

PROGRAMMATION SCIENTIFIQUE

2015-2020

CENTRE ÉNERGIE MATÉRIAUX TÉLÉCOMMUNICATIONS

PROGRAMMATION SCIENTIFIQUE
INRS-ÉMT (Janvier 2015)

Ce document a été largement rédigé par le professeur Henri Pépin, professeur émérite de l'INRS, en collaboration avec les professeurs et le directeur du centre EMT. Le professeur Pépin s'est chargé de coordonner toutes les étapes de la programmation scientifique depuis plusieurs années et a également organisé tous les ateliers et les groupes de discussion connexes.

Table des matières

1.	INTRODUCTION	1
1.1.	Historique du Centre	1
1.2.	Mission du Centre	1
1.3.	Vision de développement.....	1
2.	THÉMATIQUES DE RECHERCHE	2
2.1	Nanoscience et femtoscience.....	2
2.1.1	Nanoscience et matériaux avancés.....	2
2.1.2	Femtoscience et photonique ultra rapide.....	4
2.1.3	Perspectives futures	6
2.2	Sources d'énergie durable.....	10
2.2.1	Sources électrochimiques et applications électrochimiques	10
2.2.2	Sources photovoltaïques.....	14
2.2.3	Perspectives futures	15
2.3	TÉLÉCOMMUNICATIONS	17
2.3.1	Communications sans fil.....	17
2.3.2	Communications optiques et hybrides (Fibre / Sans fil)	18
2.3.3	Communications sensorielles.....	19
2.3.4	Perspectives nouvelles	21
2.4.1	Nanomatériaux et nanostructures pour la biologie et la médecine	23
2.4.2	La photonique au service des applications bio-médicales	24
2.4.3	Télémédecine	25
2.4.4	Perspectives futures	26
3.	APPARTENANCE DES PROFESSEURS AUX DIFFERENTS AXES DE RECHERCHE, COLLABORATIONS ET RAYONNEMENT	27
3.1	Professeurs et appartenance aux différents axes de recherche	27
3.2	Coopération inter-équipes et inter-centres	27
3.3	Collaboration avec les utilisateurs	27
3.4	Visibilité et collaborations internationales.....	28
4.	RESSOURCES HUMAINES, GESTION, FINANCEMENT, GRANDES INFRASTRUCTURES.....	29
4.1	Ressources humaines	29
4.2	Administration et gestion.....	29
4.3	Financement.....	29

4.4	Grandes infrastructures.....	29
5.	FORMATION, ENSEIGNEMENT	31
5.1	Programmes d'étude en cours:	31
5.2	Clientèle étudiante (début février 2014).....	31
5.3	Perspectives.....	31
6.	DEVELOPPEMENT DES EFFECTIFS PROFESSORAUX.....	32
7.	ANNEXE	33

1. INTRODUCTION

1.1. Historique du Centre

Le Centre en Énergie de l'INRS (CREN) a été créé en 1969 et s'est établi au départ dans les locaux de l'IREQ à Varennes. À l'origine, le CREN est spécialisé dans les recherches en plasmas reliées à la fusion par confinement magnétique et à la fusion par laser. À la fin des années 1970, le volet énergie solaire se rajoute aux activités du centre. Durant les années 1980, les domaines de recherche s'élargissent à l'électrochimie, aux matériaux, aux procédés pour la microélectronique et la photonique. À la fin des années 1980, le centre devient INRS Énergie et Matériaux. Pendant cette période, les recherches en fusion mènent au Centre Canadien de Fusion Magnétique, qui comprend un Tokamak, infrastructure d'envergure au Canada et à l'échelle internationale, grâce à un partenariat majeur avec l'IREQ. À la suite de la fermeture du Tokamak à la fin des années 1990, il n'y a plus de partenariat privilégié avec une industrie et les recherches se sont diversifiées autour de plusieurs nouvelles thématiques, à la fois fondamentales, mais aussi appliquées, en partenariat avec des PME.

Le centre des Télécommunications a été créé au début des années 1970 et s'est établi dans les locaux de Bell Northern Research (BNR). Les professeurs de l'INRS travaillent alors en symbiose avec les chercheurs de BNR. Ce partenariat privilégié avec une industrie a été rompu au milieu des années 90. En conséquence, les activités du centre se sont diversifiées tout particulièrement après le déménagement à Bonaventure. Le Centre des Télécommunications de l'INRS devient INRS Télécommunications à la fin des années 1980.

À la suite de la politique institutionnelle de fusion qui réduisit le nombre des centres INRS de huit à quatre, le centre INRS Énergie et Matériaux fusionne avec INRS Télécommunications en mai 2002, pour devenir INRS Énergie, Matériaux et Télécommunications (ÉMT). Le nouveau centre reste localisé sur deux sites (secteur Énergie et Matériaux à Varennes et secteur Télécommunications à la Place Bonaventure) et regroupe 40 professeurs, dont une vingtaine ont été engagés depuis 2001.

1.2. Mission du Centre

Le centre ÉMT est dévoué à des activités de recherche fondamentale et appliquée et formation de personnel hautement qualifié dans des domaines importants pour le développement socio-économique du Québec, en particulier dans les secteurs des télécommunications, de l'énergie durable, des matériaux avancés et de la photonique ultrarapide.

1.3. Vision de développement

Depuis 2002, la vision de développement du centre a capitalisé sur l'acquisition d'infrastructures majeures et uniques, telles que l'Advanced Laser Light Source (ALLS), le Laboratoire de Micro et Nano Fabrication (LMN) et le Infrastructure for Advanced Imaging (IAI), surtout grâce à la FCI et aux contributions de contrepartie du gouvernement du Québec. La mise en place d'infrastructures de premier plan dont la valeur totale dépasse 75 M\$ a permis de positionner le centre et l'institution aux plans national et international, ce qui a aussi aidé au recrutement de nouveaux professeurs et à leur rétention.

Les gros défis auxquels nous sommes confrontés dans le court et moyen terme portent sur le fonctionnement et l'opération des infrastructures d'une part et sur le recrutement de personnel hautement qualifié (étudiants gradués et stagiaires postdoctoraux) d'autre part.

En ce qui concerne le premier défi, nous sommes toujours à la recherche de nouvelles sources de financement pour assurer le fonctionnement des laboratoires dans le court terme et la pérennité des infrastructures dans le long terme.

En ce qui concerne le recrutement, notre vision de développement se focalise sur la mise en place de collaborations internationales. Ceci nous permet à la fois d'accroître notre rayonnement et la portée de nos collaborations et en même temps de recruter des jeunes très motivés.

2. THÉMATIQUES DE RECHERCHE

Les recherches entreprises à l'INRS-ÉMT peuvent se classer en deux grandes catégories :

- des recherches à caractère fondamental en nanoscience et en femtoscience
- des recherches orientées dans les domaines de l'énergie durable, des systèmes de télécommunications et des applications biomédicales des matériaux et de la photonique.

Ces recherches s'appuient sur de très importantes infrastructures à la fine pointe de la technologie qui ont été mises en fonction depuis 2002, surtout grâce à la FCI et aux fonds d'appariement du gouvernement du Québec.

2.1 Nanoscience et femtoscience

Les travaux en nanoscience et en femtoscience sont présentés de concert pour mettre en valeur les possibilités uniques de synergie offertes par la présence, dans un même centre de recherche, d'expertises et d'infrastructures de premier plan dans les domaines de l'ultra-petit et de l'ultra-court, ce qui est très rare et presque unique au plan international. Il convient, en particulier, de mettre l'accent sur deux infrastructures en développement, emblématiques de cette synergie et donnant à l'INRS une place unique dans le monde par les capacités offertes dans le domaine de l'imagerie dynamique : le microscope électronique à transmission dynamique et le laser femtoseconde de haute puissance moyenne opérant dans l'infrarouge moyen.

2.1.1 Nanoscience et matériaux avancés

Les professeurs de l'INRS développent plusieurs matériaux avancés ayant des propriétés électroniques, photoniques, chimiques, électromécaniques remarquables permettant de réaliser des dispositifs de pointe.

M. Chaker, M.A. El Khakani, D. Ma, R. Paynter, A. Pignolet, L. Razzari, F. Rosei, A. Ruediger, A. Yurtsever.

Nous citons quelques exemples de matériaux à très haute performance développés et étudiés au centre EMT pendant la dernière décennie.

- ❖ **Le dioxyde de vanadium** (VO_2) synthétisé par ablation laser sous forme de couches polycristallines de haute qualité possède la caractéristique remarquable de voir ses propriétés changer en fonction de la température; ce phénomène est attribué à un changement de sa structure cristalline (transition de phase). Ainsi à haute température le VO_2 se comporte comme un métal; son émittance est élevée induisant des pertes importantes par rayonnement. À basse température, le VO_2 se comporte comme un semi-conducteur qui rayonne faiblement vers l'extérieur. La température de transition métal-isolant peut être ajustée par dopage du VO_2 . On dispose ainsi d'un radiateur intelligent qui répond à la température extérieure et permet de maintenir la température des objets auxquels il est associé dans une gamme choisie. Ce système est considéré comme intéressant d'un point de vue fondamental, néanmoins les chercheurs de l'INRS fabriquent et optimisent ce matériau pour des applications spécifiques, par exemple dans le secteur aérospatial.
- ❖ **Les nanomatériaux hybrides** constitués (i) d'une part de nanoparticules dont les dimensions sont suffisamment petites pour présenter des propriétés de confinement quantique permettant de sélectionner la bande d'absorption voulue et (ii) d'autre part de nanotubes de carbone simple paroi possédant des propriétés inégalées pour le transport de charges sont d'excellents matériaux pour la réalisation de dispositifs optoélectroniques. Les chercheurs de l'INRS ont produit par ablation laser un hybride extrêmement performant constitué de nanotubes de carbone simple paroi sur lesquels sont déposés des nanoparticules de PbS. La déposition laser assure un contact atomique direct entre les deux matériaux et permet d'optimiser la taille des nanoparticules ainsi que la conductance des nanotubes de carbone.
- ❖ **Les nanocomposites** à base de nanotubes de carbone (par exemple des nanotubes de carbone incorporés dans des matrices de polymères ou en combinaison avec des nanocristaux) constituent des matériaux présentant des propriétés mécaniques, thermiques, électroniques et photoniques exceptionnelles. Des dispositifs micromécaniques pour le stockage et la restitution de l'énergie mécanique ainsi que pour l'actuation et le contrôle des contraintes ont été réalisés au centre ÉMT. En même temps, des cellules de Graetzel (Dye Sensitized Solar Cells) ont été fabriquées en utilisant un système hybride composé par nano cristaux de TiO_2 , colorant à base de Ru et nanotubes de carbone multi parois. Ce système composite permet d'augmenter significativement la stabilité des cellules.
- ❖ Un nouveau **matériau multiferroïque** sous forme de couches minces épitaxiées et de nanostructures de $\text{Bi}_2\text{FeCrO}_6$ (BFCO) a été synthétisé par ablation laser et aussi par synthèse hydrothermique. Il s'agit d'un matériau présentant une double structure perovskite avec de bonnes propriétés multiferroïques (ferroélectriques et magnétiques en même temps) à température ambiante (ce qui est une première). Ce nouveau matériau peut être utilisé dans plusieurs applications, à savoir des microsystèmes (dispositif permettant de transmettre de l'énergie à distance en utilisant les propriétés magnétoélectriques), des

dispositifs photovoltaïques ou pour la réalisation de résonateurs micro-ondes magnétoélectriques intégrés. Plusieurs matériaux dérivés (BMO, BCO, BFO) sont également étudiés.

- ❖ La synthèse de **couches minces d'oxydes de perovskite** de quelques nanomètres d'épaisseur permet d'explorer des propriétés de commutation résistive de ces films pour la réalisation de mémoires non volatiles.

2.1.2 Femtoscience et photonique ultra rapide

Les professeurs de l'INRS relèvent le défi des sources de rayonnement ultra-courtes, de haute cadence et de forte puissance moyenne couvrant une large étendue du spectre électromagnétique (des rayons X au Terahertz). La maîtrise de telles sources ouvre d'énormes possibilités en terme de retombées fondamentales et appliquées (de l'imagerie et caractérisation de la matière aux applications biomédicales) tout en étant accessibles directement au laboratoire (systèmes « table-top »), dans l'industrie ou à l'hôpital.

Le centre ÉMT mène aussi des études fondamentales sur le traitement purement optique des signaux optiques ultrarapides de manière à les contrôler et à les manipuler à volonté dans une perspective de montée en puissance du traitement tout optique des données à l'échelle mondiale.

P. Antici, J. Azana, J.C. Kieffer, F. Légaré, J.P. Matte, R. Morandotti, T. Ozaki, L. Razzari, F. Vidal

❖ **Sources ultrarapides de rayonnement et de particules**

- Sources de rayonnement ultra rapides

Le laboratoire de sources femtosecondes a été conçu comme une infrastructure internationale disposant de plusieurs types de faisceaux lasers femtosecondes : multikHz, 100Hz/4TW, 10Hz/10TW, 10Hz/200TW. Ces faisceaux laser permettent déjà de générer des impulsions ultra-courtes (de faible énergie : <mJ) sur une large gamme de longueurs d'onde (0.24–20 μm). Un important thème de recherche poursuivi est l'élargissement du spectre accessible en allant (i) d'une part vers des longueurs d'onde plus courtes (rayons X) pour explorer et contrôler la matière dans le laboratoire dans le domaine X sans avoir besoin d'aller sur les grosses installations telles que les synchrotrons et (ii) d'autre part vers des longueurs d'onde plus grandes (submillimétrique/THz) grâce aux possibilités d'imagerie et de spectroscopie offertes par ce rayonnement. À l'appui des travaux en laboratoire, des outils numériques sont élaborés afin de mieux comprendre et d'optimiser les différents processus de conversion de fréquence.

Rayonnement X. Une première approche est de générer des harmoniques de plus en plus élevées du rayonnement incident dans des configurations mettant en jeu des cibles gazeuses ou solides. Une source permettant d'aller jusqu'à 500 eV avec un flux de photons appréciable a ainsi été obtenue. Les travaux actuels portent sur l'extension vers le keV du fonctionnement de cette source. Une autre approche est de tirer parti de l'interaction d'impulsions lasers ultra-intenses avec des cibles gazeuses donnant lieu à

la formation de plasma sous dense. Dans ce dernier milieu, un certain nombre d'électrons de haute énergie accélérés vers l'avant, dans le sillage de l'impulsion laser, peuvent subir des oscillations transverses qui donnent lieu à l'émission vers l'avant de rayonnements X durs (keV et quelques dizaines de keV).

Rayonnement THz. Il s'agit d'un rayonnement submillimétrique dans la gamme de fréquence (~0.1–10 THz). Plusieurs processus de production du rayonnement THz sont exploités à l'INRS. Un processus particulièrement simple à mettre en œuvre utilise l'ionisation de l'air sous l'effet d'un rayonnement composé d'une fréquence fondamentale et de son harmonique. L'ionisation de l'air dans ces conditions crée un plasma d'azote qui émet efficacement sur un très large spectre et en particulier dans le domaine THz. Outre l'optimisation des sources THz, l'intérêt des chercheurs de l'INRS se porte aussi sur la caractérisation, la manipulation et la modulation des faisceaux THz.

- Sources de particules créées par le rayonnement.

L'interaction d'une impulsion laser très intense avec une cible solide ou gazeuse génère directement ou indirectement des particules énergétiques (électrons, ions, neutrons). Les travaux du centre ÉMT visent à optimiser les processus de production de ces particules ou à en inventer de nouvelles pour obtenir des faisceaux aux qualités exceptionnelles utilisables pour le développement de nouvelles spectroscopies ainsi que pour des applications biomédicales. Un rayonnement laser de très haute intensité et de très courte durée polarisé longitudinalement permet d'obtenir un faisceau d'électrons hautement directionnel et de très courte durée de quelques dizaines de keV, utilisable pour la diffraction d'électrons femtoseconde. De même, les protons produits lors de l'interaction d'une impulsion laser intense avec le plasma sous dense d'un jet de gaz présentant un profil de densité bien déterminé ont des caractéristiques dépassant ce qui est obtenu avec l'approche classique mettant en œuvre une cible solide. L'immense avantage est alors de pouvoir produire les protons avec les lasers à haut taux de répétition et d'avoir ainsi une source compacte de protons lasers adaptée au traitement du cancer.

- ❖ **Imagerie dynamique de la matière**

- Imagerie de réactions photochimiques en phase gazeuse

Les travaux effectués en utilisant les lasers développés au centre ÉMT se concentrent sur l'étude de certaines réactions photochimiques ultrarapides. Une emphase particulière est mise sur les réactions pour lesquelles il y a migration de protons; l'objectif est de comprendre la migration du proton et la manière dont se fait la réaction chimique avec des molécules telles que l'acétylène et l'allène. Un autre objet d'étude est de sonder la réorganisation électronique ultra rapide qui prend place lors de réactions chimiques induites par le rayonnement dans certains systèmes organiques. L'objectif ici est de comprendre comment l'énergie électronique déposée dans le système moléculaire se redistribue dans le temps. Les résultats expérimentaux sont expliqués par des simulations numériques à grande échelle afin de comprendre dans les moindres détails la dynamique de ces réactions chimiques. La migration des

protons est entre autres un processus important pour la combustion, la catalyse, et en biochimie.

- Imagerie de la matière condensée

Dans le cas des sources X ultra-courtes, l'intérêt se porte sur les transitions de phase et plus particulièrement sur l'étude du magnétisme ultra rapide. L'objectif est de contrôler la magnétisation avec des impulsions ultra-courtes. Pour maîtriser ce contrôle, il faut sonder le magnétisme avec du rayonnement X correspondant aux différents seuils d'absorption des atomes du matériau magnétique, avec une résolution temporelle de quelques fs puisque la démagnétisation se passe sur un temps de l'ordre de quelques dizaines de fs. Avec le rayonnement THz, l'intérêt se porte sur l'étude de la dynamique des porteurs de charge dans les semi-conducteurs et sur un tout nouvel aspect mettant en jeu l'interaction non linéaire des rayonnements THz et optique dans les diélectriques.

- ❖ **Traitement « tout optique » des signaux optiques ultrarapides**

Plusieurs facettes du traitement entièrement optique des impulsions optiques sont considérées :

- L'optique intégrée. Il s'agit de développer des dispositifs analogues aux circuits intégrés électroniques permettant de mesurer directement sur les puces par des procédés « tout optique » les caractéristiques complètes des données optiques transmises. L'optique intégrée est un complément essentiel de l'électronique et pourra éventuellement remplacer complètement cette dernière dans les réseaux de télécommunications. Il est développé aussi des lasers ultrarapides ultra-stables avec des performances exceptionnelles qui s'intègrent harmonieusement avec les circuits d'optique intégrée.
- L'optique quantique. L'utilisation d'états non classiques de la lumière est à la base des recherches en calcul et communication quantique. L'INRS développe des sources d'états non classiques, basées sur l'utilisation d'oscillateurs optiques paramétriques, qui ont l'avantage important de pouvoir s'intégrer aux dispositifs microélectroniques existants.
- L'optique non linéaire. Cette dernière permet de contrôler les propriétés de faisceaux optiques. Les professeurs de l'INRS exploitent les effets non linéaires pour accroître les possibilités de conversion de fréquence et augmenter l'amplification paramétrique, et aussi pour mieux contrôler le spectre de fréquence et la propagation de faisceaux lasers.

2.1.3 *Perspectives futures*

- ❖ **Matériaux avancés**

- Ce premier paragraphe est une synthèse basée sur les discussions, commentaires et propositions formulés lors d'un atelier sur les matériaux avancés tenu à Varennes en 2012.

- Les quelques dispositifs développés actuellement sont plutôt en amont des applications industrielles. Il manque une expertise pointue sur les aspects de simulation, fabrication, et caractérisation des dispositifs. Ces aspects sont abordés grâce à des collaborations externes et/ou par des contacts avec l'industrie.
 - En visant les dispositifs, les compétences du centre se limitent à une démonstration de principe à petite échelle. Dans ce contexte nous manquons de visibilité et de masse critique forte sur l'un ou l'autre aspect de nos activités de recherche. Nous avons des compétences multiples de type générique, appliquées, selon les circonstances et les opportunités, à certains secteurs. Cela permet une grande flexibilité et une grande capacité d'adaptation au contexte de financement, mais ne permet pas d'aller en grande profondeur ni de devenir une référence incontournable et donc représente une limite importante pour notre développement.
 - Pour combler nos besoins en termes de dispositifs, il est recommandé de chercher des compétences complémentaires aux expertises existantes, pour optimiser les applications sectorielles et développer ainsi véritablement une recherche orientée sur les dispositifs. Sur la base de l'analyse de nos forces et faiblesses, le centre ÉMT doit engager une masse critique de plusieurs professeurs avec des compétences complémentaires en électronique, photonique, optoélectronique, capteurs et dispositifs énergétiques, avec des profils très larges pour développer des collaborations multiples au sein du centre et profiter davantage des partenariats industriels.
- Perspectives dans le secteur aérospatial
 Pendant la dernière décennie, plusieurs professeurs du centre ont commencé à travailler sur des problématiques importantes pour le secteur aérospatial, surtout en partenariat avec la compagnie MPB Technologies. Ceci inclut les dispositifs et les matériaux avancés pour les satellites. Cette thématique peut devenir porteuse pour plusieurs raisons, entre autres des opportunités de financement spécifiques à travers l'Agence Spatiale Canadienne, l'Agence Spatiale Européenne, le Consortium provincial CRIAQ et la masse critique de compagnies du secteur au Québec. Un avantage important de cette thématique est représenté du fait que très souvent, le secteur est surtout intéressé par des prototypes pour des applications spécifiques, sans accorder trop d'importance aux coûts (pour un satellite, le coût principal est représenté par le lancement). Nos infrastructures avancées et nos compétences en matériaux, photonique et télécommunications représentent une opportunité de positionnement par rapport au secteur, qui n'est pas assez exploitée. Dans cette optique, il faut évaluer la possibilité d'engager au moins un professeur spécialiste du secteur et explorer des pistes pour monter des Chaires de recherche.
 - Microscopie dynamique (DTEM)
 L'INRS est en train de développer une infrastructure de pointe unique au Canada permettant de faire l'image de la matière avec simultanément une résolution spatiale du nanomètre (et possiblement de l'angström) et une résolution temporelle de la nanoseconde (et possiblement de la femtoseconde).

Cet instrument provient de la combinaison de la résolution spatiale d'un microscope électronique à transmission avec la résolution temporelle donnée par les impulsions lasers ultra-courtes.

Cette infrastructure, octroyée grâce à un projet FCI récent (2012) pourra opérer soit dans le domaine spatial réel, soit dans le domaine de l'énergie (en utilisant la spectroscopie de perte d'énergie des électrons), soit dans le domaine de la diffraction, permettant ainsi l'étude d'une immense gamme de phénomènes physiques, chimiques et biologiques.

À titre d'exemples d'études fondamentales pouvant être entreprises avec cet instrument et qui ne pouvaient avoir lieu précédemment, on peut mentionner : la dynamique structurale des matériaux à la base de mémoires non volatiles, la nano-plasmonique avec résolution spatiale et temporelle, la dynamique thermo-acoustique et les transferts d'énergie à l'échelle nanométrique du graphène.

Les implications technologiques des travaux entrepris avec cette infrastructure concernent, entre autres : les cellules photovoltaïques, les mémoires électroniques, les dispositifs de reconnaissance moléculaire et les nanoparticules utilisées pour le traitement des pathologies.

- Mariage de la nano plasmonique, du THz et de la microscopie

La plasmonique est un domaine en expansion très rapide qui permet une localisation et une amplification très forte du rayonnement électromagnétique en proximité d'une nanoparticule, à cause de la localisation des plasmons (oscillations collectives d'électrons dans un métal). Son association avec la radiation THz et la microscopie, permettra de franchir de nouvelles frontières dans ces domaines où les chercheurs de l'INRS ont une grande expertise à la frontière entre la nanoscience et la femtoscience.

❖ **Photonique ultra rapide**

- Ce premier paragraphe est une synthèse basée sur les discussions, commentaires et propositions formulés lors de l'atelier photonique/laser, tenu à Varennes en 2012.

- Il faut renforcer la place exceptionnelle occupée par le centre en imagerie dynamique en articulant l'emploi des infrastructures laser avec les autres infrastructures uniques du centre.

- Il est important d'organiser une série de colloques EMT/IAF pour développer des créneaux de recherche conjoints et viser la création d'un laboratoire commun entre les centres EMT et IAF à caractère pluridisciplinaire. Dans cet esprit, il est crucial de planifier des embauches conjointes entre les deux centres, visant des professeurs qui comprennent les enjeux biomédicaux et puissent faire l'interface avec les aspects biologiques, précliniques et cliniques. Pour bien saisir cette opportunité de développement, il ne faut pas non plus se limiter aux interactions avec le centre IAF. Ceci nous permettrait également d'identifier des nouveaux postes de professeurs à l'interface des disciplines, avec l'objectif de demander des postes additionnels au ministère.

- Perspectives pour une nouvelle génération de lasers femtoseconde opérant dans l'infrarouge moyen (1.5 – 15 μm) délivrant des impulsions de ~ 10 mJ et de quelques cycles optiques de durée à la cadence de plusieurs kHz (et même du MHz).

Il s'agit d'une infrastructure laser révolutionnaire dans le domaine de l'infrarouge moyen (1.5 – 15 μm) permettant de générer à haute cadence des impulsions ultra-courtes et énergétiques. Ces impulsions infrarouges sont des sources remarquables permettant de produire, par différents processus physiques, un rayonnement intense à haut taux de répétition (non accessible actuellement) dans les domaines du THz et des rayons X, rayonnement particulièrement approprié à l'imagerie de la matière condensée et biologique avec une haute résolution temporelle. Le laser infrarouge est basé sur l'amplification optique paramétrique dans le domaine des fréquences par opposition aux schémas actuels qui utilisent l'amplification dans le domaine temporel. Le concept est de répartir l'amplification dans plusieurs cristaux, chaque cristal occupant un segment du spectre complet. Les cristaux amplificateurs sont placés au plan de Fourier du système optique qui permet d'étaler le spectre et sont pompés avec un laser annexe de haute puissance moyenne. Ce schéma permet de disposer d'une très grande étendue spectrale et de générer naturellement des impulsions ultra-courtes.

Quelques exemples d'applications de cette source laser peuvent être mentionnés. Avec le THz intense il est possible d'étudier l'optique non linéaire et l'optique quantique aux fréquences THz, de contrôler à l'aide des forts champs électriques THz la bande interdite du graphène et de réaliser des modulateurs optiques à la fréquence THz ou des dispositifs optoélectroniques contrôlés par le THz. Avec le rayonnement X intense et de haute cadence, il est possible de réaliser un microscope X de laboratoire dans la fenêtre de transparence de l'eau pour les études de cellules vivantes ou congelées (sans aller sur les grosses installations de lasers à électrons libres). Par ailleurs, on peut envisager d'utiliser directement l'impulsion laser infrarouge dont la longueur d'onde est accordée à un mode de vibration (~ 3 μm) d'un polymère ou d'une molécule organique pour fabriquer des couches minces de ces molécules par ablation laser et disposer ainsi d'un outil beaucoup plus pratique que les lasers à électrons libres actuellement utilisés.

- Perspectives pour un laser multi couleur

La génération d'impulsions lasers ultra-brèves (de l'ordre du cycle optique) nécessite de travailler avec de très larges spectres. L'utilisation de plusieurs couleurs et le contrôle de la phase relative entre les différentes couleurs permettent d'avoir un spectre très large et ainsi de synthétiser une impulsion extraordinairement courte (impulsion dont la durée est de l'ordre du cycle optique). De plus, cette approche permet de contrôler la position du champ électromagnétique sous l'enveloppe d'intensité. Avec l'amplification dans le domaine des fréquences décrite ci-haut, il est possible d'amplifier de telles impulsions lasers. Les chercheurs du centre ÉMT travaillent aussi à développer une approche qui permettra de doubler efficacement le spectre de telles impulsions en utilisant l'espace des fréquences. Ainsi, il sera possible de synthétiser des impulsions dont le spectre aura plus d'une octave de composantes spectrales, ce qui permettra d'aller à des durées d'impulsion inférieures au cycle

optique. Il en résultera alors des impulsions qui ne peuvent se décrire par une enveloppe d'intensité, mais seulement par une oscillation du champ électromagnétique, comme cela se fait actuellement dans la région spectrale du Hz. Ce contrôle fin du champ électromagnétique permettra de contrôler les électrons à l'échelle temporelle attoseconde sans avoir à ioniser le système.

- Le laser à électrons libres compact

Les chercheurs de l'INRS, en collaboration avec leurs collègues du synchrotron canadien (Canadian Light Source), vont aborder le développement d'un laser à électrons libres compact permettant de générer du rayonnement X cohérent spatialement et temporellement. Ce laser sera adapté à l'imagerie dynamique et biomédicale de laboratoire sans avoir besoin de recourir aux grosses installations extérieures existantes. Les faisceaux d'électrons et de rayonnement X injectés dans l'onduleur sont directement produits au laboratoire par l'interaction d'impulsions lasers de haute intensité avec les plasmas appropriés.

- L'infrastructure SPACE

Cette infrastructure (Système de Puissance Appliqué au Contrôle Electromagnétique de la Matière) vise à doter l'INRS d'un système laser et d'équipements associés permettant d'atteindre sur cible une intensité laser voisine de 10^{23} W/cm² à un taux de répétition de 5Hz. Cette infrastructure est bâtie sur le laser 100 TW de ALLS délivrant sur cible 6J en 30 femtosecondes, et permettra d'obtenir sur cible 8J en 15 femtosecondes. Les intensités laser envisagées permettront de produire des faisceaux d'électrons dans la gamme de la centaine de MeV et des faisceaux de rayons X cohérents dans la gamme 10-50 KeV. De plus, de telles intensités laser ouvrent la voie aux effets d'électrodynamique quantique (QED) tels que la production de paires et la biréfringence du vide.

2.2 Sources d'énergie durable

Le développement de sources d'énergie durable, c'est-à-dire de sources d'énergie viables économiquement, totalement respectueuses de l'environnement et permettant de répondre aux besoins de développement de tous les êtres humains est un des défis scientifiques et techniques majeurs du 21^e siècle. Le centre ÉMT pour sa part exerce son activité dans le développement de nouveaux matériaux permettant d'améliorer l'efficacité des sources d'approvisionnement et de stockage énergétique. L'accent est mis particulièrement sur les sources électrochimiques : piles à combustibles, batteries ainsi que sur les sources photovoltaïques de nouvelle génération.

2.2.1 Sources électrochimiques et applications électrochimiques

Les recherches dans ce domaine visent à apporter des améliorations significatives à des composants essentiels des sources électrochimiques utilisées actuellement en vue d'accroître leur efficacité, de diminuer leur prix de revient et de les miniaturiser. Ces composants sont : les catalyseurs, le support des catalyseurs, les matériaux des électrodes, les électrolytes. L'expertise des professeurs est aussi mise à profit dans diverses applications.

❖ Piles à combustible

Une pile à combustible dans sa forme la plus élémentaire est un générateur électrochimique, avec deux électrodes et un électrolyte, dans lequel un combustible (typiquement l'hydrogène, ou un alcool) réagit à l'anode et l'oxygène de l'air réagit à la cathode pour produire de l'électricité de manière non polluante. Les réactions électrochimiques aux électrodes sont accélérées par la présence de catalyseurs.

Les travaux sur les électrocatalyseurs constituent une activité importante des recherches entreprises à l'INRS sur les piles à combustible.

- Les activités sur les piles à combustible à électrolyte membrane polymère (PEMFC) employant l'hydrogène comme combustible portent essentiellement sur l'emploi de catalyseurs non nobles à base de fer, au lieu du très coûteux platine, pour la réduction de l'oxygène à la cathode. Ces catalyseurs très actifs et capables de puissances équivalentes à celles générées par le platine ont l'avantage d'être beaucoup moins chers que celui-ci. Néanmoins, il faut encore résoudre le gros défi de leur stabilité. Les recherches dans ce domaine se font avec la collaboration d'une compagnie « Canetique Electrocatalyse » créée en 2010 et issue des travaux effectués à l'INRS dans le domaine des catalyseurs non nobles. Canetique Electrocatalyse est présentement incubée dans les locaux de l'INRS.

Il est à noter que les mêmes catalyseurs non nobles pour la réduction de l'oxygène en pile à combustible H_2/O_2 (Air) peuvent également être utilisés très avantageusement à la cathode des piles à alcool direct abordées au point suivant ainsi qu'à la cathode des micropiles et des piles microbiennes dont il est fait mention plus loin. Le même type de catalyseur non noble peut aussi servir à réduire l'oxygène de l'air dans les batteries métal-air telles que Zn-Air et Li-Ai.

- Dans le cadre des piles à combustible employant directement de l'alcool (méthanol, éthanol) comme combustible (DMFC, DEFC) les recherches portent sur l'augmentation des réactions d'oxydation à l'anode en présence du composé $Pt-CeO_x$ ainsi que sur l'accroissement de la stabilité et de l'activité des électrocatalyseurs en utilisant des matériaux à base de nanofils et de nanotubes de composition variable.
- Avec les piles à combustible employant l'alcool reformé en hydrogène comme combustible (RAFC) les travaux sont axés sur la compréhension des mécanismes catalytiques en jeu avec l'emploi des couches minces Pd/Zn, afin d'optimiser le rendement.

Les travaux sur l'électrolyte portent sur de nouvelles membranes à échange d'ions, adaptées aux différents types de piles : nouveaux polymères, préparation de membranes composites organique/inorganique et organique/organique.

❖ Batteries et supercapacités

Une batterie est un système électrochimique rechargeable ou non qui stocke de l'énergie chimique et qui la restitue sous forme d'énergie électrique délivrée pendant un temps plus ou moins long. Une supercapacité permet de fournir une énergie instantanée (grande puissance). L'obtention de batteries et supercapacités plus performantes que celles disponibles sur le marché passe, entre autres, par le développement de nouveaux matériaux pour les électrodes.

- Pour les batteries nickel-hydrure métalliques (Ni-MH), les études portent sur le développement de nouveaux matériaux actifs de l'électrode négative en utilisant comme matériaux des hydrures métalliques à base de magnésium (Mg) en remplacement des hydrures à base de terres rares. Cette activité sur les batteries Ni-MH se terminera d'ici à 2015.
- Pour les batteries Li-ion, les études cherchent à augmenter la densité d'énergie des batteries Li-ion en développant des électrodes négatives à base de Si en remplacement des électrodes conventionnelles à base de graphite. Il s'agit également de développer l'émission acoustique et la tomographie RX comme méthodes de caractérisation in situ de ces électrodes.
- Pour les supercapacités électrochimiques, il s'agit d'en améliorer les performances en préparant des électrodes à base d'oxydes métalliques mésoporeux. Il est alors possible d'augmenter la capacité spécifique et la cinétique des réactions de charge et décharge des oxydes métalliques en limitant la diffusion des espèces dans le cœur de l'oxyde et en favorisant l'accès de l'électrolyte au matériau à travers un réseau de pores adéquat.

❖ Microsources d'énergie

Les microsources d'énergie : micropiles, microbatteries, microbiopiles, microsupercapacités, constituent un volet d'activités en plein développement pour les applications portables et miniaturisées : télécommunications, ordinateurs portables, dispositifs portables variés, dispositifs implantables. Les études effectuées à l'INRS sur les microsources d'énergie portent essentiellement sur les catalyseurs, les supports de catalyseurs, le substrat des électrodes, adaptés aux différents types de piles miniaturisées.

- Pour les piles miniaturisées utilisant directement l'alcool comme combustible il est développé (i) des catalyseurs à base de Pt à l'échelle nanométrique (nanocatalyseurs), (ii) des supports de catalyseurs à base de nanotubes de carbone ou de chaînes de sphères de carbone, (iii) des substrats collecteurs de courant constitués de papier carbone.
- Pour les piles miniatures à combustible biologique (ex. : glucose), les travaux portent sur l'optimisation de la catalyse enzymatique à l'anode et à la cathode : choix des enzymes, immobilisation des enzymes sur le substrat conducteur fonctionnalisé.

❖ Travaux en amont sur les catalyseurs à base de nanomatériaux

Les réactions électrochimiques sont accélérées par la présence de catalyseurs. L'expertise des professeurs de l'INRS dans le domaine des nanomatériaux permet de proposer des catalyseurs pouvant améliorer considérablement l'efficacité des sources d'énergie

électrochimiques. Les matériaux considérés couvrent une large gamme : les métaux de transition (Pd, Pt, Ag, Mn, Ru, Ni), les alliages tels que NiRu, les oxydes (ZnO, MgO, SnO₂ ...), l'oxyde binaire Ce-Mn, les nanotubes de carbone, le graphène, les nanocomposites (Nb-TiO₂, mélange de nanotubes de carbone et de nanobilles de PbS). Différentes géométries ont été explorées : nanobilles (avec un seul matériau ou bien avec un cœur et une enveloppe de matériaux différents), nanofils (pleins ou creux), nanosurfaces, etc. Ce type de géométries est exploré pour exploiter davantage les effets de surface, qui ont une importance majeure dans les catalyseurs à base de nanomatériaux. Ainsi la synthèse de nanoparticules d'Or ou de l'alliage PtAu par ablation laser dans l'eau pure permet d'obtenir une surface « nue et pure » présentant un effet catalytique augmenté et des propriétés plasmoniques très intéressantes en même temps. L'expertise de l'INRS en science des surfaces et en caractérisation des propriétés structurales, chimiques et électroniques des effets de surface permet d'optimiser le choix et l'utilisation des nanocatalyseurs.

❖ Applications électrochimiques

L'expertise en électrochimie des chercheurs du centre est mise à profit pour résoudre des problèmes technologiques ayant des enjeux industriels.

- Nouvelles électrodes pour l'électrolyse du chlorate de sodium. Une nouvelle approche a été proposée pour mettre en œuvre l'utilisation de poudres nanocristallines Ti-Ru-Fe-O incorporées aux électrodes impliquées dans les cellules d'électrolyse. Elle utilise la projection à froid couplée à un laser pour nettoyer la surface des substrats avant de procéder aux revêtements électrocatalytiques qui utilisent les poudres. Ces poudres permettent de réduire notablement la surtension cathodique.
- Electrodéshydratation des boues d'épuration. L'électrodéshydratation est un procédé qui requiert 10 fois moins d'énergie que le séchage traditionnel. Il demeure des problèmes à résoudre avec les anodes utilisées industriellement. Les activités du centre ÉMT ont pour objectif de comprendre et de résoudre la problématique des anodes.
- Electrocatalyseurs pour l'oxydation de l'ammoniac. Il s'agit de développer des électrocatalyseurs capables d'oxyder de manière sélective et efficace l'ammoniac en azote.
- Anodes inertes pour l'électrolyse de l'aluminium. Des activités récentes ont porté à la conception des anodes inertes métalliques, obtenues à partir d'alliages nanostructurés synthétisés par broyage mécanique, qui présentent une résistance à la corrosion en milieu cryolithique nettement améliorée par rapport à leurs équivalents préparés par la métallurgie conventionnelle. L'emploi de telles anodes inertes lors de l'électrolyse de l'aluminium permettrait d'émettre de l'oxygène plutôt que du CO₂. Le procédé de préparation des anodes inertes résistantes à la corrosion sera testé à l'échelle pilote.
- Élimination des nitrates par méthode électrochimique. La contamination des eaux souterraines et de surface par les nitrates est un problème environnemental majeur. Les activités du centre ÉMT visent à optimiser l'électroréduction des nitrates en travaillant sur la préparation des matériaux des électrodes. Ils ont conçu un électrolyseur capable

de convertir les nitrates en azote avec une sélectivité de 100 % et une très faible consommation d'énergie. Un système pilote permettra de démontrer la stabilité et l'efficacité du procédé pour l'élimination des nitrates contenus dans des effluents réels.

2.2.2 Sources photovoltaïques

Les travaux entrepris à l'INRS se concentrent sur le développement de nouvelles générations de dispositifs photovoltaïques (souvent qualifiés comme cellules solaires de 3^e génération). Ces nouveaux dispositifs PV visent à exploiter les propriétés uniques et prometteuses des matériaux nanostructurés, ouvrant ainsi la voie à des efficacités de conversion de puissance (ECP) plus grandes que celles des cellules standard à base de Si (qui est actuellement la technologie PV la plus répandue). L'absence de la limite de Shockley-Queiser, les propriétés reliées au confinement quantique, de plus grandes mobilités des porteurs de charge, et l'exploitation sur mesure d'une plus grande étendue du spectre solaire sont toutes de nouveaux phénomènes physiques qui sont offerts par les nanomatériaux alors qu'ils sont absents dans le silicium. Alors que le Si est limité théoriquement à des ECP $\leq 30\%$ (les meilleures ECP réalisées à ce jour avec le Si sont de $\sim 23\%$), ces nanomatériaux promettent de meilleures capacités de photoconversion.

M.A. El Khakani, D. Ma, L. Razzari, F. Rosei, S. Sun

- ❖ La première approche consiste à utiliser les nanotubes de carbone (NTC). Leur capacité d'absorber efficacement et simultanément sur plusieurs longueurs d'onde du spectre solaire, leurs mobilités inégales pour le transport de charges, leur surface spécifique extraordinairement élevée et leurs propriétés thermoélectriques en font des candidats prometteurs pour le développement de dispositifs photovoltaïques hautement efficaces. Les dispositifs développés à l'INRS en utilisant des NTC sont basés sur deux concepts : (i) l'association des NTC avec des substrats de silicium. Ils sont efficaces non seulement dans le visible (comme le sont les cellules de silicium), mais aussi dans l'UV (domaine spectral où le silicium produit très peu de photocourant); (ii) l'association des NTC avec des TiO₂ et des colorants de Ru, matériaux à la base des cellules de Graetzel, pour en augmenter la stabilité de fonctionnement.
- ❖ La seconde approche exploite des nanoparticules de matériaux semi-conducteurs (points quantiques) dont les dimensions sont suffisamment petites pour qu'elles manifestent les propriétés de confinement quantique. Il est ainsi possible d'ajuster la bande spectrale d'absorption de ces nanoparticules pour qu'elle soit adaptée au spectre de rayonnement solaire, particulièrement dans le proche infrarouge. Les nanoparticules employées pour ces études sont constituées soit entièrement de PbS (réalisées par des méthodes physiques et chimiques), soit avec un cœur de PbS et une enveloppe de CdS (réalisées par voie chimique).
- ❖ Une troisième approche utilise des matériaux ferroélectriques/multiferroïques : des couches ultra minces nanostructurées de BCO, BFCO, BFO, BMO. Il s'agit dans ces travaux de développer des absorbeurs multispectraux nanométriques à grand rendement de conversion, capables de s'ajuster au spectre solaire.

2.2.3 Perspectives futures

❖ Extraits des commentaires et propositions formulés lors de l'atelier énergie

- Il est proposé une initiative ambitieuse englobant l'IREQ, l'INRS et CanMet autour de technologies PV de 3e génération.
- Il est proposé de mettre sur pied un partenariat avec l'IREQ autour des piles Li-ion et des piles Li-air. Il s'agit de définir des sujets d'intérêts communs et de bâtir un programme de recherche permettant d'obtenir des chaires de recherche et un financement conséquent.
- Il est proposé d'entreprendre des recherches sur les piles à combustible microbiennes et sur l'électroréduction du CO₂.

❖ Piles à combustible.

Il est envisagé d'explorer :

- Les piles à combustible microbiennes. Il s'agit de piles à combustible classiques avec anode, cathode, électrolyte/membrane échangeuse de protons dont la particularité est d'avoir une anode colonisée par des bactéries (catalyseur) qui interagissent avec toute matière organique (combustible) en milieu anaérobique (sans oxygène). La matière organique peut être un sucre ou des déchets. Une pile microbienne est un réacteur électrochimique qui transforme la matière organique en produits de haute valeur ajoutée (électricité, eau). Ces piles sont particulièrement adaptées à un environnement pauvre en ressources de combustibles, tel que le Grand Nord canadien et les villages éloignés de pays en développement.
- Les catalyseurs nanostructurés à haute efficacité et à faible coût. Il semble possible de réaliser des catalyseurs à haute efficacité à partir de matériaux nanostructurés conçus de manière rationnelle et obtenus à partir des métaux de transition bon marché.

❖ Microsources d'énergie.

Le principal défi dans ce domaine est la conception d'un microsystème opérationnel et éventuellement implantable dans le corps humain.

L'approche envisagée consiste à utiliser une structure de pile planaire, obtenue par des techniques dérivées des MEMS, élaborée sur un substrat de silicium. Les éléments clés (la manipulation du combustible, l'intégration des nanocatalyseurs, des électrodes, de la membrane) doivent être redéfinis à la lumière de la structure de pile choisie. L'architecture du microsystème devra aussi intégrer des éléments de contrôle et de gestion de l'eau, de la chaleur et de l'électricité générées.

❖ Applications électrochimiques

- Membranes métalliques pour la séparation de l'hydrogène. Il s'agit de développer des membranes métalliques pour purifier et séparer l'hydrogène directement lors de sa production à partir du gaz naturel. Les matériaux et les compositions d'intérêt sont sélectionnés théoriquement, et une fois synthétisés sont testés pour leur sélectivité à l'hydrogène.
- Détecteur pour l'ammoniac. La perspective est de développer des détecteurs d'ammoniac performants capables de répondre à une large gamme de conditions

d'utilisation. Ils sont basés sur la capacité de certains matériaux à oxyder électrochimiquement l'ammoniaque. Les matériaux d'intérêt seront sélectionnés théoriquement, synthétisés par ablation laser et testés comme éléments de détection.

- Extraction des terres rares des résidus miniers. Les terres rares représentent un enjeu économique et stratégique considérable. Leur extraction à partir de résidus miniers contenant de faibles proportions de terres rares devient économiquement rentable. Des moyens spécifiques doivent être développés tels que l'utilisation de liquides ioniques spécialement adaptés à l'extraction de terres rares en présence d'ions métalliques (Al, Fe, etc.).
- Electroréduction du CO₂. La réduction électrochimique de dioxyde de carbone (CER) est la conversion du dioxyde de carbone en des espèces chimiques plus réduites en utilisant l'énergie électrique. La réduction électrochimique de dioxyde de carbone représente un moyen possible de produire des produits chimiques ou des carburants, ce qui fait que le dioxyde de carbone (CO₂) devient une matière première. Les procédés développés à ce jour affichent un faible rendement thermodynamique (haute surtension), une faible efficacité de courant et sélectivité, des cinétiques lentes et une mauvaise tenue à long terme. La recherche de nouveaux électrocatalyseurs à meilleure performance est donc nécessaire.

❖ Nouveaux matériaux pour le photovoltaïque

- Nanostructures plasmoniques pour augmenter le captage du rayonnement solaire
Les nanostructures plasmoniques retiennent l'attention dans le domaine des cellules photovoltaïques en raison de la possibilité qu'elles offrent de mieux capter la lumière grâce aux propriétés de résonance des plasmons de surface. Cet effet de résonance provient d'oscillations de surface des électrons de conduction d'une nanostructure métallique, qui interagissent avec la lumière de manière résonante (dépendant de la taille et de la géométrie de la nanostructure). Les nanostructures plasmoniques peuvent piéger de manière efficace le rayonnement solaire en augmentant l'absorption et la diffusion de la lumière dans la couche photoactive et en permettant la conversion de la lumière en polaritons (résultants du couplage des plasmons de surface avec la lumière). La conception judicieuse de ces nanostructures et leur intégration aux cellules solaires soit dans la couche photoactive, soit aux électrodes est la clé du succès de leur utilisation dans le domaine photovoltaïque.
- Nanomatériaux pour remplacer les pigments photosensibles des cellules solaires DSSC (Dye sensitized solar cells)
La nouvelle génération des cellules DSSC développée par Graetzel en 1991 met en jeu le confinement quantique dans des nanomatériaux comme nouvel élément photosensible en remplacement des pigments organiques. Une cellule solaire DSSC est un système photoélectrochimique, inspiré de la photosynthèse végétale, avec une anode transparente, une cathode et un électrolyte. Sur la face intérieure de l'anode, il y a une couche de nanocristaux de TiO₂ imprégnés d'un pigment photosensible. Les électrons libérés par le pigment sous l'effet du rayonnement solaire diffusent à travers le TiO₂ jusqu'à l'anode. Les DSSC sont une alternative « low cost » aux cellules

photovoltaïques à base de silicium. Une cellule solaire avec comme élément photosensible un nanocristal fait de perovskite d'iodure de plomb ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) a atteint une valeur record d'efficacité de conversion en puissance de 15 %. La voie est ouverte au développement de nouveaux éléments photosensibles à base de nanomatériaux.

2.3 Télécommunications

À l'intérieur du vaste domaine des télécommunications, les professeurs de l'INRS se spécialisent dans trois grands axes de recherche : les communications sans fil, optiques et sensorielles. Les communications sans fil ont toujours été un sujet de recherche phare à l'INRS depuis le milieu des années 90. L'accent est mis naturellement maintenant sur la connectivité à tout moment, à tout endroit, avec tout type de terminal en bénéficiant du débit et de la qualité de service optimaux.

L'avenir des télécommunications optiques dépend de la maîtrise de la génération des impulsions optiques arbitraires de haute qualité et de la maîtrise du traitement des signaux optiques. Ce sont précisément les travaux entrepris avec grand succès à l'INRS. Il faut ajouter à cela l'optimisation des réseaux hybrides optique/sans fil.

Les télécommunications sont tellement omniprésentes dans notre vie de tous les jours que l'on peut les considérer comme un prolongement de nous-mêmes : un sixième sens qui prolonge et complète les cinq autres. À l'INRS, les professeurs apprivoisent ce sixième sens, au service de la parole, de l'image, de la téléprésence, de la qualité de vie.

2.3.1 *Communications sans fil*

S. Affès, S. Aissa, J. Azana, T. Denidni, L. Lé, L. Szczecinski, S. Tatu

❖ **Communications sans fil cognitives**

Les communications sans fil connaissent une phase de développement intense et rapide qui fait appel à la coexistence intelligente, transparente pour l'utilisateur, de différentes technologies et plateformes radio, impliquant aussi bien des personnes que des dispositifs ou des machines dans des environnements divers. L'objectif de connectivité et de débit maximum peut être atteint à l'aide de radios programmables et cognitives capables de s'adapter au contexte très variable de la transmission de l'information afin de toujours maximiser la performance. Plusieurs dimensions cognitives avancées sont considérées par les chercheurs de l'INRS : (i) les nouveaux récepteurs doivent être fonctionnels pour de multiples formats de transmission multiporteuse à haute vitesse, (ii) les nouveaux ensembles récepteur/émetteur doivent être autoajustables à l'environnement de l'utilisateur afin de s'adapter instantanément et de manière optimale à des conditions d'opération variables telles que des changements de mobilité, de localisation du trafic, de caractéristiques de propagation, (iii) les nouveaux ensembles récepteur/émetteur doivent pouvoir dialoguer de manière coopérative avec les autres terminaux à la disposition de l'utilisateur, (iv) la validation d'une communication optimale doit pouvoir se faire instantanément en temps réel. Ces contributions seront exploitées avec la prochaine génération de communications sans fil (4G+).

❖ **Dispositifs et systèmes micrométriques et millimétriques**

L'évolution des systèmes de communication sans fil est tributaire de l'amélioration des technologies au niveau des équipements. Deux axes de recherche sont privilégiés à l'INRS : les antennes performantes et innovantes dans le domaine des ondes millimétriques; les composants et systèmes novateurs à ultra large bande opérant à la frontière millimétrique/submillimétrique.

Dans la gamme 1–40 GHz, les travaux entrepris à l'INRS visent le développement d'antennes intelligentes utilisant les technologies les plus pointues : antennes diélectriques, antennes à structure électromagnétique à bande interdite. En contrôlant électroniquement les structures à bande interdite, dont le concept est une transposition dans le domaine RF de la structure à bande interdite photonique, il est possible d'envisager des antennes dont le diagramme de rayonnement peut être reconfiguré en termes de direction et de largeur de faisceau. La miniaturisation des antennes est aussi un enjeu majeur. Il est nécessaire d'optimiser l'architecture des systèmes d'émission et de réception des signaux pour aboutir à des systèmes intégrés compacts présentant une approche optimale en termes de coûts et de qualité.

Dans la gamme 60–100 GHz, l'accent est mis en particulier sur la conception de systèmes de communication sans fil « entrée multiples, sorties multiples » novateurs intégrant une nouvelle architecture des émetteurs/récepteurs et l'emploi de la technologie de fabrication planaire pour les composants. L'accent est mis aussi sur le développement de techniques d'imagerie 3D à haute résolution dans la bande (85 – 94 GHz) et au-delà.

2.3.2 Communications optiques et hybrides (Fibre/Sans fil)

J. Azana, M. Maier

❖ **Traitement du signal tout optique ultra rapide et applications**

Les travaux entrepris à l'INRS visent à bâtir les différentes briques photoniques permettant d'atteindre les objectifs de génération et traitement des signaux optiques à partir de technologies tout optiques à base de fibres et/ou de guides optiques intégrés. Le programme de recherche met l'accent sur des études théoriques et expérimentales fondamentales selon deux axes porteurs :

(i) La conception et le développement de méthodes de synthèse d'impulsions optiques d'amplitude et de profil temporel arbitraire. Les chercheurs de l'INRS travaillent sur une approche révolutionnaire qui permet de contrôler la forme des impulsions optiques. Il s'agit de coupler deux guides ou modes optiques distincts au moyen d'un réseau de caractéristiques appropriées, mais simple à réaliser; (ii) La conception et le développement de processeurs optiques permettant d'effectuer les différentes opérations de traitement du signal : différentiation, intégration, transformation de Fourier et de Hilbert, portes logiques tout optiques, manipulation programmable. Un des éléments clés est la génération des impulsions de contrôle optimales pour effectuer les opérations de traitement optique de l'information. La maîtrise des différentes briques optiques est applicable non seulement aux télécommunications optiques (commutation, codage, contrôle du flot de données...), mais aussi à d'autres domaines : informatique ultrarapide (mémoires optiques, filtres optiques programmables...), instrumentation de mesure de

signaux optiques ultrarapides (caractérisation en temps réel et en une mesure des données optiques), imagerie biomédicale (nouvelle génération de tomographie optique/OCT).

❖ **Optimisation de réseaux hybrides (Fibre/Sans fil) et applications**

Les réseaux de télécommunications permettent de relier les utilisateurs entre eux partout sur la planète, les utilisateurs aux fournisseurs de service, etc. On distingue d'une part les réseaux de liaison, c'est-à-dire la collection de chemins interconnectés de transferts d'information entre sous-réseaux locaux, d'autre part les réseaux de proximité plus proches des utilisateurs. L'INRS, ces dernières années, a mis une emphase particulière sur le fonctionnement et l'optimisation des réseaux de proximité basés aussi bien sur les technologies fibres optiques que sans fil. L'accent est mis sur la gestion optimale des ressources des réseaux optiques de proximité, sur la convergence des réseaux de proximité optiques et sans fil, afin d'aboutir à des réseaux fiables, contrôlés, capables d'intégrer de futures applications exigeantes définies par le contenu généré par l'utilisateur et la qualité du service.

Cette expertise s'applique, en particulier, à relever des défis majeurs du futur réseau intelligent du Québec. Ceci fera converger les secteurs de l'énergie, des communications, des transports au service d'une vision globale d'un fonctionnement optimal du réseau électrique impliquant les utilisateurs, les services auxquels ils ont accès et aussi les sources d'énergie propre alternatives distribuées localement pour réaliser la vision des « villes intelligentes » du futur. Les activités de recherche visent à apporter des solutions aux besoins des usagers dans le contexte du présent réseau d'abord et du futur réseau intelligent ensuite, en se focalisant de manière spécifique sur la montée en puissance des véhicules électriques et de leurs multiples sources d'énergie. Il est en effet nécessaire de concevoir un réseau de communication robuste basé sur la fibre optique et le WiMAX permettant une utilisation optimale du parc de véhicules électriques et des sources d'énergie disponibles pour ce mode de transport.

2.3.3 Communications sensorielles

J. Benesty, T. Falk, J.C. Grégoire, A. Mitiche, D. O'Shaughnessy

❖ **Communications multimédias : parole, image**

Reconnaissance automatique de la parole. Le succès de l'ASR (Automatic Speech Recognition) dépend de la perception des humains vis-à-vis des systèmes de reconnaissance vocale. L'utilisateur adoptera sans aucune restriction le fait de parler à une machine seulement si sa perception se rapproche de celle qu'il a lors de l'interaction humain-humain via la voix. Les travaux entrepris à l'INRS portent sur (i) l'apprentissage machine (l'adaptation rapide et automatique aux voix des individus et à des tâches différentes), (ii) la téléprésence (le fait de pouvoir retrouver le confort de l'interaction humain-humain tout particulièrement avec des appareils mobiles), (iii) les interfaces utilisateurs. Pour atteindre le niveau de performance souhaité, il s'agit de repenser le fonctionnement des dispositifs ASR existants bien au-delà d'améliorations incrémentales des méthodes utilisées jusqu'à présent. L'objectif est d'avoir un dispositif nécessitant des besoins limités d'adaptation et de puissance de calcul : un dispositif personnalisé pour des conditions spécifiques. Il faut un traitement adapté et affiné (i) de l'environnement (en

s'inspirant des conditions d'adaptation naturelle d'écoute de l'être humain), (ii) de la prise en compte de la personne qui parle (en utilisant des algorithmes d'adaptation reliés à notre connaissance de la production et de la perception de la parole humaine), (iii) du langage (avec un modèle de langage qui puisse être adapté à la tâche spécifique en cours d'exécution et qui soit basé non plus sur les mots, mais sur des sous unités de mots intelligemment choisis).

Traitement des images. L'information visuelle occupe une place vitale en santé, sécurité, enseignement, robotique. L'information utile doit être extraite d'images complexes, souvent inorganisées et de nature disparates. Les travaux entrepris à l'INRS se concentrent sur la résolution de problèmes fondamentaux en vision par ordinateur, ce domaine du traitement d'images dont le but ultime est de déterminer le contenu des images. Un sujet d'étude est la segmentation d'images, c'est-à-dire leur division en régions répondant à des descriptions données. Ce problème se retrouve en avant-plan en imagerie médicale et satellitaire ainsi qu'en indexation automatique des bases de données multimédia. Un autre sujet d'étude est l'analyse du mouvement visuel. Cette analyse permet de recouvrer le relief et la cinématique 3D des objets en mouvement dans une scène et de réaliser leur suivi dans le temps. Cette analyse est donc cruciale pour des applications comme la surveillance électronique et la robotique mobile.

❖ **Téléprésence : téléconférences.**

Les chercheurs de l'INRS développent une nouvelle génération de systèmes de téléconférences. L'objectif est de faire en sorte que les intervenants d'une téléconférence se sentent aussi à l'aise que s'ils étaient face à face dans le même environnement. Il faut de toute évidence un échange duplex sans aucune limitation qu'elle soit technique, de mouvement ou d'atmosphère, une qualité parfaite du son capturé en un lieu et rendu dans un autre, un environnement sonore réaliste qui recrée l'impression d'être entre soi. Les techniques mises en œuvre sont les suivantes. **Re-création d'un espace où l'on ne perçoit pas la distance.** Il faut pouvoir localiser dans l'espace de multiples sources acoustiques. L'utilisation d'une architecture MIMO (multiple-input-multiple-output) pour les systèmes de son employés, combinée avec le traitement de signal adéquat, semble l'approche la plus prometteuse. **Suppression des échos.** Il s'agit de développer de nouveaux algorithmes adaptatifs de traitement du signal pour les systèmes de son multicanaux. **Suppression de la réverbération.** L'utilisation de batteries de microphones est appropriée. Le défi réside dans le traitement des signaux acoustiques dans les cas réalistes pour introduire la de-réverbération. **Utilisation de la technologie binaurale.** Il s'agit de chercher à exploiter la réception des signaux acoustiques par les deux oreilles. En principe, cela permettra une meilleure spatialisation et une amélioration de la perception d'une source spécifique dans un environnement bruité.

❖ **Technologies multimédias anthropomorphiques**

Il est reconnu que l'incorporation de modèles humains dans les technologies multimédias peut améliorer considérablement le fonctionnement de ces dernières. Il manque toutefois une bonne connaissance du processus humain cognitif. Ainsi, si le modèle auditif accepté décrit bien la transformation de la parole en signaux d'excitations du nerf auditif, la manière dont le cerveau procède pour donner du sens à ces signaux n'est pas connue. Des

modèles cognitifs sont nécessaires pour savoir par exemple, dans le domaine de la parole, comment se forme l'impression finale de qualité satisfaisante, comment les humains décodent la parole dans de multiples environnements, parfois agressifs (bruit, désordre des mots, accent, etc.). Les aspects sur lesquels les chercheurs de l'INRS travaillent, tout particulièrement dans le domaine de la parole, sont les suivants : modèles cognitifs de la perception de qualité, modèles cognitifs de la mémoire à court terme (ce qui est perçu en dernier revient en mémoire en premier), modèles d'états affectifs influençant la qualité d'expérience (QoE), modèles cognitifs adaptés aux personnes souffrant de troubles auditifs, intégration audio/image et conséquence pour la qualité d'expérience.

❖ **Communications de qualité.**

L'essor de l'Internet et la banalisation de la connectivité, surtout sur des dispositifs mobiles, nous amènent à revoir notre compréhension usuelle de la communication et de sa qualité. Historiquement, les réseaux étaient conçus pour un service donné, à un niveau de qualité donné. Le passage à un réseau unifié change la donne : les paramètres de qualité que l'on établit au niveau du réseau ne donnent plus d'indication suffisante pour le service reçu par l'utilisateur. On parle maintenant de qualité de perception (QoP), si on se limite aux sens, voire de qualité d'expérience (QoE), si on inclut l'environnement de l'utilisateur en entier.

Outre les problèmes posés par la mesure de la qualité de perception elle-même, le nouvel enjeu, tant pour les fournisseurs de service que les fournisseurs d'application est d'arriver à contrôler cette qualité à travers les moyens qui sont à leur disposition, à savoir les caractéristiques du réseau, ainsi que les caractéristiques du média transmis. Plutôt que d'essayer de garantir un niveau de qualité déterminé, on essaye de modifier des éléments applicatifs pour compenser toute lacune du réseau. Nos travaux se poursuivent sur l'étude de moyens de contrôler la qualité de perception dans des contextes technologiques particuliers, principalement pour les communications mobiles, où l'évolution technologique a les effets les plus marquants sur les habitudes des utilisateurs. Dans ce cas, de nombreuses situations de compromis sont identifiables, associées à des conditions d'utilisation particulières qui se traduisent par des configurations de communication différentes. Reste à déterminer la meilleure adéquation pour chaque situation.

2.3.4 Perspectives nouvelles

❖ **Extraits des commentaires et propositions formulés lors de l'atelier télécommunications**

Il est nécessaire de bâtir un effort collectif et de développer des projets communs. Il est proposé :

- la mise en place d'un programme autour du réseau intelligent
- la mise en place d'un programme de communication optimale regroupant le sans fil, les micro-ondes, les fibres optiques. (Une approche intégrée des TIC à ultra haut débit)
- la mise en place d'un programme autour du thème « human multimédia » (nouveaux services axés sur l'individu et son environnement)

❖ **Nouveaux services axés sur l'individu et son environnement**

La dernière décennie a vu la concrétisation de la convergence des services de télécommunication traditionnels sur IP (Internet Protocol), et la démocratisation d'un accès mobile à large bande à l'Internet. L'essor de la quatrième génération, déjà en cours, ne va qu'amplifier cette tendance. Au-delà des services de communication de base, ceci va créer un environnement propice pour la création de nouveaux services axés sur l'individu et son environnement. Pour l'individu, les communications sensorielles vont présenter un intérêt accru, particulièrement pour la santé, mais tout simplement le mieux-être en général, en lien avec la qualité d'expérience. Le lien avec les différentes fonctions du corps via des capteurs adéquats, ainsi que les technologies de communication adéquates pour un réseau de communication corporel sont des problèmes auxquels nous nous consacrons. Le lien entre l'individu et l'environnement va également orienter les grands thèmes de recherche sur la prochaine décennie. Que l'on parle de ville intelligente, de transport d'énergie intelligent ou de transport intelligent, le déploiement de « l'intelligence » repose sur des réseaux de communication adaptés à une mission donnée, qui vont utiliser principalement des technologies sans fil dans l'accès, et être déployés par recouvrement sur l'Internet pour être intégrés en arrière-plan dans des « nuages » informatiques.

❖ **Une approche intégrée du développement des technologies de l'information et de la communication (TIC) à ultra-haut débit.**

La demande croissante pour le « toujours plus de capacité au coût le plus bas » requiert de concevoir la prochaine génération des TIC selon une approche multicouche. Une telle approche devra prendre en considération tous les aspects des différentes couches de communication et d'information (du niveau composant au niveau gestion), ainsi que toutes les solutions technologiques envisageables (des plateformes électroniques aux plateformes optiques à ultra-haute fréquence). Cette approche intégrée est essentielle pour utiliser efficacement toutes les ressources disponibles de manière à optimiser les performances des TIC en termes de vitesse de communication, de consommation de puissance, de versatilité en fonction de l'application recherchée.

L'INRS-EMT est en mesure d'apporter une contribution majeure à cet ambitieux programme en tirant parti des différentes expertises présentes au centre. Il manque une expertise au niveau des circuits et systèmes à l'interface des dispositifs et des réseaux optiques.

❖ **Le programme FONCER « PERSWADE » :**

À la suite de la table ronde avec les industriels, organisée pour avoir un avis de pertinence sur la réforme des programmes d'études en télécommunications, le professeur Affès s'est fait porteur d'une demande majeure « FONCER » qui traite les « Pervasive and Smart Wireless Applications for the Digital Economy ». Donc, grâce à l'effort du professeur Affès, de ses collègues (L. Le, M. Maier, S. Tatou) et de plusieurs collaborateurs dans les universités montréalaises (Concordia, École Polytechnique, ET McGill), le Centre a pu profiter de l'exercice de réforme d'un programme d'études pour octroyer le premier projet FONCER piloté par l'INRS.

❖ **Application à l'agriculture de l'expertise du centre : reconnaissance de la qualité des grains de céréales par traitement d'images.**

L'expertise de l'INRS en traitement d'images et en suppression du bruit de fond peut être mise à profit pour caractériser les propriétés physiques des grains : forme, dimension, couleur, caractéristiques optiques, et ainsi être en mesure de différencier et trier de manière automatique les grains de différentes qualités (A, B, C).

❖ **Transport électrique intelligent**

Le transport électrique est en pleine phase de développement. Au-delà des véhicules électriques eux-mêmes et des batteries performantes, il met en jeu une gestion intelligente du transport électrique lui-même, ainsi que du réseau électrique d'alimentation, et aussi un contrôle intelligent de la sécurité et de la navigation routières. L'expertise des professeurs de l'INRS en batteries, en réseaux intelligents et en communications intelligentes peut permettre de proposer un projet de transport électrique intégrant toutes les composantes d'un système global intelligent à haute performance. On peut voir un tel projet comme l'élément transport d'une ville intelligente.

2.4 Applications biomédicales

L'expertise et les infrastructures des professeurs de l'INRS EMT sont mises avec succès au service de la santé dans les domaines de l'imagerie, de la détection et du traitement des pathologies, de la réhabilitation, de la médecine régénérative, des revêtements antibactériens et de la télémédecine. Les différents travaux sont menés en association avec des biologistes ou des médecins qui travaillent soit à l'INRS IAF ou dans d'autres institutions québécoises (par exemple les hôpitaux, l'Université de Montréal et l'Université Laval).

2.4.1 Nanomatériaux et nanostructures pour la biologie et la médecine

M. Chaker, M.A. Gauthier, D. Ma, F. Rosei, F. Vetrone

❖ **Nanoparticules pour l'imagerie biologique et la médecine**

- Deux types de nanoparticules sont étudiés : (i) les boîtes quantiques (quantum dots) émettant dans le proche infrarouge (longueur d'onde adaptée à une forte pénétration dans les tissus), constituées d'un cœur de PbS et d'une enveloppe de CdS, (ii) les nanoparticules à base de composés fluorés (p. ex. : NaYF₄, LiYF₄) dopées avec des ions de terre rare (Tm, Er, Yb...) excitée dans le proche infrarouge et pouvant émettre soit dans l'UV, soit dans le visible, soit dans le proche infrarouge. La surface de ces nanoparticules est fonctionnalisée de manière à pouvoir s'attacher aux cellules ciblées pour l'imagerie. Un effort particulier est fait pour développer des stratégies pour accroître l'intensité d'émission des nanoparticules et pour optimiser la durée de cette émission en fonction des objectifs d'imagerie. La fabrication de nanoparticules combinant une forte fluorescence et des propriétés paramagnétiques permet de disposer à la fois de l'imagerie optique et de l'imagerie par résonance magnétique.
- Par ailleurs, un ambitieux effort dans la lutte contre le cancer est mis dans la réalisation d'une nanoplateforme multifonctionnelle avec des nanoparticules capables de cibler des cellules précises, d'aider à l'imagerie locale, de libérer localement un

médicament et de détruire des cellules cancéreuses. En plus de concevoir des nanomatériaux de type « particule », des nanomatériaux macromoléculaires et/ou colloïdaux permettant la vectorisation d'agents thérapeutiques jusqu'aux tissus atteints de maladie sont étudiés. Ces nanomatériaux sont décorés par des agents de ciblage (p. ex. : aptamères, anticorps, peptides...) pour permettre leur accumulation locale à ces endroits. Un effort particulier est fait sur le développement de liaisons covalentes dites « dynamiques » qui permettent, en réponse à un stimulus endogène associé spécifiquement avec la maladie, la libération de l'agent thérapeutique du vecteur. Un enjeu essentiel de cette nanomédecine est l'augmentation de la concentration de médicament dans les tumeurs associée à la réduction de la biodistribution de l'agent thérapeutique dans les tissus sains avec en conséquence un traitement plus sécuritaire.

❖ **Biomatériaux**

Les biomatériaux sont des matériaux qui ont la propriété d'être compatibles avec les cellules vivantes. Une première direction de recherche est l'étude des propriétés mécaniques, piézoélectriques, physiologiques de fibres vivantes telles que le collagène de type I ou II, afin de concevoir des fibres synthétiques biocompatibles. Une seconde direction de recherche est l'optimisation de la préparation de la surface d'objets synthétiques, tels que des implants, pour faciliter l'adhésion des cellules vivantes. Une autre direction de recherche est l'étude systématique des facteurs qui contrôlent les propriétés de surface des revêtements de carbone, sous forme de diamant amorphe, en vue de l'utilisation de ces revêtements comme couches antibactériennes sur des objets à usage médical.

2.4.2 La photonique au service des applications biomédicales

P. Antici, J.C. Kieffer, F. Légaré, T. Ozaki

❖ **Microscopie optique non linéaire pour les études biologiques et médicales**

Il a été développé à l'INRS une plateforme de microscopie optique non linéaire multimodale qui exploite plusieurs processus optiques non linéaires pour l'imagerie avancée d'échantillons biologiques. La génération de second harmonique est utilisée particulièrement pour étudier les maladies qui impliquent un réarrangement du collagène. La microscopie exploitant l'interférométrie de seconde harmonique permet de faire l'imagerie du cartilage et d'étudier l'ostéoarthrite. La microscopie CARS (coherent anti-Stokes Raman scattering) permet de faire l'imagerie de la myéline et d'étudier des maladies impliquant la démyélinisation telles que la sclérose en plaque.

❖ **Microscopie X d'échantillons biologiques en milieu naturel**

Les chercheurs de l'INRS ont mis au point une source X ultra courte qui permet d'avoir un flux appréciable de photons jusqu'à 500 eV. Avec une telle source, on peut envisager la microscopie X d'échantillons biologiques dans leur milieu aqueux naturel. En effet dans la gamme 300 500 eV l'eau est transparente et les éléments, tels que l'azote, que l'on trouve dans les spécimens biologiques, sont absorbants.

❖ **Détection précoce du glaucome**

Le glaucome est une pathologie silencieuse qui peut rendre aveugle. La région du fond de l'œil à travers laquelle débouche le nerf optique dans la cavité oculaire est particulièrement sensible aux variations de pression intraoculaire. Un accroissement de pression va déformer cette région et comprimer les terminaisons nerveuses et les vaisseaux qui la traversent endommageant ainsi le nerf optique. Par ailleurs, la rigidité de cette région peut varier selon les individus, entraînant une prédisposition au glaucome pour ceux dont cette région critique de l'œil n'est pas assez rigide. Une détection précoce du glaucome peut être basée sur la mesure optique des caractéristiques mécaniques de la membrane qui constitue cette région critique. Il a été mis au point à l'INRS avec des ophtalmologistes un interféromètre dans le domaine des fréquences qui mesure les vibrations dont cette membrane est le siège et permet d'établir un diagnostic en quelques minutes.

❖ **Inactivation de virus**

Un virus est entouré d'une enveloppe de protéines qui le protège, appelée capsid. Les chercheurs de l'INRS-EMT en collaboration avec leurs collègues de l'INRS-IAF ont mis au point une technique d'irradiation laser de virus qui permet de stimuler les modes de vibrations de la capsid. Il est possible alors de briser les liens de protéines, ce qui entraîne la rupture de la capsid et en conséquence l'inactivation du virus.

❖ **Détection précoce de tumeurs**

La détection précoce de tumeurs (du sein par exemple) nécessite une technique qui permet de faire l'imagerie d'éléments qui absorbent peu. Les chercheurs de l'INRS ont développé une approche beaucoup plus sensible que la radiographie X classique; elle est basée sur l'enregistrement des variations de phase du rayonnement X sur le pourtour des éléments que l'on veut détecter. Les sources X dans le domaine du KeV, créées par laser, ont la possibilité d'être des sources particulièrement adaptées à l'imagerie par contraste de phase.

❖ **Protonthérapie**

Pour soigner le cancer, le bombardement de tumeurs par des ions (c.-à-d. protons) est une alternative au bombardement par les rayons X quand l'emplacement des tumeurs rend délicat l'emploi des radiations. Les ions ont l'avantage de pouvoir déposer leur énergie quasi localement avec des effets négatifs minimes sur la matière en amont. Les chercheurs de l'INRS développent des sources de protons créés par laser particulièrement efficaces et compactes et les testent sur des modèles animaux. À terme, il sera possible d'amener la protonthérapie à l'hôpital alors que maintenant elle demeure confinée dans des centres spécialisés distincts de l'hôpital.

2.4.3 *Télémédecine*

T. Falk

- ❖ L'état d'avancement des senseurs humains et des moyens de communication à distance entre un patient et l'unité médicale qui le suit, permet à celle-ci de suivre à distance les signaux physiologiques du patient et d'intervenir au besoin et permet aussi au patient de

se contrôler lui-même sous l'« œil » de l'unité médicale. L'INRS met l'accent sur trois aspects : **Méthodes de mesure de la qualité des signaux physiologiques**. Cette évaluation est essentielle pour s'assurer que les senseurs sont correctement utilisés et pour permettre au personnel médical de contrôler la fiabilité de l'information. **Optimisation de la transmission et de l'utilisation des signaux fournis par un réseau corporel sans fil**. Il s'agit de pouvoir s'adapter au contexte (environnement, condition physique...) afin d'assurer la meilleure acquisition et exploitation de l'information. **Élaboration d'outils objectifs pour mesurer le degré d'intelligibilité de la parole chez des personnes ayant des difficultés d'expression verbale**. De tels outils pourraient être utilisés par les patients chez eux et leur permettraient de mesurer les progrès réalisés en cours de traitement tout en étant suivis par l'unité médicale.

2.4.4 Perspectives futures

❖ **Le laboratoire institutionnel d'imagerie biomédicale**

L'expertise en imagerie biomédicale du centre EMT (microscopie optique non linéaire, microscopie X, imagerie X des petits animaux, nouveaux marqueurs biologiques...) et l'expertise biomédicale proprement dite du centre IAF (virologie, cancer, immunologie...) sont complémentaires. Une synergie de ces deux expertises a tout naturellement sa place dans un laboratoire institutionnel INRS. Les chercheurs du centre EMT sont prêts à délocaliser certaines de leurs activités sur le campus de l'IAF pour bâtir ce laboratoire institutionnel. Il s'agit d'un projet majeur pour les prochaines années.

❖ **Interface cerveau/ordinateur.**

Le domaine de l'interface cerveau/ordinateur devient très à la mode avec en particulier les possibilités médicales de réhabilitation et de communication qui sont offertes en principe. Deux enjeux majeurs doivent cependant être maîtrisés pour rendre plus applicable l'utilisation de l'interface cerveau/ordinateur : (i) le traitement intelligent du signal pour obtenir des signaux de qualité avec des dispositifs de prix abordable, (ii) l'adaptation au contexte (âge, stress, fatigue, état émotionnel...) afin que la stratégie de mise en œuvre de l'interface cerveau/ordinateur soit optimale en temps réel.

❖ **Détection précoce du glaucome.**

Le traitement des images du fond de l'œil autour du nerf optique est un prolongement naturel des travaux déjà entrepris et est capable d'amener un meilleur diagnostic précoce du glaucome.

❖ **Inactivation de virus.**

Au lieu de procéder à l'inactivation à l'aide du rayonnement laser, il serait intéressant d'évaluer l'utilisation de rayonnement micro-onde ou Terahertz.

❖ **Surveillance automatique des souris lors des essais sur les animaux.**

Il est possible de mettre au point une surveillance à distance et automatique des souris afin de suivre leur comportement lors d'essais ou d'interventions.

3. APPARTENANCE DES PROFESSEURS AUX DIFFÉRENTS AXES DE RECHERCHE, COLLABORATIONS ET RAYONNEMENT

3.1 Professeurs et appartenance aux différents axes de recherche

S. Affes³, S. Aissa³, P. Antici^{1,4}, J. Azana³, J. Benesty³, C. Boucher*, M. Chaker^{1,2}, T. Denidni³, J.P. Dodelet², A. Elkhakani^{1,2}, T. Falk^{3,4}, M.A Gauthier⁴, J.C Gregoire³, D. Guay², J.C Kieffer^{1,4}, L. Lé³, F. Légaré^{1,4}, D. Ma^{2,4}, M. Maier³, J.P Matte¹, A. Mitiche³, M. Mohamedi², R. Morandotti¹, D. O'Shaughnessy³, T. Ozaki^{1,4}, H. Pacher*, R. Paynter¹, A. Pignolet¹, L. Razzari^{1,2}, F. Rosei^{1,2,4}, L. Roué², A. Ruediger¹, S. Sun², L. Szczecinski³, S. Tatu³, A. Tavares², F. Vetrone^{1,4}, F. Vidal¹, A. Yurtsever¹

¹ Nanoscience et Femtoscience

² Sources d'énergie durable

³ Systèmes de télécommunications

⁴ Applications biomédicales

* Études de fusion magnétique

3.2 Coopération interéquipes et intercentres

Il y a une forte collaboration entre les électrochimistes et les spécialistes des matériaux avancés basée sur le développement de nouveaux matériaux pour les sources d'énergie durable.

Il existe également une bonne collaboration entre les professeurs de nanoscience et de femtoscience, concentrée autour de projets spécifiques.

Le secteur des télécommunications collabore encore peu avec les autres secteurs. Toutefois, des collaborations entre professeurs de Bonaventure et de Varennes autour de projets communs sont en train de se mettre en place, surtout à l'interface entre la photonique et les télécommunications. Il faut signaler par exemple qu'un professeur de télécommunications dont le laboratoire se trouve à Varennes est amené à collaborer avec le groupe de photonique/lasers.

La collaboration intercentre n'a pas encore pris son envol réduite. À ce jour, elle met en jeu seulement quelques professeurs des centres EMT et IAF et un professeur de l'EMT et de l'ETE. Il y a certainement des opportunités de développement très intéressantes au niveau des collaborations intercentres, par exemple sur les technologies énergétiques, la nanobiophotonique et la nanotoxicologie, néanmoins il faudrait identifier des mécanismes institutionnels de démarrage de projets (« *seed funding* ») pour aider les personnes clés dans ses démarches. Des projets majeurs structurants tels que la Chaire UNESCO « MATECSS » pourraient aider énormément à créer de la cohésion à l'intérieur de l'institution.

3.3 Collaboration avec les utilisateurs

Dans cette section, il faut entendre le concept d'utilisateurs au sens large : les collègues universitaires et partenaires industriels utilisateurs de l'expertise des professeurs de l'INRS.

Chaque professeur a son réseau de collègues sur la terre entière (plus ou moins important selon les professeurs) avec lesquels il travaille, échange d'étudiants, de post-docs et fait des demandes de subventions. Ceci démultiplie les possibilités de publications et de financement.

Les partenaires industriels sont nombreux.

- Secteur des télécommunications : Apollo Microwaves, Focus Microwaves, EXFO Electro-Optical Engineering, IBM Canada, MDA Communications, MPB Communications, FLAIR Radars, Télébec, Huawei, Ericsson.
- Secteur de la photonique : Alsense, CorActive, Cyrium Technologies, Enablence Technologies, Genia Photonics, Photon etc., Invensun, iRPhotonics, O-E Land, Passat, QPS Photonics, Stoker Yale Canada, MPB Technologies.
- Secteur biomédical : DGel Science, Novacam, PDevices, Quorum, Tyler Research, Plasmionique.
- Secteur du transport et de l'énergie : Axion Power Corporation, Electrocatalyse Canetique Inc., General Motors of Canada, Hydro-Québec, LM GlassFiber, Opsun Technologies, Pure Energy Visions, Blue Solutions Canada.
- Secteur de l'électronique : Osemi Canada, Redlen Technologies.
- Secteur des matériaux avancés et nanotechnologie : Applied Nanotools (ANT), Raymor, Plasmionique, NanoXplor, Tekna.
- Secteur de l'environnement : Armstrong Monitoring, Enerkem Technologies, ENPAR Technologies, LDETEK, Magnus Chemicals, Nitrex, Veolia, Mabarex.

Les compagnies d'essai issues de l'INRS sont : Axis Photonique, Plasmionique, Electrocatalyse Canetique, few-cycle Inc.

3.4 Visibilité et collaborations internationales

À ce jour, le Centre est impliqué dans plusieurs collaborations internationales d'envergure, qui nous positionnent dans tous nos secteurs d'opération et nous donnent beaucoup de visibilité et de prestige. Les collaborations les plus importantes sont les suivantes :

- Regroupements internationaux (Consortium ALLS, LIA-STEP, LIA portée par L. Szczecinski)
- Chaire UNESCO « MATECSS »
- Participation à des projets européens (WIROX, KOHERENT)
- Le programme international de Nano-Québec finance 5 utilisateurs de l'infrastructure LMN
- Le LMN possède le statut de plateforme canadienne de prototypage rapide en photonique
- Dans le moyen terme, les infrastructures DTEM et laser femtoseconde mid-IR de haute puissance moyenne vont assurer à l'INRS une grande visibilité du fait de leur potentiel unique.

4. RESSOURCES HUMAINES, GESTION, FINANCEMENT, GRANDES INFRASTRUCTURES

4.1 Ressources humaines

Le centre comprend : 39 professeurs en incluant le directeur et 15 personnes à l'administration. Plusieurs autres postes de professeurs seront ouverts dans les prochains deux ans.

4.2 Administration et gestion

La gestion du centre relève du directeur du centre le professeur F. Rosei, depuis juillet 2011. Le professeur Chaker préside le comité des espaces, des infrastructures, ainsi que le comité santé/sécurité.

Les finances, les ressources humaines, les bâtiments, la mise en œuvre de la gestion du centre relèvent de Mme Lisanne Lavoie.

Pendant la période de deux ans de la bourse Steacie (avril 2014 – mars 2016) du CRSNG octroyée au directeur (F. Rosei) en 2014, le professeur Claude Arbour, Vice-Recteur de l'administration et finances, assume le rôle de gestionnaire délégué du centre EMT et dédie environ 20 % de son temps aux aspects de gestion administrative et financière du centre EMT.

4.3 Financement

Pour l'année financière se terminant le 30 avril 2013, les revenus de fonctionnement provenant de la subvention du centre étaient de 12,4 M\$ (Fonds 3), les revenus de fonctionnement provenant des montants reçus par les professeurs étaient de 9 M\$ (Fonds 4), les revenus catalogués équipements étaient de 1,5 M\$ (Fonds 2).

4.4 Grandes infrastructures

Les activités des professeurs sont regroupées au sein de laboratoires avec leurs équipements propres et sont soutenues par deux infrastructures majeures en nanosciences (LMN) et en femtosciences (ALLS).

Le Laboratoire de Micro Nano fabrication (LMN) comprend :

- Un ensemble d'équipements pour la lithographie : écriture directe par faisceau d'électrons, écriture directe par faisceau laser, aligneur de masque.
- Un ensemble d'équipements pour la synthèse, la gravure, le traitement des matériaux (i) dépôt par ablation laser, évaporation, pulvérisation cathodique, PEVCD..., (ii) gravure chlorée, gravure fluorée, gravure silicium, (iii) implanteur d'ions, four, RTA...
- Un ensemble d'équipements pour la caractérisation : (i) caractérisation de nanomatériaux (RBS, ERD, XPS, diffractométrie X), (ii) microscopie (AFM, STM, microscopie électronique à balayage, microscopie électronique à transmission dynamique, microscopie optique...), (iii) caractérisation optique des nanodispositifs, (iv) caractérisation électrique des nanodispositifs.

Le laboratoire de sources femtosecondes/Advanced Laser Light Source (ALLS) comprend plusieurs systèmes lasers titane:saphir avec des équipements additionnels permettant de couvrir une très large gamme de longueurs d'ondes et de réduire la durée des impulsions :

- un laser multikHz (4 mJ, 30 fs, 800 nm)
- un laser 10/100 Hz (100 Hz, 70 mJ, 40 fs, 800 nm) (10 Hz, 300 mJ, 40 fs, 800 nm)
- un laser 200 TW (10 Hz, 4J, 30 fs, 800 nm)

Les équipements additionnels (amplificateurs optiques paramétriques, modules de compression de durée d'impulsion à fibre creuse, jets de gaz pour la création d'harmoniques, ionisation de l'air sous l'effet du rayonnement fondamental et de son harmonique...) permettent d'élargir le spectre accessible des X au THz et de réduire la durée des impulsions au cycle optique.

Les deux laboratoires LMN et ALLS sont regroupés dans une seule infrastructure appelée « Infrastructure de Nanostructures et Femtoscience » (INF), dirigée par le professeur Chaker. Le récent projet FCI « DTEM » qui a été octroyé en 2012 fera partie de l'INF et permettra de construire un pont conceptuel entre la nanotechnologie et la femtoscience.

À l'heure actuelle, le défi le plus important pour ce qui concerne les infrastructures majeures du centre représente leur gestion et leurs couts de fonctionnement. Les coupures récentes des programmes de subventions de fonctionnement des infrastructures, tant au fédéral qu'au provincial, sont très inquiétantes et nous imposent une réflexion sérieuse pour identifier des pistes alternatives de financement.

5. FORMATION, ENSEIGNEMENT

5.1 Programmes d'étude en cours :

Cinq programmes en 2014

- doctorat en sciences de l'énergie et des matériaux (90 inscrits)
- maîtrise en sciences de l'énergie et des matériaux (19 inscrits)
- doctorat en télécommunications (55 inscrits)
- maîtrise en télécommunications (12 inscrits)
- maîtrise professionnelle en télécommunications (2 inscrits)

5.2 Clientèle étudiante (début février 2014)

- Nombre total d'étudiants inscrits : 178
- Répartition hommes vs. femmes
33 femmes au doctorat et 6 femmes à la maîtrise
112 hommes au doctorat et 27 hommes à la maîtrise
- Statut
Canadiens 34, résidents permanents 27, étrangers 117

5.3 Perspectives

Plusieurs perspectives de développement sont envisagées par rapport à nos activités de recherche et de formation, à savoir :

- Programmes d'études plus spécialisés, par exemple un nouveau programme de maîtrise professionnelle, ainsi qu'une refonte du programme existant (maîtrise professionnelle en télécommunications).
- Cours « on line » (par exemple Webinars et cours à télécharger) dans les domaines de recherche du centre avec une emphase particulière pour les personnes rattachées à la chaire UNESCO. L'INRS-ÉMT devrait être à l'avant-garde des cours spécialisés en ligne afin d'épouser au mieux ce nouveau paradigme des cours universitaires.
- Ententes avec universités sans programmes de doctorat; nous manquons de visibilité dans ces établissements, en particulier au Canada.
- Ententes de cotutelle avec universités étrangères
- Amélioration de la qualité du recrutement à la suite d'un futur déménagement, par exemple sur le site d'Outremont (nouveau campus de l'Université de Montréal. L'horizon temporel est environ cinq ans).

6. DÉVELOPPEMENT DES EFFECTIFS PROFESSORAUX

Les recommandations sont :

- renforcer avec un nouveau professeur l'activité DTEM et son exploitation et avec un autre professeur l'activité laser mid-IR haute puissance moyenne et son exploitation. Ce sont des activités phares qui démarquent le centre à l'échelle mondiale. Elles sont menées par deux professeurs (A. Yurtsever et F. Légaré). Il est souhaitable à mon avis de se diriger vers une masse critique autour de ces activités avec de nouvelles recrues.
- envisager le recrutement (i) de professeurs en matériaux ayant une expertise en dispositifs et (ii) de professeurs en nano biomédecine ayant une expertise biomédicale réelle. Dans les deux cas, il s'agit de professeurs ayant une expertise complémentaire de celle des professeurs du centre, procurant ainsi une plus-value aux travaux en amont réalisés au centre et capables de faire le pont avec le monde du génie électrique dans un cas et avec celui de la biologie et de la médecine dans l'autre cas.
- envisager le recrutement (i) d'un professeur en communications sensorielles avec une orientation dans le domaine des services axés sur l'individu et son environnement et/ou dans le domaine de la santé (human multimedia); T. Falk est en train de pousser cette avenue qui a le vent en poupe, (ii) un professeur dont l'expertise permettrait une approche intégrée du développement d'une plateforme TIC de nouvelle génération utilisant toutes les ressources existantes au centre, des dispositifs aux réseaux optiques; il s'agit d'une suggestion de J. Azana.

7. ANNEXE

Compte rendu de l'atelier Matériaux Avancés du 4 février 2013

Commentaires.

- Spécificité du centre EMT : matériaux déclinés de plusieurs manières
 - * volet énergie
 - * volet bio-nanomatériaux
 - * volet nanomatériaux pour dispositifs
- Les dispositifs développés sont plutôt en amont des applications industrielles. Il manque les aspects de simulations, fabrication, caractérisation des dispositifs. Ces aspects sont généralement adressés grâce à des collaborations externes qui ont des contacts avec l'industrie.
- Les dispositifs sont essentiellement photoniques parce qu'il ne subsiste au Canada que peu d'industries orientées vers l'électronique.
- Avec les dispositifs nous n'allons pas plus loin qu'une démonstration de principe à petite échelle (prototypes).
- L'extrême diversité des recherches est soulignée. Il est suggéré de resserrer la programmation pour une meilleure cohésion.
- En réponse à cette critique de la diversité, il est mis en avant la flexibilité offerte dans un univers scientifique qui bouge constamment.
- Nous n'avons pas de visibilité sur un domaine précis, pas de masse critique forte sur l'un ou l'autre aspect de nos recherches. Nous avons des compétences multiples de type générique, appliquées, selon les circonstances, à certains secteurs. Cela permet une grande flexibilité et une grande capacité d'adaptation au contexte de financement.
- On cherche les compétences complémentaires pour optimiser les applications sectorielles.
- Nous devons chercher à embaucher des personnes avec des compétences complémentaires en photonique et optoélectronique avec expertise pointue sur les dispositifs. Des personnes avec des profils le plus large possible. Il sera ainsi possible de choisir les 3 meilleurs pour former une masse critique.
- Nous disposons de 39 postes historiques. Nous pouvons arriver à 43 ou 45 avec les chaires de recherche du Canada. Nous devons aussi viser des programmes de chaires pour augmenter notre nombre d'effectifs.
- Nous manquons d'appuis théoriques. Toutefois, il est répondu à cette dernière remarque qu'il s'agit d'un luxe que l'on ne peut se permettre. La diversité des activités ne permet pas un choix de théoriciens aisé. Si l'on choisit les meilleurs on finit avec des gens qui travaillent dans leur petit domaine. Par ailleurs les étudiants ne sont pas attirés par la théorie en matière condensée.
- Il est souligné que le nombre de professeurs travaillant sur les matériaux énergétiques est insuffisant.
- À cette remarque il est fait état des discussions en cours avec l'IREQ permettant de renforcer le volet énergie.

- Il est souligné que des études fondamentales sont à faire sur la matière fortement corrélée (du point de vue électronique, vibrationnelle...) et les matériaux fonctionnels tels que les ferroélectriques, magnétiques, polymères.

Proposition à caractère général valable pour tous les secteurs d'activité.

Il est suggéré qu'il y ait une auto-évaluation des secteurs :

- forces et faiblesses
- perspectives
- améliorations possibles

Actions concrètes.

- Il est suggéré de lancer des feuilles de « highlights » de résultats de recherche pour valoriser le travail fait à EMT. Andréas Ruediger est volontaire pour cette initiative.
- Il sera procédé à l'embauche de professeurs ayant une expertise complémentaire de celle des professeurs en place pour optimiser les applications.

Compte rendu de l'atelier Photonique-Lasers du 4 février 2013

Présentation de François Légaré

- 1) Deux grandes thématiques sont envisagées pour ALLS :
 - L'imagerie dynamique de la matière : des molécules aux matériaux.
 - Les applications biomédicales
- 2) Perspectives lasers :
 - 100 W de puissance moyenne en impulsions ultra-brèves et pour une large gamme de longueur d'onde avec la technologie ytterbium (Yb).
 - Le laser 200 TW devient une plateforme pour un laser à électrons libres en partenariat avec le « Canadian Light Source », le synchrotron canadien.
- 3) Deux nouveaux postes de professeurs requis :
 - Un en imagerie dynamique à l'interface de ALLS et de la nouvelle infrastructure FCI en microscopie dynamique.
 - Un autre en applications biomédicales.

Commentaires

- la justification d'un poste en applications biomédicales nécessite que l'on fasse le lien entre les besoins biomed et ce qui est fait à l'INRS. Il s'agit de faire l'interface avec les aspects biomed.
- il faut renforcer les applications avec des personnes qui comprennent les enjeux biomed et puissent faire l'interface avec les aspects bio, précliniques et cliniques. Faire l'interface avec IAF avec de nouveaux professeurs et ne pas s'en tenir aux professeurs IAF en place.
- la tendance est d'intégrer les expertises d'application dans les laboratoires « sources ».
- il y a une marge de manœuvre de 4 à 5 nouveaux professeurs sur le quota INRS pour créer une masse critique pouvant faire l'interface.
- il est possible de préparer un dossier « visionnaire » auprès du ministère à Québec pour obtenir des postes et des chaires ministérielles.
- pour l'imagerie dynamique, il faut articuler l'emploi des infrastructures laser uniques avec les autres infrastructures uniques du centre.
- l'imagerie dynamique permet l'étude de matériaux complexes, biologiques aussi, et permet de plus des études fondamentales sur les excitons et les plasmons.

Propositions concrètes.

- organisation du colloque EMT–IAF dans les meilleurs délais
- création d'un laboratoire d'excellence commun à EMT et IAF à caractère pluridisciplinaire. Ce laboratoire serait basé sur le campus de l'IAF.
- l'activité biomed organisée entre EMT et IAF devrait être considérée un axe de développement institutionnel de l'INRS.

Actions

- préparation d'un pré-dossier pour la constitution du laboratoire d'excellence commun en imagerie (F. Légaré, F. Vetrone, H. Pépin)
- organisation du colloque EMT-IAF (F. Légaré, F. Vetrone, H. Pépin)

Compte rendu de l'atelier Energie du 14 juin 2012

Interventions/commentaires.

1) Commentaires généraux

- Absence de visibilité collective dans le domaine de l'énergie. Nous avons une masse critique dans le domaine de l'électrochimie, mais pas dans d'autres domaines.
- Quels sont les milieux industriels visés par nos travaux?
- Comment mettre en œuvre une plus grande synergie entre les professeurs?
- Quelle politique de partenariats?
- Comment avoir plus d'ambition? Pourquoi ne pas viser des chaires ministérielles?

2) Photovoltaïque (PV)

Plusieurs questions se posent. Que fait-on avec le PV? Quelle est notre stratégie? Quelles sont nos ambitions? Plusieurs professeurs sont impliqués dans projets sur le PV. Toutefois, au Canada il n'y a pas beaucoup de compagnies de bon niveau dans le domaine, ce qui rend le financement plutôt compétitif. Néanmoins, le PV est un élément très important pour le développement de formes d'énergie durables, donc il est important de bien évaluer les opportunités dans le domaine.

3) Electrochimie

- Comment mettre en place une collaboration élargie avec Hydro-Québec sur les batteries et sur d'autres aspects complémentaires?
- Quelles nouvelles activités peut-on développer en électrochimie?

4) Micropiles

Un seul professeur travaille au centre sur les micropiles et en particulier sur les biopiles implantables pour alimenter des senseurs bio (c.-à-d. diabète). Quelles collaborations peut-il y avoir avec les collègues au centre?

5) Capteurs pour l'environnement

À titre d'information, il a été porté à la connaissance des participants le développement d'un capteur électrochimique agro-alimentaire.

6) Fusion

Il a été porté à la connaissance des participants que les travaux en cours, impliquant deux professeurs, vont se poursuivre, au moins dans le court terme.

7) ETE

Il a été souligné qu'il n'y avait pas d'axes de recherche en commun avec ETE, mais seulement des collaborations autour de quelques projets spécifiques.

Propositions

1) PV

- Il a été proposé une initiative ambitieuse englobant l'IREQ, l'INRS et CanMet autour du PV 3e génération.
- Il a été proposé de mettre en place une chaire de veille technologique avec H.Q. autour du PV 2eme et 3e génération.

- Il a été proposé de bâtir un programme avec un leader.

2) Batteries Li et H.Q.

- Il a été proposé de mettre sur pied une collaboration avec le Dr. Karim Zaghieb autour des batteries Li-ion et de définir des projets d'intérêt pour H.Q. Il a été mentionné comme intérêts communs : la durée de vie des batteries, le vieillissement des matériaux dans les batteries. Les batteries Li-air ont aussi été proposées comme thème de collaboration.

- Il a été proposé la relance d'un partenariat plus global avec l'IREQ faisant suite aux partenariats précédents qui ont jalonné la vie du centre.

3) Suggestions d'autres avenues de recherche en électrochimie.

Il a été proposé :

- Les piles à combustibles microbiennes

- L'électroréduction du CO₂

4) Projets institutionnels

Il a été mis en avant le concept de « Ville intelligente » mettant enjeu une synergie globale à travers tout l'INRS avec des perspectives en énergie, environnement, urbanisme, santé, télécommunication. Il s'agit évidemment d'un projet à long terme, qui devrait être conçu avec l'esprit de financer des Chaires (financées par exemple par les ministères) et des nouveaux postes de professeurs à l'échelle de l'INRS. La discussion a suscité beaucoup de questions, mais pas vraiment de consensus.

Actions

Il a été constitué :

1) Un groupe de travail sur le PV autour de Ali El Khakani

2) Un groupe de travail sur les piles à combustibles microbiennes autour de Ana Tavares

3) Un groupe de travail sur l'électroréduction du CO₂ autour de Daniel Guay

Il a été demandé aux responsables de préparer un dossier qui servira de base à une discussion future et à l'élaboration de demandes de financement.

Hamid Chaker est chargé de coordonner les discussions avec Karim Zaghieb ainsi que la mise en place d'un partenariat avec l'IREQ. Depuis le dernier atelier, nous avons signé plusieurs petits contrats avec le Dr. Zaghieb et certains professeurs ont commencé à rédiger une demande de subvention RDC d'envergure pour soumission au CRSNG. Le professeur Daniel Guay est le porteur de ce projet RDC.

Compte rendu de l'atelier Télécommunications du 8 juin 2012

Interventions/commentaires

1) Commentaires généraux

- Nécessité d'évoluer des activités traditionnelles vers les applications. Ces applications offrent, en retour, de nouveaux défis au domaine des télécoms.
- Nécessité de bâtir un effort collectif et de développer des projets communs. Que pouvons-nous faire ensemble? Notamment cette question a eu comme réponse le premier projet « FONCER » de l'INRS, piloté par S. Affès.
- Quelle est notre identité? Quelle est notre mission? Comment collectivement nous nous distinguons? Comment répondons-nous aux besoins de la société (dans notre pays, dans les pays émergents).
- Besoin d'intégration parmi les chercheurs en télécom du centre pour répondre aux applications et aux développements technologiques nécessaires. Opportunités offertes par les autres expertises à EMT et plus largement à l'INRS (intégration de ces expertises).

2) Discussion sur les expertises nécessaires et la masse critique

- le secteur sans fil pense qu'il peut s'adapter aux besoins et/ou aller chercher l'expertise à l'extérieur.
- le secteur multimédia pense qu'il y a une lacune en traitement d'image.
- le secteur des communications optiques pense qu'il manque une expertise au niveau des circuits et systèmes, à l'interface des dispositifs et des réseaux optiques.

Propositions

1) Il a été proposé des réunions plus fréquentes pour bâtir des projets collectifs en communications sans fil, en optique, en multimédia et autour du développement de capteurs. Les directions suivantes ont été évoquées :

- tirer parti de l'effort collectif fait autour de la demande FONCER Perswade pour aller plus loin vers un programme de recherche structuré sur le long terme.
- mise en place d'un programme autour du concept de réseau intelligent.
- mise en place d'un programme de communication optimale regroupant le sans-fil, les micro-ondes et les fibres optiques.
- mise en place d'un programme autour du thème « human multimedia ».

2) Il a été proposé d'examiner la mise en place de chaires industrielles en partenariat avec Hydro-Québec, Huawei, Ericsson.

Actions

Il n'y a pas eu de constitution de groupes de travail proprement dits. Toutefois, après l'atelier, afin de poursuivre la réflexion dans les directions évoquées précédemment, les professeurs suivants ont été approchés : Sofiène Affès, Martin Maier, Jose Azana, Tiago Falk. Il leur a été demandé de préparer un dossier qui pourra servir de base à une discussion future et à l'élaboration de demandes de financement.

Programmation scientifique du centre Énergie, Matériaux et Télécommunications de l'INRS dans le contexte institutionnel et internationale.

Ce dernier paragraphe vise à décrire l'état des lieux et étapes successives de notre programmation scientifique :

1. Court terme.

- Terminer le document de programmation scientifique et définir les profils des professeurs à engager d'ici 2019; entre 5 et 10 nouveaux professeurs seront engagés.

Sur la base du texte écrit et des discussions, il apparaît évident que le centre nécessite une compétence pointue en dispositifs, comme souligné à plusieurs reprises (conception, fabrication et caractérisation).

- Utilisation des dotations du centre et institutionnelles :

Le centre dispose de deux fonds de dotation, à savoir la dotation Lionel-Boulet (à utiliser pour financer des activités de recherche en énergie et matériaux) et la dotation Cyril-Duquet (à utiliser pour des activités de recherche en télécommunications).

De plus, il y a une « dotation » Chaire GSK à utiliser pour le développement de l'axe conjoint en nano-biomed entre les centres EMT et IAF.

Présentement la dotation Lionel-Boulet est utilisée en partie pour les bourses d'excellence de la Chaire UNESCO MATECSS. Des plans d'utilisation des dotations sont en cours de route; chaque dotation a plusieurs contraintes et nos plans doivent en tenir compte.

2. Moyen terme.

Profiter des nouvelles directions identifiées par la programmation scientifique pour construire; par exemple des chaires et des réseaux.

Exemples concrets de thématiques à développer au sein du centre et ou de l'INRS :

Nano-éthique; chaire et réseaux. Il est visé de cibler le réseau provincial NE3LS.

Villes intelligentes; consortium de chaires (une par centre) et réseaux. Pour cette vision il faudrait viser des financements des ministères et des municipalités.

IREQ : on vise la possibilité d'une chaire industrielle et d'un réseau pan Canadien.

3. Long terme.

Il est envisagé d'obtenir des nouveaux postes de professeurs du ministère de l'éducation. Pour ce faire, il faut identifier des opportunités spécifiques au tout de concepts de développement socio-économique.

Proposer des nouveaux postes de professeurs; par exemple, pour consolider les activités inter-centre. Un certain nombre de nouveaux postes pourrait être financé, par exemple, par des chaires.

Proposer des nouveaux centres INRS; par exemple sur les villes intelligentes, sur la nourriture et l'agriculture. Pour ce faire il faut capitaliser sur notre expertise multidisciplinaire à travers les quatre centres existants à l'INRS.

4. Engagement de nouveaux professeurs en 2015–2016.

Le centre EMT a tenu une assemblée des professeurs spéciale au mois de janvier 2015 pour choisir les postes de professeurs à engager dans le court terme. Suite à une longue discussion, nous avons décidé d'ouvrir quatre postes de professeurs en dispositifs en même temps (stratégie qui s'appelle « *cluster hire* » en anglais). La description des profils sera très large; nous cherchons expertise en dispositifs électroniques, photoniques, optoélectroniques, capteurs, biocapteurs, cellules solaires, piles à combustible, batteries, etc. La préparation des profils est en cours. Le concours sera ouvert pendant l'été et les entrevues sont prévues pour l'automne.

Les profils de plusieurs autres postes seront choisis avant la fin de 2015 pour ouverture en 2016.

