

Journée d'étude du 19 décembre 2007

Mobilité, simulation et modélisation : conception des dispositifs au XXème siècle et appropriation des usages.

Dans le cadre de l'université Paris IV Sorbonne, sous l'égide du Centre de Recherche en Histoire de l'Innovation, dirigé par le professeur Pascal Griset, et avec le partenariat conjoint du Centre de Recherche de l'Armée de l'Air et du programme « Les Trajectoires de l'Innovation » de la Maison des Sciences de l'Homme d'Aquitaine, s'est tenu à Paris le 19 décembre 2007, une journée d'étude ayant pour thème : Mobilité, simulation et modélisation : conception des dispositifs au XXème siècle et appropriation des usages.

Les formes de mobilité se sont multipliées au cours du XXème siècle. Dès ses premières années, la montée en puissance de l'automobile et l'apparition de l'aviation ont bouleversé les modes de déplacement. L'impact de ces mutations a été considérable. Il a concerné en temps de paix les aspects les plus divers des domaines économiques, sociaux et culturels tout comme il a radicalement redéfini les formes du combat en temps de guerre. Ces dynamiques ont été largement étudiées et restent au cœur des problématiques développées par la communauté historique. Certains aspects restent cependant encore très mal connus. Le Centre de Recherche en Histoire de l'Innovation souhaite pour apporter sa contribution à ce large champ interroger les liens existant entre systèmes d'information et de communication et mobilité. Cette journée avait pour but d'étudier l'histoire des relations Homme-machine dans le domaine de la mobilité. Deux espaces ont été plus particulièrement abordés, l'air avec l'aéronautique, la route avec l'automobile.

Le cadre chronologique intègre l'ensemble du XXème siècle avec un regard plus attentif porté sur l'après Seconde Guerre Mondiale. Les questionnements se sont articulés sur les interrogations du temps présent ont favorisé les échanges interdisciplinaires tout comme les débats entre acteurs, historiens et analystes.

Plusieurs thèmes ont été abordés :

- La conception des machines (avions et automobiles) avec l'impact des assistances au pilotage, à la navigation, au combat et le développement de la simulation.
- Le développement des infrastructures (gestion du trafic, contrôle aérien, systèmes de commandement etc.) et les problèmes que leur utilisation soulève.
- L'apparition des véhicules commandés à distance ou bien automatiques : drones et « véhicule intelligent ».
- Les relations entre des communautés différentes (mondes de l'aéronautique, de l'industrie automobile, des télécommunications, et de l'informatique) interrogeant les cloisonnements entre recherche publique et recherche privée ainsi qu'entre recherche militaire et civile.

Après une introduction du professeur Pascal Griset, la journée d'études s'est déroulée selon différentes sessions thématiques. La première session, ***A propos de mobilité et de modèles...***, présidée par le professeur Christophe Bouneau (Université Bordeaux 3, Directeur de la MSHA), était constituée de deux interventions, la première par le professeur Alain Gras (Université Paris I Panthéon Sorbonne - CETCOPRA) sur *L'affinité entre vitesse et chaleur : la thermodynamique* ; la seconde par le Commandant Valérie Mérindol (CReA) portant sur *Mobilité, Innovation et guerre réseaux centrée : le rôle de l'utilisateur*.

L'intervention d'Alain Gras sur les macro-systèmes techniques tente de nous expliquer que la philosophie de Descartes puis celle des Lumières tout comme leurs opposés, celles de Bacon ou de Burke, dans le droit fil d'une pensée qui dénonce les limites imposées à la liberté de l'homme (ce ne sont pas les mêmes limites pour Burke ou Voltaire), ouvre le champ à une volonté de maîtrise de l'espace et du temps. Evidemment ce ne sont pas les philosophes qui sont la cause de quoi que ce soit pas plus que ne l'est pour la vitesse l'intendance des routes royales mais un nouveau climat social se met en place du point de vue du désir de communication matérielle, avant même l'arrivée du train. Toutefois ce n'est qu'au XXe siècle que va se mettre en place la « totale mobilmachung », selon le mot ambigu de Jünger, dont il faut décrypter le sens à la lumière de la sociologie des macro-systèmes techniques contemporains.

Le commandant Mérindol quant à elle a tenté de broser un tableau de la conception des grands programmes aéronautiques militaires. Celle-ci a toujours requis une interaction constante et étroite entre la Défense en tant que client des systèmes d'armes, l'industrie maîtresse d'œuvre des programmes et la recherche publique. Aux Etats-Unis comme en France, la Défense assure la fonction de maître d'ouvrage lui permettant d'orienter et de contrôler le développement des architectures technologiques des systèmes aéronautiques proposés par l'industriel maître d'œuvre. Cette fonction de maître d'ouvrage implique une organisation adaptée de la part de la Défense. Elle requiert l'existence de laboratoires de R&D, tests et essais militaires qui garantissent à la Défense la maîtrise des compétences technico-opérationnelles indispensables. Cette interface technologique entre l'utilisateur final (l'opérationnel) et l'industrie est indispensable à la réalisation des grands programmes. Au cours des années 1990-2000, l'introduction de nouvelles technologies de l'information et de la communication comme de nouveaux systèmes logiciels embarqués sur avions a progressivement accru la performance des avions. Elle a permis l'émergence de nouvelles tactiques notamment dans le cadre des opérations d'appui aérien. L'ensemble de ces évolutions tactiques est présenté comme l'émergence d'une nouvelle forme d'organisation des opérations militaires dites en « réseaux centrées ». Ces innovations ont modifié progressivement la manière dont la Défense interagit avec l'industrie. Si le statut de maître d'ouvrage est maintenu, il devient nécessaire pour la Défense de mettre en place de nouvelles interfaces entre la Défense et l'industriel. En particulier le développement des TIC sur programmes aéronautiques requiert une implication plus directe de l'utilisateur final (l'opérationnel). C'est moins l'interface technique qui va être mobilisée qu'une variété d'opérationnels qui sont directement en prise avec les données tactiques de terrain et qui vont devoir jouer un rôle actif pour développer les nouvelles interfaces hommes-machines nécessaires aux programmes aéronautiques.

Cette communication proposait d'analyser ce nouveau positionnement de l'opérationnel en tant qu'utilisateur dans le processus d'innovation. Ce travail était basé sur des études de cas en France et aux Etats-Unis.

La deuxième session, présidée par Marie Thébaud-Sorger (Chercheur EHES-CNRS), avait pour thème ***L'utilisateur dans les systèmes mobiles complexes. Dispositifs et pratiques.*** Elle était constituée de trois interventions. La première, menée par le Colonel David W. Versailles (Directeur du CReA) et l'Aspirant Sylvain Champonnois (Doctorant - Université Paris-Sorbonne CReA) sur le thème *La place de l'homme dans un système complexe : l'exemple du bombardier stratégique Mirage IV.*

La seconde, *La mobilité, berceau des applications de la recherche en ergonomie de l'informatique (aviation, marine et automobile) de la Seconde Guerre Mondiale à nos jours*, fut l'œuvre de Benjamin Thierry (Allocataire-Moniteur - Université Paris-Sorbonne).

Enfin, la troisième, portant sur *Les deux visages de l'incertitude : automatisation et appropriation des avions "glass-cockpit"*, fut menée par Caroline Moricot (Maître de Conférences à l'Université Paris I Panthéon Sorbonne - CETCOPRA).

La première intervention nous retrace les grandes lignes de la réalisation d'un bombardier stratégique : le Mirage IV. Ce programme mené de 1959 à 1964 représente un défi technologique et organisationnel. Il est une exception par rapport aux autres programmes d'armement par son caractère stratégique et la prééminence des contraintes de temps par rapport aux contraintes de budget. La mission stratégique du Mirage IV est simple : il s'agit de délivrer une bombe nucléaire sur la base des seules coordonnées géographiques du point d'impact. Ce système d'armes a pour composant essentiel le système de navigation et de bombardement (SNB) qui permet de mettre en œuvre la mission de bombardement stratégique par le ciblage de coordonnées. A travers l'élaboration du SNB, une véritable approche système est utilisée : elle permet d'intégrer tous les éléments requis. Le SNB concourt directement à la précision requise pour toucher la cible désignée après une croisière autonome et discrète de plusieurs milliers de kilomètres. Il se compose de quatre parties. Un radar doppler de navigation fournit la vitesse-sol et la dérive. Une centrale directionnelle donne la référence de cap qui est conservée grâce à une centrale de cap et de verticale. Une centrale aérodynamique donne les informations guidant la conduite du vol et le bombardement. Toutes ces informations sont ensuite échangées, coordonnées, traitées et centralisées. Le SNB comprend trois

calculateurs : un calculateur de point, un central et un de bombardement qui fournit le point de chute de la bombe.

Les éléments puis l'ensemble de SNB font l'objet d'essais à partir de fin 1959 et début 1960. Ils ont lieu d'abord au sol, au banc chez Dassault. Ensuite viennent les essais menés en vol au CEV sur huit avions de servitude, chacun testant un sous-ensemble du SNB. Deux originalités sont à relever. La contribution active du CEV et la répartition du travail entre les acteurs étatiques et industriels représente une entorse au principe de maîtrise d'œuvre du constructeur. Pour la première fois dans l'histoire de ce genre de programme, un banc d'intégration et de regroupement a été utilisé pour gérer la complexité du SNB.

La première prise d'alerte opérationnelle a lieu le 5 octobre 1964, l'arme accrochée sous l'avion. En juillet 1966, l'équipage du Mirage IV n°9 officialise avec l'opération «Tamouré » la capacité nucléaire de la France avec une mission grandeur nature et un tir nucléaire dans l'Océan Pacifique.

L'exposé de Benjamin Thierry nous montre quant à lui que l'ergonomie entretient avec la mobilité dans la seconde moitié du XXème siècle une relation étroite et suivie. Née pendant le second conflit mondial des amours de la psychologie et des corps militaires (l'aviation tout particulièrement), elle opère un véritable renversement du paradigme de conception des systèmes de commandes : il faut désormais adapter la machine à l'homme et non l'inverse pour augmenter l'efficacité globale du système. Au cours des années 1960 et 1970, elle permet l'informatisation du contrôle aérien français en respectant les savoir-faire acquis et les impératifs de « risque zéro collision ». Le contrôle de processus dynamique assisté par ordinateur devient dès lors son territoire d'intervention privilégié et le creuset de ses concepts fondateurs (charge de travail, mémoire opérationnelle, organisation des informations sur écran, etc.). Les pionniers de l'ergonomie de l'informatique de l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique interviennent également dans la mise au point des systèmes de contrôle du trafic maritime, ferré ou routier renforçant les liens qui unissent la mobilité et l'ergonomie de l'informatique. La conjuration du risque, la gestion de la complexité du mobile et de celle de l'écran - espace de travail radicalement nouveau - sont les trois dynamiques responsables de la naissance de l'ergonomie en tant que dépassement d'un recours purement technique aux enjeux posés par la mobilité.

Enfin, Caroline Moricot retrace l'arrivée il y a un peu plus de quinze ans en France, dans le monde de l'aviation civile, d'une nouvelle génération d'avions : les *glass-cockpits*, qui associent des dispositifs automatisés de gestion des systèmes fédérés entre eux à une visualisation électronique des interfaces. Des écrans multifonctions remplacent les cadrans traditionnels, mais surtout des calculateurs viennent assister le pilote dans sa gestion du vol. L'auteur a eu la chance de pouvoir observer le travail des pilotes et de dialoguer avec eux alors qu'ils étaient en train de s'approprier ces nouveaux avions et leurs automatismes. Entre les bénéfices qu'ils y trouvent et les problèmes qui se posent à eux, il ressort que les avions « nouveaux » génèrent une incertitude irréductible : désormais, « rien n'est jamais acquis ». Ce sentiment exprimé par les pilotes a été explicité à travers différents exemples. Mme Moricot a aussi exposé les solutions qu'ils ont imaginées pour remédier à cette situation. De cette expérience du terrain, on retire l'expression d'une incertitude prise en compte quotidiennement par des acteurs qui évoluent à l'intérieur d'un grand système technique dont le risque est une composante déterminante. L'incertitude qui naît de l'usage (elle est particulièrement visible dans le processus d'appropriation) est indissociable de celle de la conception (incertitude liée au processus d'automatisation) : ces deux visages de l'incertitude se renforcent mutuellement. L'hypothèse a été faite qu'ils ne peuvent pas être pensé séparément.

La troisième session, ***Orchestrer la mobilité : systèmes et modélisations***, fut présidée par le Professeur Jean Robert (Université Paris Sorbonne), et fut constituée de deux interventions, l'une de Konstantinos Chatzis (Chercheur au LATTs-ENPC) intitulée *De l'importation de savoirs américains à la création d'une expertise nationale. La modélisation des déplacements urbains en France, 1950-1975*, l'autre menée par Marine Moguen-Toursel (Chercheur à l'EHESS), portant sur *Naissance et développement de nouveaux outils d'investigation pour la sécurité routière depuis les années 1950 : expérimentations et simulations*.

Konstantinos Chatzis a démontré que, durant les années 1950 et le début de la décennie suivante, plusieurs ingénieurs français, appartenant au corps des ponts et chaussées pour l'essentiel, importent des Etats-Unis, grâce à des voyages de mission et de séjours d'étude, des techniques de modélisation permettant de prévoir les déplacements futurs au sein d'une ville. Ces techniques sont alors en plein essor outre Atlantique. Les mêmes ingénieurs d'Etat développent, dans les années 1960, au sein de leur administration de tutelle (le Ministère de l'Equipement), plusieurs structures qui vont cultiver la modélisation des déplacements urbains. Parallèlement à l'action de l'administration, de grands bureaux d'études français de l'époque, privés et publics, se lancent aussi dans l'aventure de la modélisation des déplacements urbains. Au début des années 1970, on enregistre alors plusieurs modèles traitant des déplacements urbains « made in France ». Vers le milieu de la même décennie, l'administration opère un tri parmi ces modèles ; elle érige certains d'entre eux au statut de norme et généralise leur usage à travers le territoire national. La présente communication souhaite tracer le chemin qui mène, en une période de 25 ans (1950-1975), de l'importation des savoirs américains à la création d'une expertise nationale normalisée en matière de modélisation des déplacements urbains.

L'intervention de Marine Moguen-Toursel quant à elle, démontra que, depuis 1956, aux Etats-Unis, un petit groupe de scientifiques avait créé un consensus de santé publique sur le thème des blessés et des accidents automobiles. Ce groupe soutient l'idée qu'il est nécessaire de mettre rapidement en œuvre des études biomécaniques afin de réduire les chiffres catastrophiques de morts et blessés sur les routes. En France, une approche accidentologique et biomécanique prend forme également dès les années 1950, notamment initiée par les constructeurs automobiles. Les chercheurs s'interrogent sur les façons de prévenir l'accident et de rendre l'automobile moins dangereuse en cas de choc. Durant les années 1960 et 1970, cette nouvelle approche prend réellement son essor en développant des expérimentations, des calculs et des simulations, notamment pour répondre aux besoins de l'industrie automobile. C'est également l'époque où se créent de nombreux comités d'institutions internationales prenant ces questions pour objet d'étude. Cette nouvelle expertise contribue largement à améliorer la sécurité routière mais demeure longtemps du seul domaine des scientifiques, médecins et pouvoirs

publics responsables de sécurité routière. Elle met également beaucoup de temps à se traduire au plan de la législation du fait des débats et controverses suscités.

Enfin, la dernière session de la journée, ***D'une mobilité l'autre : la disparition du facteur humain comme nouvel horizon ?***, devait être présidée par le professeur François Caron (Université Paris-Sorbonne), mais celui-ci, absent, fut remplacé par le professeur Jean Robert. Cette session fut constituée de deux interventions : *De Praxitèle au Cycab : Une histoire du "véhicule intelligent" à l'Inria*, par François Devinant (Master ENPC-Paris-Sorbonne), et *Acceptabilité sociale de véhicules aériens automatiques - Peur, prudence ?*, par Claude Le Tallec (Ingénieur à l'Onera).

Dans son intervention, François Devinant nous a exposé les travaux de l'INRIA depuis les années 80, qui tentent de définir l'automobile comme champ d'expérimentation pour les nouvelles technologies de l'information et de la communication, au moyen d'une R&D sur les systèmes d'aide à la conduite et d'une réflexion plus expérimentale sur un concept innovant, celui du Cybercar, sorte de petit véhicule urbain automatique et électrique, totalement autonome et fonctionnant à l'aide de nombreux capteurs sur une infrastructure routière dédiée. Il y a la place ici pour établir une histoire d'un système technique passant par l'identification d'un processus d'innovation technologique à recadrer dans un temps long, depuis les années 1930 et la naissance de l'utopie américaine de la « Route du futur », jusqu'à la troisième révolution industrielle.

L'intervenant a tenté de montrer en quoi les travaux de l'INRIA sur les véhicules intelligents permettaient d'interroger la notion d'innovation dans le monde des transports, de questionner le rapport dialectique entre le véhicule motorisé et son infrastructure, ainsi que la gestion délicate du rapport entre recherche publique privée, en France, ces vingt dernières années.

Pour Claude Le Tallec, l'automatisation est devenue un phénomène commun aujourd'hui dans le transport ferroviaire : l'humain n'est plus à bord pour conduire un métro. Mais la trajectoire de ce dernier est physiquement contrainte (rails) et il reste possible de l'arrêter à tout moment. S'agissant des véhicules aériens, le problème

est tout autre. Leurs évolutions ne peuvent être ni physiquement contraintes dans l'espace aérien, ni interrompues en cas de défaillance majeure de l'un de leurs composants.

Son intervention se demandait donc si c'est une prudence légitime, fondée sur une maturité insuffisante de la définition et du concept d'opération de ces véhicules aériens automatiques, qui limite leur développement, ou une peur irrationnelle de les voir compromettre la sécurité des biens et des personnes au sol ou à bord ?

Au terme de cette journée, un débat s'est tenu sous la présidence de Patrice Carré (France Télécom), durant lequel de nombreuses questions ont été posées, puis la journée d'étude fut conclue par un propos liminaire du colonel Versailles. Nous ne détaillerons pas plus ces deux derniers événements puisqu'ils feront l'objet d'une publication vidéo sur le site de la MSHA prochainement.