considéré comme une simple technique de réduction des coûts pour beaucoup plutôt que comme un moyen d'améliorer la performance. Une école du *lean* permettrait d'en promouvoir la pratique.

Par ailleurs, il est nécessaire de favoriser la mise en réseau et les actions collectives particulièrement efficaces pour la diffusion de ces méthodes, tels que celles réalisées par la PFA ou par Thésame.

Idéalement, le *lean* devrait être développé de façon à ne plus être « clé » à long terme en France (cinq à dix ans).

Liens avec d'autres technologies clés

13

21

62

69

Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



68. Matériaux et technologie d'assemblage pour l'allègement

Définitions

Matériaux composites : assemblage de deux matériaux, un renfort assurant la tenue mécanique (fibres) et une matrice qui peut être organique, métallique ou céramique.

Description

L'allègement des véhicules constitue un enjeu fort pour l'amélioration de l'efficacité énergétique du secteur des transports. Cet allègement peut être réalisé par l'apport de nouveaux matériaux, mais aussi par la mise en œuvre de procédés innovants de fabrication pour la réduction du volume ou de la complexité des assemblages.

Parmi les nouveaux matériaux, on pourra citer :

- les matériaux composites déjà utilisés depuis un certain temps mais qui sont en permanence améliorés notamment par le choix de nouveaux renforts et matrices ou par l'utilisation de nouveaux procédés de fabrication : nouveaux composites thermoplastiques, matériaux thermostructuraux hautes ou moyennes températures, structures composites à matrices organiques ;
- les nouveaux aciers à hautes limites d'élasticité permettant de conserver les performances mécaniques actuelles avec des structures plus légères ;
- les métaux autres que l'acier. Il peut notamment s'agir d'alliages à base d'aluminium, de magnésium ou de titane.

Parallèlement à cela, les procédés d'assemblage sont améliorés pour produire des pièces toujours plus fiables avec moins de ressources : les techniques avancées de soudage (par friction, laser, hybride laser, plasma... en général sans apport de matière), les nouvelles méthodes de tissage et moulage de matériaux composites, les techniques d'assemblages multimatériaux (avec des enjeux sur le comportement de tels assemblages), la fabrication directe de pièces (par frittage, fusion, impression 3D...) ou encore l'usinage grande vitesse.

L'optimisation des pièces tirant parti des nouveaux matériaux et procédés d'assemblage permet des gains de poids parfois considérables qui se répercutent immédiatement sur la consommation du véhicule.

Il est à noter que les outils et méthodes de conception et de validation font aussi partie des technologies clés et sont détaillés dans une fiche dédiée.

Applications

La multiplication des équipements, l'amélioration du niveau de performance des motorisations et la disponibilité d'hydrocarbures bon marché ont contribué à l'augmentation considérable de la masse des véhicules routiers ces dernières décennies. Aujourd'hui les constructeurs et équipementiers cherchent à inverser la tendance. Les réductions se font sur :

- le groupe motopropulseur (moteur, transmission, boîte de vitesse...) : les contraintes sont d'ordre mécaniques et thermiques ;
- l'habitacle et la carrosserie : avec des contraintes de résis-

tance aux chocs, à la corrosion, aux rayures, ou encore esthétiques.

À plus long terme (dix ans), la voiture tout composite pourrait être produite en grande série.

Le secteur aéronautique n'est pas en reste, ce dernier ayant bien avant l'automobile cherché à réduire la masse des avions pour réduire les coûts d'exploitation. Les dernières générations d'avion, notamment l'Airbus A350 XWB, le Boeing 787 ou encore le futur Dassault Falcon, font ainsi la part belle aux matériaux composites pour les éléments de structure ou de voilure (53 % de la masse de la structure primaire est en matériaux composites dans l'A350). Le démonstrateur « Avion tout composite » initié dans le cadre du grand emprunt par le Corac (Conseil pour la recherche aéronautique civile) vise à réaliser des gains de près d'une tonne sur les fuselages actuels, ce qui permettrait d'économiser 175 tonnes de kérosène par an et par avion.

Bien que l'allègement soit moins important que dans d'autres secteurs, l'industrie ferroviaire commence à s'y intéresser pour réduire la masse des motrices et des rames. Par exemple Alstom inclut des matériaux composites dans la conception des bogies de sa nouvelle automotrice grande vitesse (AGV).

Enjeux et impacts

Dans tous les cas, les problématiques matériaux répondront à la question « comment faire plus léger en conservant les mêmes performances fonctionnelles par ailleurs ? ». Dans un contexte réglementaire de plus en plus restrictif concernant les émissions, l'allègement constitue un enjeu de taille pour limiter les consommations et améliorer la performance énergétique des véhicules.

Selon une étude récente d'un bureau d'étude [5.24], une diminution du poids des voitures de 21 % est réalisable d'ici à 2017, et de 38 % d'ici à 2020 (hors groupe motopropulseur). La problématique d'allègement est particulièrement importante pour répondre à l'électrification des transports terrestres et contrebalancer le poids des batteries (jusqu'à plusieurs centaines de kilos pour une voiture électrique standard) et des groupes motopropulseurs de plus en plus sophistiqués.

Le secteur aérien est quant à lui particulièrement intéressé par le double enjeu auquel répond l'allègement : diminution du coût d'exploitation des nouveaux avions demandée par les compagnies aériennes, et limitation des émissions de CO₂ (un quart des émissions dans le domaine des transports en France). À noter que dès 2012, le secteur aérien sera intégré au système communautaire européen de quota d'émission, ceci afin de responsabiliser les compagnies aériennes.

Degré de diffusion dans l'absolu

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input type="radio"/>	Diffusion croissante
<input checked="" type="radio"/>	Généralisation

Degré de diffusion en France

<input type="radio"/>	Faible diffusion
<input checked="" type="radio"/>	Diffusion croissante
<input type="radio"/>	Généralisation

Parallèlement à l'enjeu énergétique, les nouveaux matériaux et techniques d'assemblage doivent répondre à d'autres préoccupations :

- la sécurité par un renforcement des structures, des propriétés d'absorption accrue ou encore pour une meilleure résistance à l'environnement (feu, eau, poussière...);
- les problèmes de recyclabilité et de traitement des déchets : en 2015, 95 % des matériaux utilisés dans la fabrication d'une voiture commercialisée en Europe devront être recyclables ;
- les performances acoustiques et la tenue aux vibrations. La réduction de la pollution sonore est notamment un enjeu très fort dans le domaine des transports ;
- l'esthétique pour les matériaux apparents.

Acteurs

Principaux acteurs français

- **Recherche** : Critt Matériaux ; l'Institut Carnot MIB ; Cetim ; Onera ; Laboratoire des Composites ThermoStructuraux (LCTS) – CNRS, Université de Bordeaux ; Laboratoire d'ingénierie des matériaux de Bretagne (LIMATB), Rescoll
- **Pôles de compétitivité** : EMC2, Mov'eo, ID4Car, Aerospace Valley, LUTB2015, Astech, Pegase, Plastipolis
- **Industriels** : Airbus, Arcelor, Alcan, Aircelle (Safran), Dassault Aviation Faurecia, Plastic Osmium et Inoplast, Renault, PSA Peugeot Citroën, Hexcel Composites, Sora Composites, Timet Savoie, Montupet, ainsi que de nombreux sous-traitants et équipementiers

Position de la France

La France est plutôt bien placée pour ce qui est du travail sur les matériaux et l'allègement pour le secteur des transports. Elle bénéficie en effet de nombreux industriels donneurs d'ordre et de fabricant de matériaux innovants de renommée mondiale. Ces acteurs possèdent des centres d'innovation en France. Le réseau académique est aussi particulièrement développé sur le sujet des nouveaux matériaux et alliages.

Analyse AFOM

Atouts

Potentiel de recherche élevé et nombreux acteurs industriels de premier plan en France.

Faiblesses

Cloisonnement entre les différentes industries.

Opportunités

Secteur des transports très demandeur, marchés en croissance.

Menaces

Prix (rareté) de certains matériaux qui induisent des problèmes de sûreté d'approvisionnements, problèmes liés à la récupération et au recyclage des matériaux composites.

Recommandations

Plusieurs actions permettraient de favoriser le développement des matériaux et technologies d'assemblage pour l'allègement :

- promouvoir le transfert et l'industrialisation par la réalisation de plateformes de validation ou d'actions pilotes ;
- favoriser la diffusion technologique du secteur aéronautique vers le secteur automobile ;
- développer des filières de recyclage adaptées aux nouveaux matériaux.

Liens avec d'autres technologies clés

1

7

11

69

Maturité (échelle TRL)

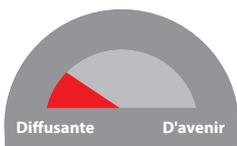
<input type="radio"/>	Émergence (TRL : 1-4)
<input type="radio"/>	Développement (TRL : 5-7)
<input checked="" type="radio"/>	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

<input type="radio"/>	Leader ou Co-Leader
<input checked="" type="radio"/>	Dans le peloton
<input type="radio"/>	En retard

Potentiel d'acteurs en France

<input type="radio"/>	Faible
<input checked="" type="radio"/>	Moyen
<input type="radio"/>	Fort



69. Outils et méthodes de conception et de validation

Description

Les méthodologies et outils de conception des composants et systèmes sont des clés de la compétitivité : ils permettent une conception de plus en plus rapide et de moins en moins chère, sans dégrader les conditions d'application des systèmes ainsi conçus.

Ingénierie système :

- permettre la co-conception des systèmes entre acteurs de différents niveaux dans la chaîne de valeur ;
- faciliter la gestion et la prise en compte des exigences, point clé de l'ingénierie système dans sa phase de conception. Cela implique une traçabilité rigoureuse jusqu'à la validation des systèmes ;
- prendre en compte les différents niveaux d'analyse qui permettent de qualifier un système industriel : Amdec, analyse de la valeur... ;
- intégrer les dimensions d'éco conception (voir fiche dédiée) ;
- dans le logiciel – embarqué notamment – l'outil de conception prend en charge l'encodage dans le référentiel choisi (encodeurs automatiques Simulink-Autosar...) ;
- l'analyse et la prédiction de la fiabilité et de la sûreté de fonctionnement sont des enjeux pour les systèmes complexes pour lesquels elles sont critiques.

Modélisation et simulation :

- la modélisation des systèmes est clé pour le test fonctionnel et la prise en compte des exigences lors de la conception : méthodes formelles, langages descriptifs spécifiques (SysML)... ;
- la simulation s'attache, elle, à évaluer numériquement le comportement physique du système. L'usine numérique, qui vise à simuler le fonctionnement complet de la chaîne de production entre dans cette catégorie. Pour ces deux éléments, on peut véritablement parler de prototypage numérique.

Évaluation et validation :

- la vérification fonctionnelle des systèmes met en œuvre des technologies logicielles et « hardware-in-the-loop » ;
- l'évaluation du cycle de vie, tant du point de vue de ses impacts organisationnels et environnementaux (analyse de cycle de vie) que du point de vue économie (*lifecycle cost planning*) font partie intégrante des processus. Ces outils rencontrent des verrous techniques et économiques :

- adaptation des outils aux usages : les PME ont besoin d'outils spécialisés sur leur métier ;
- le modèle de vente doit être adapté aux besoins et ressources des acteurs. Des modes de vente en SaaS ou en location apparaissent ainsi comme une des voies de diffusion de ces pratiques ;



- l'interopérabilité des outils logiciels doit être garantie aux industriels pour permettre la diffusion de leur usage. Elle concerne les modèles physiques, les exigences et spécifications, etc. ;
- prise en compte des standards de conception et évolutivité : les méthodes de conception doivent être conformes aux standards industriels, et évolutives pour permettre la prise en compte des nouveaux standards.

Applications

Les outils de conception et de validation trouvent leur place à tous les niveaux de la chaîne de valeur de la fabrication des véhicules et de la mise en œuvre des systèmes de transport. Tous les modes ne sont pas aussi avancés dans le déploiement de ces types d'outils vers les équipementiers de rang 2 ou plus.

Le monde aéronautique est précurseur, avec la défense et le nucléaire, sur la mise au point et le déploiement des méthodes et outils d'ingénierie système. Le ferroviaire et le naval suivent. L'automobile a fait sa révolution au niveau des constructeurs, mais le déploiement vers les équipementiers de rang 1, s'il est amorcé, n'est pas complet.

Enjeux et impacts

L'écosystème industriel du domaine des transports fait

Degré de diffusion dans l'absolu

● Faible diffusion
● Diffusion croissante
● Généralisation

Degré de diffusion en France

● Faible diffusion
● Diffusion croissante
● Généralisation



face à une concurrence forte des pays à moindre coût de main d'œuvre, non plus seulement sur la production, mais également sur la conception. Dans ce contexte, la maîtrise des aspects haut niveau de la conception à des coûts de développement concurrentiels, en parallèle de délais de conception de plus en plus courts, imposent de concevoir plus vite, de manière plus fiable, de réduire les délais et les coûts de validation en plus de garder la maîtrise française et européenne des technologies majeures. L'enjeu autour de cette question est le maintien de l'emploi en R&D des grands groupes européens, mais également la montée en compétence des PME qui, en développant une offre à plus forte valeur ajoutée, résisteront mieux à leurs concurrents internationaux.

Acteurs

Principaux acteurs français

- Dassault systemes, CEA, Renault, EADS, Airbus, CPC Premium, Areva, Dassault Aviation, Nexter, Thales, RATP, Altran, DCNS, Aneo...
- System@tic Paris-Région, Association Française d'Ingénierie Système (Afis), Incose, Insa Toulouse, INRIA, École Polytechnique, GDR MACS, INPL (Nancy), Ensta, Cnam, Nov@log...

Position de la France

L'ingénierie système pose deux types de problèmes. Le premier concerne le contenu technique et les méthodes. Sur ce plan, la France est dans le peloton de tête des pays développeurs, avec notamment un leader international sur les outils et des acteurs industriels leaders qui développent leurs méthodes.

Le second concerne la diffusion à un écosystème large des pratiques. La position relative de la France en la matière est difficile à estimer, mais il est crucial aujourd'hui de renforcer cette compétence, notamment au sein des PME, avec le juste niveau de complexité adapté aux métiers de l'entreprise.

Analyse AFOM

Atouts

Des acteurs de forte compétence, voire de premier plan international.

Question prise en compte de manière forte dans les projets de pôles de compétitivité impliqués dans les transports.

Quelques PME innovantes.

Faiblesses

Difficultés à diffuser les pratiques par manque d'outils adaptés aux PME.

Faiblesse de l'offre de formation ou de compétences.

Opportunités

Développement de la co-conception.

Menaces

Perte de marché des entreprises au profit des pays émergents.

Recommandations

La diffusion de ces pratiques et de ces outils se heurte aujourd'hui à un obstacle patent qui est le manque de personnels et étudiants formés. Une étude commanditée par le pôle System@tic en 2008 estimait à 12 000 le nombre de spécialistes « systèmes » à recruter dans l'industrie à un horizon de cinq ans, avec un déficit avéré de profils en réponse à la demande industrielle. Le besoin en formation, la plus appliquée possible, est aujourd'hui posé.

La promotion de formats de données normalisés faciliterait l'interopérabilité des systèmes. La généralisation de l'utilisation des outils logiciels à l'usage, peu diffusée aujourd'hui, assortie d'un accompagnement en compétences, est un facteur favorisant de la diffusion de leur utilisation dans l'ensemble de l'écosystème.

Liens avec d'autres technologies clés

19

26

40

58

59

61

62

65

67

Maturité (échelle TRL)

●	Émergence (TRL : 1-4)
●	Développement (TRL : 5-7)
●	Maturité (TRL : 8-9)

Position de la France

●	Leader ou Co-Leader
●	Dans le peloton
●	En retard

Potentiel d'acteurs en France

●	Faible
●	Moyen
●	Fort



BIBLIOGRAPHIE

- [5.1] Présentation de la Commission européenne : *Comment expliquer ce qu'est la technologie*, 2005. ftp.cordis.europa.eu
 - [5.2] International Transport Forum : *Key Transport Statistics 2008*, OCDE, 2008, <http://www.internationaltransportforum.org/>
 - [5.3] *Un avenir durable pour les transports*, Commission Européenne, juin 2009
 - [5.4] *Programme de travail 2008-2012* du Predit 4, Predit, 2009
 - [5.5] *Synthèse sectorielle Transports*, Oséo, Avril 2010
 - [5.6] *Chiffres clés du transport*, Édition 2010, MEEDDM, Collection Repères
 - [5.7] *2009 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*, Commission européenne, Joint Research Center, Novembre 2009
 - [5.8] Étude « Filières vertes », MEEDDM, Octobre 2009
 - [5.9] *European business: facts and figures*, 2009 edition, Eurostat, 2009
 - [5.10] *Transport outlook 2009 : Globalisation, Transport and Crisis*, OCDE/International Transport Forum Joint Transport research Centre, Discussion paper N° 2009-12, Mai 2009
- Transport routier**
- [5.11] *Stratégie de déploiement des infrastructures de recharge en France*, Dossier de presse de Luc Chatel, 17 février 2009
 - [5.12] *Ertrac Road transport scenario 2030+*, « Road to implementation », Ertrac, 2009
 - [5.13] *Accelerating toward 2020 – An automotive industry transformed*, Deloitte, Septembre 2009
 - [5.14] Eucar : *The Automotive Industry Focus on future R&D Challenges* ; novembre 2009
 - [5.15] Eucar : *The Electrification of the Vehicle and the Urban Transport System* ; juillet 2009
 - [5.16] US Department of Energy : *R&D Opportunities for Heavy Truck* ; juin 2009
 - [5.17] *Livre blanc pour le PREDIT 4, GO2 : Qualité et sécurité des systèmes de transport*
 - [5.18] LUTB 2015 : cartographie des projets de recherche
 - [5.19] *Mutations économiques dans le domaine automobile*, Pipame, avril 2010
 - [5.20] *Rapport de synthèse Motorisation propre*, Plateforme filière automobile, 2010
 - [5.21] *10 % des emplois dans l'automobile : un chiffre trompeur*, Sylvain Barde, Clair & Net, OFCE, février 2009
 - [5.22] *La congestion du boulevard périphérique parisien : estimation, évolution 2000-2007, discussions*, Martin Konning, Centre d'économie de la Sorbonne (Matisse), Janvier 2009
 - [5.23] *L'accidentalité routière en France : une année 2009 de contraste et un début 2010 encourageant*, MEEDDM, 2010
- [5.24] Lotus Engineering - *An Assessment of Mass Reduction, Opportunities for a 2017 – 2020 Model Year Vehicle Program*, mars 2010
 - [5.25] *Feuille de route véhicules routiers à faibles émissions des GES*, Ademe, Juin 2009
- Transport ferroviaire**
- [5.26] Fédération des industries ferroviaires : Brochure, www.fif.asso.fr
 - [5.27] *First annual draft of the ERRAC roadmaps*, Errac, Septembre 2010
 - [5.28] *Strategic rail research agenda 2020*, Errac, 2007
- Transport maritime et fluvial**
- [5.29] *WaterBorne - Vision 2020* ; 2006
 - [5.30] *WaterBorne - Strategic Research Agenda* ; 2006
 - [5.31] *Grenelle de la mer, groupe Navire du futur*, rapport d'étape janvier 2010
 - [5.32] *Les chiffres clés du Nautisme 2007-2008*, Fédération des industries du nautisme
- Aéronautique et espace**
- [5.33] *Acare : Addendum to the Strategic Research Agenda* ; 2008
 - [5.34] *Acare : European Aeronautics - A Vision for 2020* ; janvier 2001
 - [5.35] Pipame-DGCIS *Étude de la chaîne de valeur dans l'industrie aéronautique* ; septembre 2009
 - [5.36] Gifas : *Présentation de l'industrie française aéronautique, spatiale, d'électronique de défense et de sécurité* ; février 2010
 - [5.37] *Bilan annuel 2009* du Gifas, Jean-Paul Herteman, président
 - [5.38] *Aerostrategy 2009 : The attractiveness of the aeronautics MRO market and its segmentation*
 - [5.39] *Corac – Grand emprunt, programme de démonstrateurs*, mai 2010
- Industries support**
- [5.40] IFP : *Quelles énergies dans les transports de demain ?* novembre 2006
 - [5.41] World Energy Council : *Transport Technologies and Policy Scenarios to 2050* ; 2007
 - [5.42] Global Commerce Initiative / Capgemini : *Future Supply Chain 2016* ; mai 2008
 - [5.43] PWC : *Transportation & Logistics 2030* ; octobre 2009
 - [5.44] MEEDDM DRAST : *Prospective Fret 2030* ; juillet 2008
 - [5.45] Pipame-DGCIS-DGITM *Logistique et distribution urbaine* ; novembre 2009
 - [5.46] IFP : *Les énergies pour le transport : avantages et inconvénients*, décembre 2008
 - [5.47] Artema - *Rapport annuel 2009*

