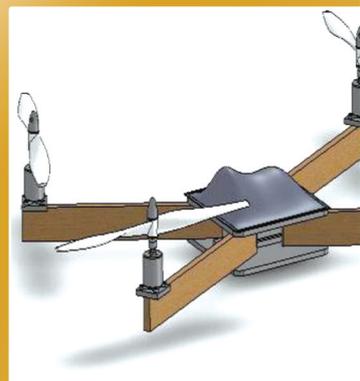
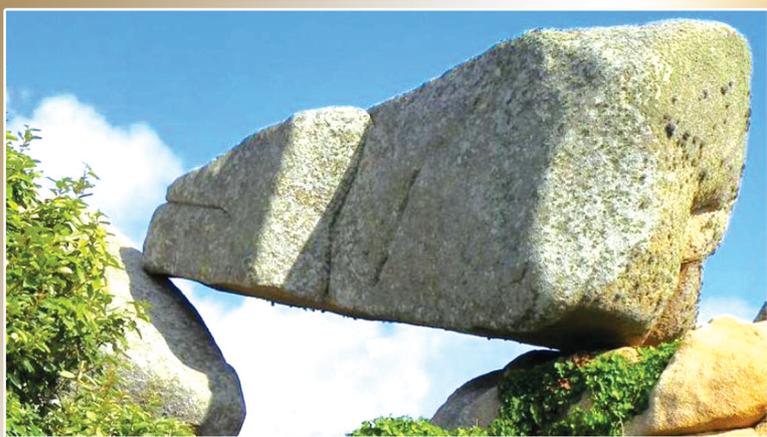
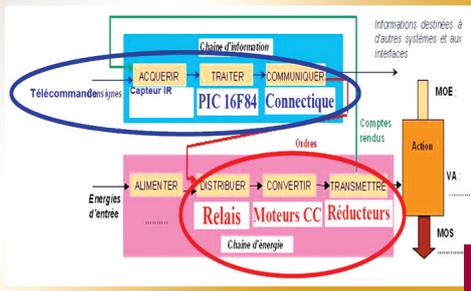
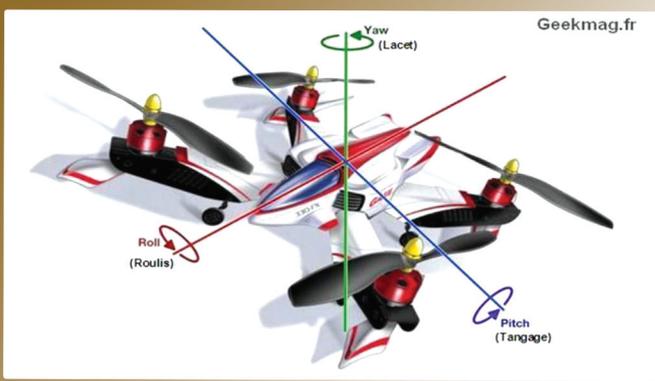
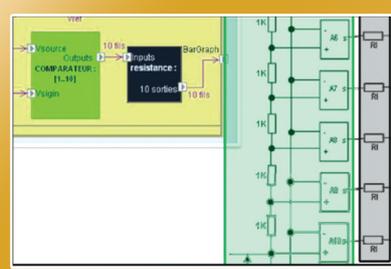
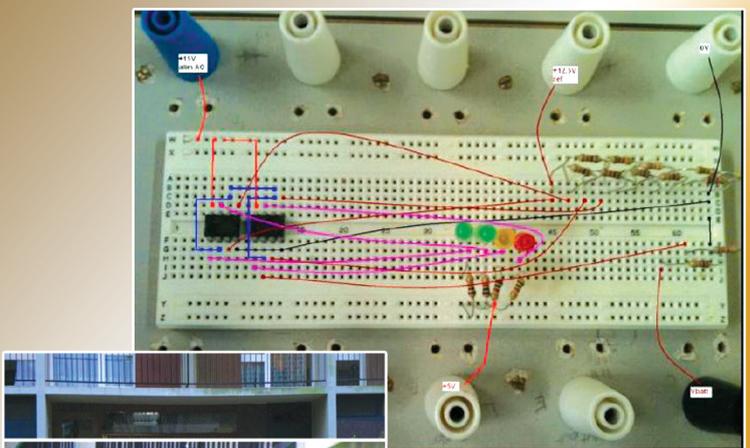
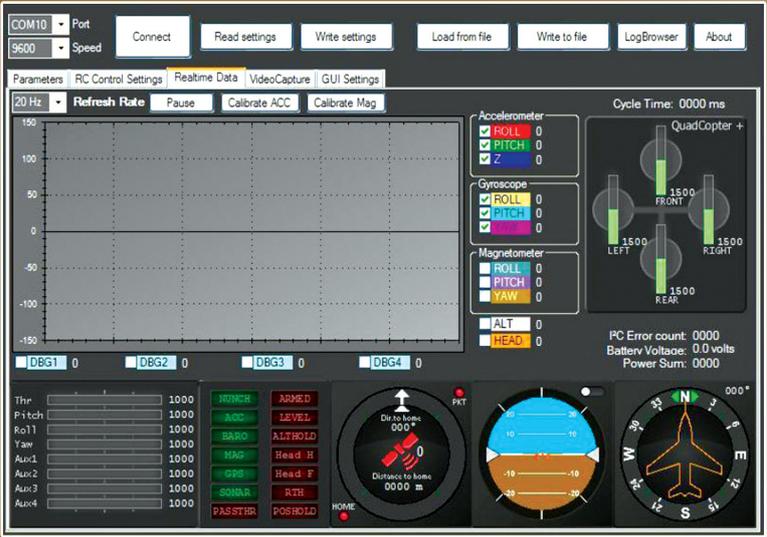


# La Revue SEE



Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>



**Applications pédagogiques STIDD**

Publication trimestrielle du Cercle Thématique 13.01 de la SEE

## ENSEIGNER L'ELECTROTECHNIQUE ET L'ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE



Société de l'Electricité, de l'Electronique et des Technologies de l'Information et de la Communication

N° 70 - Octobre 2012



PREMIER APPEL A COMMUNICATIONS  
PRELIMINARY CALL FOR PAPERS



# CETSIS 2013

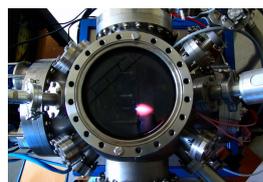
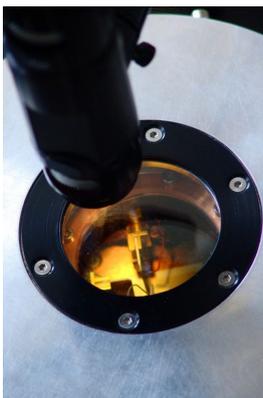
Le 10<sup>ème</sup> Colloque du club EEA sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes

**20-22 mars 2013, Caen, France**

**Université de Caen Basse-Normandie / ENSICAEN  
CAMPUS II**

<http://cetsis2013.sciencesconf.org>

Les thématiques générales du colloque concernent les champs disciplinaires fondamentaux, les champs disciplinaires des sciences de l'ingénieur et les articulations entre formations supérieures et société. A côté de la tenue de ses célèbres POMMADES (POsters, MAquettes, DEMonstrations), le 10<sup>ème</sup> CETSIS fera une rétrospective de ce cycle de conférence comme temps fort d'une table ronde.



**UNICAEN**  
université de Caen  
Basse-Normandie



**ENSICAEN**  
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'INGÉNIEURS DE CAEN  
& CENTRE DE RECHERCHE



**SFO**  
Société Française d'Optique

**AFM**  
ASSOCIATION  
FRANÇAISE  
DE MÉCANIQUE

## CONTACT

**Didier ROBBES**

Département de Physique – EEA

UFR Sciences - UCBN

6 Bd Maréchal Juin

F – 14050 Caen Cedex – FRANCE

Tél : +33 (0)2 31 45 26 97 Web : [cetsis2013.sciencesconf.org](http://cetsis2013.sciencesconf.org)

Fax : +33 (0)2 31 45 26 98 Mail : [cetsis2013@sciencesconf.org](mailto:cetsis2013@sciencesconf.org)



# SOCIÉTÉ de l'ELECTRICITE, de l'ELECTRONIQUE et des TECHNOLOGIES de l'INFORMATION et de la COMMUNICATION.

17, rue de l'Amiral Hamelin, PARIS 75783 CEDEX 16  
Tél : 01 56 90 37 00 Fax : 01 56 90 37 19  
site web : [www.see.asso.fr](http://www.see.asso.fr)

**La Revue 3EI**  
publication trimestrielle  
du **Cercle Thématique 13-01**  
de la SEE

SEE, association reconnue d'utilité publique par le décret du 7 décembre 1886  
Siret 785 393 232 00042, APE 9412 Z, n° d'identification FR 44 785 393 232

## 3EI : Enseigner l'Électrotechnique et l'Électronique Industrielle

<b>La Revue 3EI, Édition SEE,</b> 17 rue de l'Amiral Hamelin 75783 PARIS Cedex 16	<b>Sommaire du n° 70</b>	
	<b>Applications pédagogiques et STIDD</b>	
<b>Directeur de la publication</b> Paul FRIEDEL Président de la SEE	p. 2	Éditorial,
<b>Rédactrice en Chef</b> Marie Michèle LE BIHAN	p. 3	Publications, Informations,
Adresser les propositions d'article à : <a href="mailto:revue3ei.art@voila.fr">revue3ei.art@voila.fr</a>	p. 8	Applications pédagogiques en Sciences Physiques dans le tronc commun STI2D-STL O. HEITZ Lycée Irène et Frédéric Joliot Curie SETE
<b>Communication</b> Mr Alain Brenac <a href="mailto:communication@see.asso.fr">communication@see.asso.fr</a> 01 56 90 37 xx	p. 21	Activités pratiques en Sciences Physiques sur le thème « Vêtement et Revêtement ». C. THOMAS Lycée Jean Rostand VILLEPINTE
publicité au rapport	p. 29	Quelle est la différence entre un pigeon ? E. WAELES Lycée Dupuy de Lôme BREST
<b>Abonnement</b> (4 numéros par an) Janvier, Avril, Juillet, Octobre 2012.	p. 32	Baccalauréat STI2D : retour d'expériences au lycée Bréquigny à Rennes E. TUAL, C. ADAM, T. ERNOULT, F. GUINGUENO, J. HOMO RENNES
tarifs TTC :	p. 41	Approche projet en 1ère STI2D_EE S. COULAUD, J-P. ILARY Lycée Jules Ferry VERSAILLES
<u>Individuel</u> :	p. 45	La démarche de projet en STI2D : Etude et réalisation d'un quadricoptère P. CAYEZ LA VERDIERE A. CHAUCHOT Lycée Vauvenargues AIX EN PROVENCE
France et CEE.....39 €	p. 56	Fauteuil roulant électrique Séquences en TSTI2D (tronc commun) G. AUBERT, J-P. HENGEL Lycée L'Essouriau LES ULIS
Pays hors CEE.....49 €	p. 64	Etude des solutions de compensation du déséquilibre triphasé généré par les lignes d'alimentation des trains TVG dans le réseau THT(très haute tension) A. BENSLIMANE, M. AZIZI, J. BOUCHNAIF Ecole supérieure de technologie OUJDA MAROC
<u>Collectivités</u>	p. 71	Historique de la production éolienne et photovoltaïque en Allemagne et analyse détaillée sur le premier semestre et sur le mois de juin 2012 B. CHABOT BCCONSULT VALBONNE
France et CEE.....55 €	<b>Et Demain ?</b>	
Pays hors CEE.....68 €	p. 77	Et demain ? Tour d'horizon des avancées technologiques
<b>Réalisation et impression</b> Repro-Systèmes 23, rue de Verdun 77181 Le Pin		
<b>Routage et Expédition</b> Départ Presse ZI les Richardets 93966 Noisy le Grand		
<b>Dépôt Légal : Octobre 2012</b>		
Commission Paritaire 1212 G 78028 ISSN 1252-770X		

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans la présente édition, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'oeuvre dans laquelle elles sont incorporées.

Toutefois des copies peuvent être utilisées avec l'autorisation de l'éditeur. Celle-ci pourra être obtenue auprès du Centre Français du Droit de Copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris, auquel la Revue 3EI a donné mandat pour la représenter auprès des utilisateurs. (loi du 11 mars 1957, art.40 et 41 et Code Pénal art. 425).

Dans ce dernier numéro de l'année, traditionnellement consacré aux pratiques pédagogiques, nous nous intéressons aux nouvelles sections STI (Sciences et Technologie de l'Industrie) des classes de première et terminale des lycées, qui ont un tronc commun avec les sections STL (Sciences et Techniques de Laboratoire)

Les anciennes filières STI sont regroupées en **une filière STIDD** (Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable). Les enseignements se séparent entre un tronc commun, des enseignements technologiques transversaux également communs et des enseignements technologiques de spécialisation. Les spécialisations sont au nombre de 4 : Architecture et Construction (AC), Energie et Environnement (EE), Systèmes d'Information et Numériques (SIN) et Innovation Technologique et Eco-conception (ITEC).

Nous avons souhaité faire un numéro sur ce thème pour transmettre l'expérience des pionniers qui inaugurent le fonctionnement de ces sections et partager ces expériences pédagogiques, mais également pour que les acteurs de l'enseignement supérieur et de l'industrie aient des informations sur le profil des étudiants, techniciens et ingénieurs de demain.

Merci à tous les auteurs, car nous sommes conscients que construire et organiser les activités de nouvelles formations demande beaucoup de travail.

Pour compléter, vous trouverez deux articles hors du sujet des STIDD, il s'agit de l'article sur « **la compensation du déséquilibre en triphasé** » de Mr A. Benslimane et l'article sur « **un historique de la production éolienne et photovoltaïque** » de Mr B. Chabot.

La rubrique « **Et demain ?...** » a pour centre d'intérêt les nouveautés concernant les matériaux ce trimestre.

Le nouveaux thèmes prévisionnels de l'année 2013 seront:

- Janvier 2013 : Biologie et EEA
- Avril 2013 : Systèmes d'acquisition, matériel embarqués
- Juin 2013 : Réseaux de transport et de distribution
- Octobre 2013 :Nouvelles pédagogies en France et à l'Etranger....

Une nouveauté pour les abonnements de 2013 : la SEE nous offre la possibilité de mettre **à la disposition des abonnés les articles sous forme numérique (format pdf) sur le site de la SEE-Revue 3EI**. Pour avoir accès à ce service vous recevrez un code par message électronique, n'oubliez pas de nous indiquer votre adresse électronique sur le bulletin d'abonnement.

De plus, le DVD des **Archives de la Revue 3EI** des quinze premières années (60 numéros au format « .pdf ») est disponible et vous trouverez le bon de commande dans ce numéro. N'hésitez à en parler autour de vous

Continuez à nous envoyer des articles à vocation pédagogique : fiches de TP, TD, cours, présentation de projets... Nous sommes toujours très intéressés par des articles présentant des études de systèmes avec une approche pluridisciplinaire et nous serons heureux de les recueillir dans la boîte aux lettres dont l'adresse e-mail est [revue3ei.art@voila.fr](mailto:revue3ei.art@voila.fr)

Bonne lecture à toutes et tous.

Le Comité de Publication de la Revue3EI

---

Nous comptons sur vous pour faire connaître notre revue afin d'assurer sa pérennité.

---

### La Revue 3EI

#### Comité de publication

Hamid BEN AHMED  
Jean BONAL  
Arnaud BRUGIER  
Jean FAUCHER  
Gilles FELD  
Jean-Philippe ILARY  
Chérif LAROUCI  
Marie Michèle LE BIHAN  
Franck LE GALL  
Pascal LOOS  
Oviglio SALA  
Jean-François SERGENT  
Jean-Claude VANNIER  
Pierre VIDAL  
Jacques COURAULT  
Sylvain PIETRANICO

## BULLETIN D'ABONNEMENT A LA REVUE 3EI Année 2013

**DU NOUVEAU !!**

Recevez les 4 numéros de l'année 2013  
et bénéficiez d'un accès à la forme numérique des articles (document PDF)  
disponible sur le site de la SEE-Revue 3EI

N°71 ( Janvier 2013 ), n°72 ( Avril 2013 ), n°73 ( Juillet 2013 ) et n°74 ( Octobre 2013 )

<b>➤ <u>Abonnement individuel</u></b>	<b>France et pays de la CEE</b>	<b>pays hors CEE</b>
<b>Abonnement « papier »</b>	<b>39 €</b>	<b>49 €</b>
<b>Abonnement papier <u>et accès</u> <u>aux articles numériques</u></b>	<b>45 €</b>	<b>55 €</b>

➤ **Abonnement souscrit pour une collectivité** ( bibliothèque , CDI, laboratoire, entreprises, université, école d'ingénieur, lycée, IUT ...)

Prendre soin de mentionner sur le bon de commande le lieu de livraison de la revue ainsi que le destinataire ( personne physique ou service ).

<b><u>Abonnement « collectivités »</u></b>	<b>France et pays de la CEE</b>	<b>pays hors CEE</b>
<b>Abonnement « papier »</b>	<b>55 €</b>	<b>68 €</b>
<b>Abonnement papier <u>et accès</u> <u>aux articles numériques</u></b>	<b>65 €</b>	<b>78€</b>

**TRES IMPORTANT** L'adresse électronique à laquelle vous recevrez le code d'accès au site de la SEE-revue 3EI est indispensable en cas d'abonnement « papier et accès numérique »

Nom : ..... Prénom .....

Adresse d'expédition de la revue 3EI :

Rue, n° : .....

Code postal : ..... Ville : .....

Pays : .....

Adresse électronique : .....

Activité ( pour statistiques ) : .....

Adresser le bulletin renseigné , accompagné d'un chèque libellé à l'ordre de :

**SEE- la revue 3EI** ou d'un bon de commande pour les collectivités, à l'adresse suivante

**SEE-la revue 3EI 17 rue Hamelin , 75783 PARIS CEDEX 16**

# Le DVD « archives » est disponible !!!



Voici regroupés tous les articles des numéros 0 à 59, de Mai 1994 à Décembre 2003, sous forme numérique au format pdf (pdf scannés pour les plus anciens et pdf vectoriel pour les plus récents), sur le DVD que vous pouvez commander en remplissant le bulletin de commande suivant. Vous pouvez consulter les thèmes abordés sur la page 80 de la revue.

## BULLETIN DE COMMANDE

A envoyer accompagné d'un chèque à l'ordre de la SEE - Revue 3E.I  
à SEE - la Revue 3E.I 17 rue de l'amiral Hamelin 75783 Cedex 16

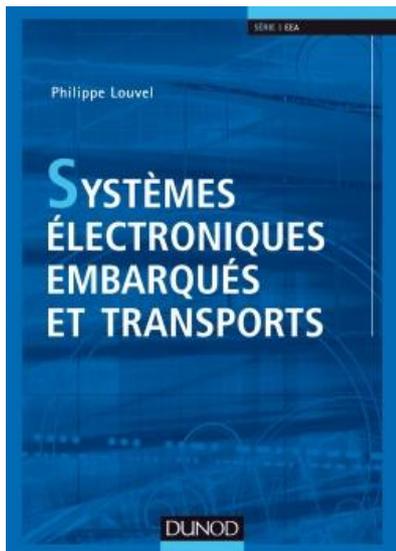
<b>DVD archives Revue 3E.I</b>	<b>France et pays de la CEE</b>	<b>pays hors CEE</b>
<b>Tarif individuel</b>	<b>60 €</b>	<b>70€</b>
<b>Tarif collectivité (CDI , laboratoire...)</b>	<b>100 €</b>	<b>110 €</b>

Nom .....Prénom .....

Adresse d'expédition.....

.....

.....



## **Systèmes électroniques embarqués et transports**

**Philippe Louvel**

**Technique et Ingénierie DUNOD**

*Des ordinateurs portables aux satellites les plus sophistiqués, l'électronique embarquée s'est imposée comme une discipline à part, aux spécificités propres. Dans le domaine des transports, elle a su par exemple s'adapter aux contingences les plus critiques de l'aéronautique.*

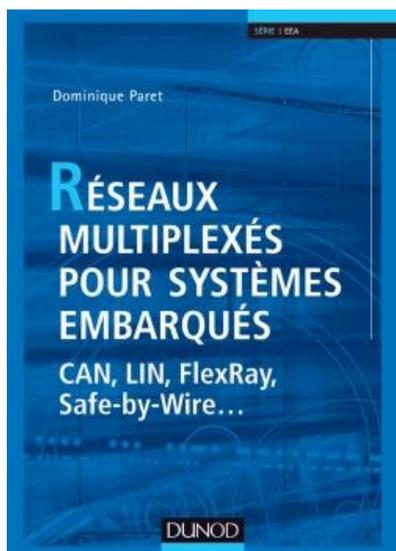
*Véritable état de l'art de l'électronique embarquée dans les transports, cet ouvrage présente :*

- *les différentes catégories de systèmes (électropneumatique, électrohydraulique, électrothermodynamique, électromécanique...);*
- *leurs propriétés et fonctionnalités (sécurité, autonomie, communication...);*
- *leurs caractéristiques intrinsèques (architecture système, choix des composants en fonction des contraintes...).*

*Distinguant transports automobile, aéronautique et ferroviaire, l'ouvrage met en avant leurs similitudes ou différences à travers de très nombreux exemples commentés et, pour chacun, leurs enjeux et perspectives d'évolution. À la fois livre de référence, outil de travail et de réflexion, cet ouvrage se destine principalement aux ingénieurs et techniciens des industries automobile, aéronautique ou ferroviaire.*

### **Sommaire**

*Introduction. Généralités, notions de base. Les différents types de systèmes considérés. Systèmes électrotechniques, électrochimiques, électrodynamiques, électrohydrauliques, électropyrotechniques, électropneumatiques. Enregistrement d'événements. Ingénierie au niveau système. Prestations fonctionnelles. Sécurité de fonctionnement. Mode nominal et mode dégradé. Architecture communication. Alimentations. Profil de mission. Ingénierie au niveau composants. Environnement subi. Caractéristiques intrinsèques. Systèmes embarqués en aéronautique. Historique. Alimentations. Gouvernes. Turboréacteurs. Pressurisation. Freins. Carburant. Navigation et pilotage. Portes et issues. Systèmes embarqués ferroviaires. Historique. Captage électrique. Freinage. Signalisation. Traction. Portes et issues. Réseaux de communications. Systèmes embarqués automobile. Batterie, génération électrique. Contrôle moteur. ABS, ESP, AFU. Airbags. Direction assistée. GPS, navigation. Boîtes automatiques. Portes. Conclusion. Enjeux et perspectives. Glossaire.*



## **Réseaux multiplexés pour systèmes embarqués CAN, LIN, FlexRay, Safe-by-Wire...**

**Dominique Paret**

**Technique et Ingénierie DUNOD**

*Cet ouvrage décrit les différents types de réseaux multiplexés, aujourd'hui présents dans de multiples domaines industriels (commande de machine-outils, de ligne de production, automobile, avionique, etc.). Il se compose de deux parties :*

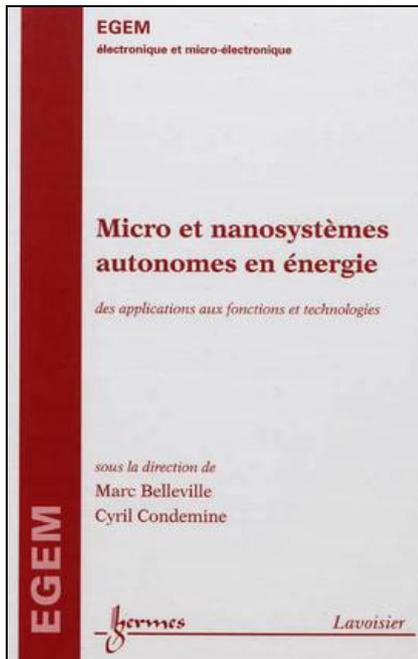
*- La première traite du bus CAN, des possibles subdivisions de ses couches physiques, des problèmes de conformité, de ses couches applicatives (CAL, CAN Open, OSEK...), des outils hardware et software nécessaires au développement, à la production, à la maintenance... Ses limites fonctionnelles et applicatives sont également abordées, de même que les principes et les contenus des protocoles TTCAN et FlexRay.*

*- La seconde décrit en détail le bus LIN, un nouveau venu. Elle expose ses fondements, ses particularités, ses problèmes de mise en oeuvre et la manière de les résoudre. Les différentes contraintes et possibilités de passerelles entre bus sont aussi présentées, ainsi que la conception des fail safe - System Basis Chip (SBC) et des passerelles gateway, et les applications de type X-by-Wire. Le Safe-by-Wire est traité dans le cadre de son application dans les systèmes de communication des commandes d'airbag.*

*À titre d'application, l'ouvrage se termine par une description des très nombreux bus et liaisons séries filaires et non filaires, internes (I2C, IEEE 1394...) ou externes (GSM, Bluetooth...), que les industriels emploient aujourd'hui dans un véhicule.*

### **Sommaire**

*Introduction aux bus multiplexés. Protocole et particularités. Brevets, licences et normes. Les composants. Couche physique. Les média. Applications et réalisations. Couches applicatives. Outils de développement. Annexes.*



## **Micro et nanosystèmes autonomes en énergie** **Des applications aux fonctions et technologies**

**Traité EGEM, série électronique**

**HERMES**

*Cet ouvrage propose un panorama détaillé des micro et nanosystèmes autonomes en énergie, couvrant à la fois les principes mis en oeuvre et les derniers développements.*

*Une étude approfondie d'applications dans les domaines aéronautiques, médicaux et du contrôle des bâtiments permet de dresser les grandes spécifications de tels systèmes et de leurs sous-composants.*

*Les techniques les plus récentes de récupération et conversion d'énergie d'origine photovoltaïque, thermique et mécanique sont présentées.*

*Un état de l'art sur les interfaces capteurs, le traitement du signal numérique et les liaisons radiofréquence, ultra-basse consommation, complète ce panorama.*

*Enfin, des techniques d'optimisation de l'énergie au niveau du microsystème/noeud de capteur et d'un réseau de capteurs sont introduites et discutées.*

**Traité EGEM**

*Conçu et organisé dans un souci de relier étroitement les fondements physiques et les méthodes théoriques au caractère industriel des disciplines traitées, ce traité constitue un état de l'art structuré autour des quatre grands domaines suivants :*

*Electronique et micro-électronique*

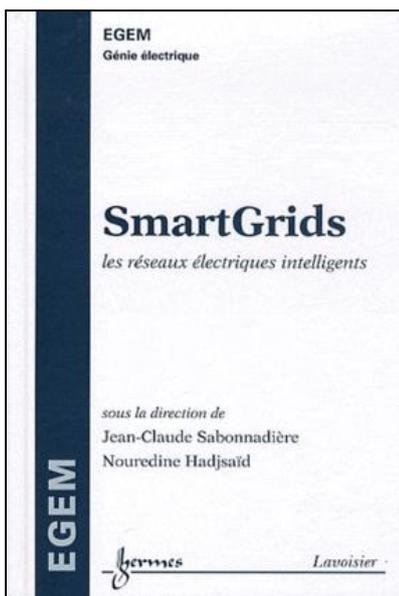
*Optoélectronique*

*Génie électrique*

*Microsystèmes*

*Chaque ouvrage développe aussi bien les aspects fondamentaux qu'expérimentaux du domaine qu'il étudie. Une classification des différents chapitres contenus dans chacun, une bibliographie et un index détaillé orientent le lecteur vers ses points d'intérêt immédiats : celui-ci dispose ainsi d'un guide pour ses réflexions ou pour ses choix.*

*Les savoirs, théories et méthodes rassemblés dans chaque ouvrage ont été choisis pour leur pertinence dans l'avancée des connaissances ou pour la qualité des résultats obtenus.*



## **SmartGrids** **Les réseaux électriques intelligents**

**Jean-Claude Sabonnadière , Nouredine Hadjsaïd**

**HERMES**

*Chapitre 1. Des réseaux électriques aux SmartGrids Nouredine Hadjsaïd et Jean-Claude Sabonnadière*

*Chapitre 2. Du SmartGrid au SmartCustomer : le changement de paradigme Catherine Failliet*

*Chapitre 3. Les réseaux de transport, acteurs des SmartGrids Hervé Mignon*

*Chapitre 4. SmartGrids et conduite de réseaux de transport Jean-Louis Coullon*

*Chapitre 5. Le gestionnaire des réseaux de distribution au coeur de la révolution des SmartGrids Pierre Mallet*

*Chapitre 6. Architectures, planification et reconfiguration des réseaux de distribution Marie-Cécile Alvarez, Raphaël Caire et Bertrand Raison*

*Chapitre 7. Outils de pilotage et d'aide à la décision Yvon Bésanger, Bertrand Raison, Raphaël Caire et Tran-Quoc Tuan*

*Chapitre 8. SmartGrids et intégration des véhicules électriques Florent Cadoux et George Gross*

*Chapitre 9. Comment les technologies de l'information et de la communication vont transformer les réseaux électriques Gilles Privat*

*Chapitre 10. Les systèmes d'information dans le comptage et la gestion du réseau Hervé Barancourt*

*Chapitre 11. Smart meters et SmartGrids : une approche économique Jacques Percebois*

*Chapitre 12. La régulation des réseaux électriques intelligents Didier Laffaille Index*



## CETSI 2013

Le 10<sup>ème</sup> Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes

20-22 mars 2013, Caen, France



CETSI est un colloque d'audience internationale francophone important pour échanger, se faire reconnaître et s'informer sur la pédagogie dans le monde de l'enseignement universitaire.

---

### THEMES GENERAUX DES CETSI :

---

AUTOMATIQUE ÉLECTRONIQUE ÉNERGIE INFORMATIQUE INDUSTRIELLE OPTIQUE MATHÉMATIQUES MÉCANIQUE  
PHYSIQUE ARTS, LITTÉRATURE SIGNAL ET IMAGE PÉDAGOGIE : PAR PROJETS, À DISTANCE, NUMÉRIQUE...  
HUMANITES ET SCIENCES FORMATIONS SUPÉRIEURES ET SOCIÉTÉ

---

### 4 TABLES RONDES :

<p>DES SAVOIRS FONDAMENTAUX AUX FORMATIONS SUPÉRIEURES</p> <p>Évolutions des contenus fondamentaux et compétences exigibles : nouveaux programmes des lycées, filière STIDD... Impacts sur nos formations, savoirs effectifs et compétences des entrants en cycle L, IUT, CPGE, cycle M...</p>	<p>ÉVOLUTION DES BESOINS SOCIÉTAUX, IMPACTS SUR LES FORMATIONS SUPÉRIEURES</p> <p>Les pôles de compétitivité : quels effets sur nos formations ? Exemple du pôle Transaction Électronique Sécurisée en Basse Normandie Délocalisation – Relocalisation : quels impacts sur nos formations?</p>
<p>INSTRUMENTATION, QUELLE PLACE POUR L'ANALOGIQUE ?</p> <p>Besoins dans les applications industrielles actuelles ? Place dans nos formations ?</p>	<p>RECONNAISSANCE, ÉVALUATION DES COMMUNICATIONS DEDIEES A L'ENSEIGNEMENT</p> <p>Bilan, évaluations et projection des CETSI Et les autres? (à l'étranger, dans les autres sociétés savantes...)</p>

CONTACT : Didier ROBBES

Département de Physique – EEA

UFR Sciences - UCBN

6 Bd Maréchal Juin

F – 14050 Caen Cedex – FRANCE

Tél : +33 (0)2 31 45 26 97 Web : [cetsis2013.sciencesconf.org](http://cetsis2013.sciencesconf.org)

Fax : +33 (0)2 31 45 26 98 Mail : [cetsis2013@sciencesconf.org](mailto:cetsis2013@sciencesconf.org)

*Pour toute information complémentaire voir le site : [cetsis2013.sciencesconf.org](http://cetsis2013.sciencesconf.org)*

# Applications pédagogiques en Sciences Physiques dans le tronc commun STI2D-STL

Olivier HEITZ

Lycée Irène et Frédéric Joliot Curie, 105 rue du Dauphiné, 34200 Sète

Nouvelle affectation :

IUT de Montpellier - Département Chimie Sète, 3 Chemin des Poules d'Eau, 34200 Sète

**Résumé :** La réforme de la voie technologique a entraîné une modification en profondeur de l'enseignement des Sciences Physiques sur les contenus, les démarches pédagogiques et les horaires hebdomadaires. L'objet de cet article est de présenter quelques applications concrètes dans des domaines variés des Sciences Physiques à travers des démarches pédagogiques innovantes initiées par les nouveaux programmes des classes de première et de terminale des séries technologiques STI2D et STL.

## 1. Présentation succincte des programmes

Les programmes sont construits autour de trois concepts-clés de physique et de chimie : l'énergie, la matière et l'information. Ces concepts sont introduits à travers quatre thèmes : habitat, vêtement et revêtement, transport, santé. Cette approche thématique contextualisée permet d'identifier des phénomènes relevant du domaine des sciences physiques et chimiques dans des réalisations technologiques. Les programmes, organisés autour des thèmes sont présentés selon deux colonnes intitulées :

- NOTIONS ET CONTENUS : il s'agit des notions et des concepts scientifiques à construire ;
- CAPACITES EXIGIBLES : il s'agit des capacités que les élèves doivent maîtriser en fin de cycle.

Si l'objectif pédagogique global des programmes est d'initier l'élève à la démarche scientifique, nous détaillerons plus précisément les compétences visées dans les situations pédagogiques présentées ci-dessous.

## 2. Activités pédagogiques sur le transfert thermique par conduction en classe de première

La partie du programme de première relevant de la thermique se retrouve dans le thème « vêtement et revêtement » ainsi que dans le thème « habitat ». La lecture des notions et contenus ainsi que des capacités exigibles (voir figure 1) indique immédiatement l'effort et les difficultés pédagogiques auxquels l'enseignant va être confronté pour construire son enseignement au niveau d'une classe de première.

VÊTEMENTS ET REVÊTEMENT	
NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES
Propriétés des matériaux	
Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement .	Décrire qualitativement les trois modes de transfert thermique en citant des exemples.
Flux thermique.	Classer des matériaux selon leurs propriétés isolantes, leur conductivité thermique étant données.
Conductivité thermique des matériaux. Résistance thermique.	Déterminer la résistance thermique globale d'une paroi d'un système constitué de différents matériaux.

HABITAT	
NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES
Gestion de l'énergie dans l'habitat	
Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement .	Prévoir le sens d'un transfert thermique entre deux systèmes dans des cas concrets ainsi que leur état final.
Flux thermique, résistance thermique.	Décrire qualitativement les trois modes de transfert thermique en citant des exemples. Réaliser expérimentalement le bilan thermique d'une enceinte en régime stationnaire. Expliciter la dépendance entre la puissance rayonnée par un corps et sa température. Citer le lien entre la température d'un corps et la longueur d'onde pour laquelle l'émission de la lumière est maximale. Mesurer l'énergie échangée par transfert thermique.
Caractéristiques thermiques des matériaux.	

Figure 1 : extraits du programme de première STI2D - STL

Une première difficulté pédagogique consiste à introduire l'ensemble du vocabulaire de la thermique (thermique, flux thermique, conduction thermique, conductivité thermique, résistance thermique, ...). On fait le choix d'une activité documentaire composée de deux parties. La première partie est un dialogue (voir figure 2) entre un technicien thermicien et un particulier M. Noah, soucieux d'améliorer la performance énergétique de son habitation. L'objet de la conversation porte sur le résultat du bilan thermique.

• LE TECHNICIEN	- Ce diagnostic met en évidence des déperditions thermiques non négligeables par le mur en béton séparant la cuisine et le garage.
• M.NOAH	- Comment expliquez-vous ce phénomène ?
• LE TECHNICIEN	- Le fait que votre garage ne soit pas isolé, la température y est inférieure à celle de votre cuisine, qui elle est chauffée. Cette différence de température entraîne un transfert d'énergie qu'on appelle chaleur, par conduction thermique via le mur séparant la cuisine et le garage.
• M.NOAH	- Qu'est-ce que la conduction thermique ?
• LE TECHNICIEN	- C'est un mode de transfert thermique où l'énergie passe d'un corps à l'autre par contact.
• M.NOAH	- Comment remédier à ce problème ?
• LE TECHNICIEN	- Il faut augmenter la résistance thermique de la paroi avec un revêtement ayant une faible conductivité thermique.
• M.NOAH	- L'épaisseur du revêtement a-t-elle une importance ?
• LE TECHNICIEN	- Oui, sa résistance thermique est proportionnelle à son épaisseur.
• M.NOAH	- Le document du bilan thermique fait référence au flux thermique dont l'unité est le Watt. Est-ce une puissance ? Que représente-t-il concrètement ?
• LE TECHNICIEN	- Le flux thermique est aussi appelé puissance thermique, il représente la quantité de chaleur transférée par unité de temps.
• M.NOAH	- C'est donc à ce flux thermique qu'il faut résister ?
• LE TECHNICIEN	- Tout à fait, si pour un écart de température important entre la cuisine et le garage, le flux thermique est petit, cela signifie que la résistance thermique de la paroi est grande.

Figure 2 : dialogue

La lecture du dialogue est suivie d'un travail sur le vocabulaire sous la forme ludique « trouver ma correspondance » (voir figure 3). Ce travail constitue une évaluation formative et permet aussi de diagnostiquer si les prérequis de ce chapitre sont maîtrisés (notions de puissance, énergie, température, les unités).

Cette activité nécessite la maîtrise de capacités qui dépassent largement le cadre de l'activité scientifique comme rechercher et extraire l'information utile, mais qui font partie des bases de l'initiation à la démarche scientifique.

	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Je suis un transfert d'énergie. Ma quantité s'exprime en Joule (J).
La thermique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Je suis un mode de transfert thermique où l'énergie passe d'un corps à l'autre par contact.
La température	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ma valeur augmente avec l'épaisseur de la paroi.
La chaleur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Je suis une quantité de chaleur transférée par unité de temps
Le flux thermique $\Phi$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Je suis un paramètre dépendant uniquement de la nature du matériau.
La conductivité thermique $\lambda$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dans le Système International d'unité je m'exprime en Kelvin (K).
La résistance thermique $R_{TH}$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Je suis aussi appelé puissance thermique. Mon unité est le Watt (W).
La conduction thermique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ma valeur est d'autant plus grande que ma conductivité thermique est petite.
					En régime permanent je m'exprime par la relation : $(T_1 - T_2) / \Phi$ . $T_1$ et $T_2$ sont les températures des surfaces opposées d'une paroi séparant deux milieux.
					Partie de la physique qui traite de la production, de la transmission et de l'utilisation de la chaleur.

Figure 3 : évaluation formative

On peut noter que même si le mot « chaleur » n'apparaît pas directement dans le vocabulaire des notions et contenus du programme, on ne peut pas faire l'impasse dessus. Les transferts thermiques sont l'occasion de définir clairement cette notion et de lever la confusion classique faite par les élèves entre la chaleur et la température.

La deuxième activité est en relation et dans la continuité de la première activité. A la recherche d'un revêtement performant pour isoler le mur de séparation cuisine-garage, M. Noah entreprend une recherche sur internet, l'article suivant retient son attention. Article (21/03/2008) du site internet « maison à part » : l'isolation une seconde vie pour nos vêtements.

<http://www.maisonapart.com/edito/construire-renover/isolation/l-isolation---une-seconde-vie-pour-nos-vetements-1464.php>

L'article évoque un isolant thermique et acoustique conçu par le Relais, structure membre d'Emmaüs. Avec une baisse de la qualité des textiles mis sur le marché, seulement 40% sont aujourd'hui réutilisables en l'état. L'idée a été de valoriser les 60% restant. Cet isolant mélangé est composé de 70% de coton, en majorité des jeans qui lui donnent une couleur bleuté, de 15% de laine et de 15% de fibres polyester qui servent de liant. Une notice technique de l'isolant est également jointe (voir figure 4).

**Les performances de l'isolant**

- Composition : 70% de coton ; 15% de laine ; 15% de fibres polyester
- Conductivité thermique :  $\lambda = 0,039 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Résistance à la traction (norme EN 1607) :  $F_{\text{max}} : 10,9 \text{ N}$
- Capacité d'absorption d'eau (norme EN 1609) : 27% de sa masse volumique
- Humidification partielle (norme ACERMI) : 0 mm soit aucune variation d'épaisseur constatée
- Feu : Euroclass E/SI/d0
- Euroclass B (MI) « dans les conditions finales d'application » soit posé avec parement gypse.

*Figure 4 : notice technique*

Un document réponse à compléter (voir figure 5) est fourni à l'élève qui est amené à rechercher et extraire l'information utile (composition de l'isolant, conductivité thermique...) mais aussi à raisonner et argumenter. On lui demande par exemple de vérifier la cohérence de la relation modélisant la résistance thermique  $R_{\text{TH}} = e / (\lambda.S)$  d'un matériau de surface  $S$ , d'épaisseur  $e$  et de conductivité thermique  $\lambda$  en lui suggérant d'utiliser des extraits du dialogue entre M. Noah et le technicien thermicien. On s'assure ainsi de la compréhension de cette relation théorique avant une utilisation ultérieure en application.

Après avoir extrait la conductivité thermique  $\lambda$  de la relation  $R_{\text{TH}} = e / (\lambda.S)$ , on amène l'élève à retrouver l'unité de  $\lambda$  indiquée dans la notice technique par l'utilisation de l'analyse dimensionnelle (de façon simple sans utilisation de l'équation aux dimensions), l'unité de  $R_{\text{TH}}$  étant donnée dans l'évaluation formative précédente (voir figure 3).

- Relever la composition de l'isolant.  
.....  
.....
- Relever la valeur de la conductivité thermique de l'isolant.  
.....  
.....
- La résistance thermique d'un matériau de surface  $S$ , d'épaisseur  $e$  et de conductivité thermique  $\lambda$  est donnée par la relation :  $R_{\text{TH}} = e / (\lambda.S)$   
  
Vérifier la cohérence de cette relation en vous appuyant sur des extraits du dialogue entre M. Noah et le technicien.  
.....  
.....  
.....
- Extraire de cette relation la conductivité thermique  $\lambda$  puis procéder à une analyse dimensionnelle afin de retrouver l'unité de la conductivité thermique.

*Figure 5 : document réponse*

L'horaire hebdomadaire élève est de 3h par semaine avec une liberté laissée à chaque établissement dans la répartition entre le nombre d'heures en classe entière et le nombre d'heures en demi-groupe. Les deux activités présentées se font en classe entière sur une durée de 1h30min. L'objectif est de faire assimiler à l'élève les notions et contenus par le biais des activités, en étant acteur de la construction de son savoir, contrairement à un cours magistral où il est davantage récepteur. En guise de synthèse, on peut lui proposer de compléter une fiche du type résumé de cours reprenant les notions essentielles, dans le cadre de l'accompagnement personnalisé ou d'un travail personnel.

L'activité expérimentale qui suit (voir figures 6, 7 et 8) se fait également sur une durée de 1h30min mais en demi-groupe. Comme le recommande le programme, il s'agit de susciter la curiosité de l'élève, de le rendre autonome et apte à prendre des initiatives. Cette activité se fait également dans la continuité des activités précédentes. M. Noah se demande de quel coefficient il va améliorer la résistance thermique de sa paroi en utilisant l'isolant à base de vêtements recyclés.

On se propose dans un premier temps de réfléchir à la méthode de mesure de la résistance thermique qui exploite la relation en régime permanent  $R_{TH} = (T_1 - T_2) / \Phi$  et de rédiger la démarche expérimentale à suivre pour répondre à la question posée par M. Noah, le dispositif expérimental étant donné (voir figure 6).

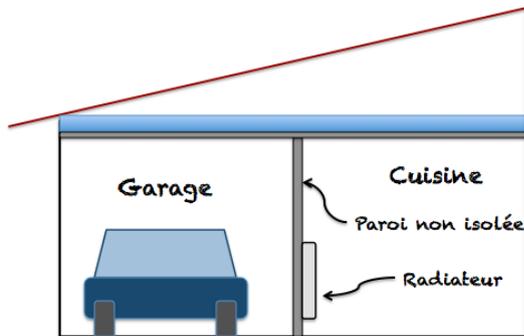
**LE PROBLÈME**

Afin de se convaincre définitivement d'entreprendre les travaux d'isolation du mur séparant la cuisine de son garage, M. Noah se tourne vers vous pour des mesures complémentaires. Il vous pose la question suivante :

« De quel coefficient vais-je améliorer la résistance thermique de ma paroi en utilisant l'isolant à base de vêtements recyclés ? »

**LE PRINCIPE DE LA MESURE**

La figure suivante reproduit le plan de l'habitation de M. Noah.



Plan de l'habitation

En utilisant les coups de pouce ci-dessous, dresser la liste du matériel nécessaire à la mesure de la résistance thermique de la paroi.

**Coups de** :

- La résistance thermique d'un matériau peut-être déterminée, en régime permanent, en utilisant la relation :  
 $R_{TH} = (T_1 - T_2) / \Phi$   
 $T_1$  et  $T_2$  sont les températures des deux surfaces de la paroi.  
 $\Phi$  est le flux thermique traversant la paroi.
- Toute l'énergie électrique absorbée par un radiateur électrique est dissipée sous forme de chaleur. Sa puissance électrique est égale à sa puissance thermique  $\Phi$ .
- La liste du matériel se cache dans la relation donnée dans le premier coup de pouce. Cherchez bien !

**Liste du matériel:**

.....

.....

.....

.....

**LA DÉMARCHÉ EXPÉRIMENTALE**

On dispose d'un appareil permettant la mesure de la résistance thermique d'un échantillon de matériau, sur le principe décrit ci-dessus, ainsi que de d'un échantillon de béton et d'un échantillon de coton en qualité d'isolant.



Appareil de mesure de la résistance thermique



Echantillon de béton



Echantillon de coton

- Quelles expériences faut-il réaliser pour répondre à la question posée par M. Noah ?

.....

.....

.....

.....

- Expliquer comment il est possible de retrouver les valeurs des conductivités thermique  $\lambda$  du béton et du coton.

.....

.....

.....

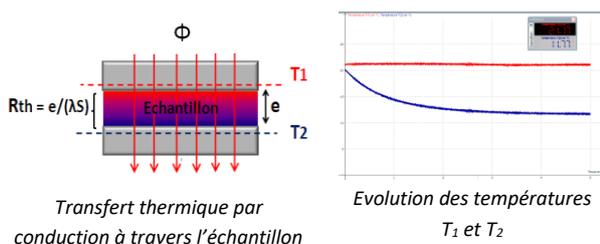
.....

Figure 6 : principe de mesure de la résistance thermique

Dans un deuxième temps, après validation de la première partie par le professeur, le protocole expérimental détaillé est remis à l'élève (voir figure 7). Celui-ci doit s'approprier la problématique du travail à effectuer, maîtriser l'environnement matériel et mettre en œuvre le protocole expérimental de façon rigoureuse. La durée de la séance n'étant que de 1h30min, un document structuré est remis à l'élève pour lui permettre de reporter les mesures et exploiter les résultats sans perdre trop de temps dans la mise en forme (voir figure 8).

**PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL**

- L'échantillon dont on veut déterminer la résistance thermique est placé entre deux plaques d'aluminium de résistances thermiques négligeables. Les deux plaques d'aluminium assurent une homogénéité de la température sur chaque face de l'échantillon par serrage.
- La plaque du bas est au contact d'une **source froide non réglable**.
- La plaque du haut est au contact d'une **source chaude**, dont la puissance thermique est **réglable**.
- La température supérieure  $T_1$  est réglée proche de la température ambiante, afin de limiter les pertes vers le milieu extérieur. Ce maintien s'effectue par le réglage manuel de la puissance électrique d'une résistance chauffante plane. Cette puissance électrique correspond à la puissance thermique  $\Phi$  du transfert d'énergie :  $P = U \cdot I = \Phi$ .
- Le régime permanent est atteint au bout de cinq à dix minutes, la température inférieure  $T_2$  se stabilise à une température d'environ  $10^\circ$  à  $15^\circ\text{C}$  en dessous de la température  $T_1$ . L'appareil affiche  $T_1$  ;  $T_2$  ;  $U$  ;  $I$  ;  $\Phi$  ;  $R_{TH}$  et  $\lambda/e$ .

**UTILISATION DE L'APPAREIL DE MESURE**

- **Avant la mise sous tension**, placer l'échantillon entre les mâchoires de l'appareil.
- Effectuer le serrage à l'aide de la molette grise. Pour un matériau rigide le serrage doit être suffisamment important de façon à ce que l'échantillon ne puisse pas bouger.
- A la mise sous tension, l'appareil affiche les températures  $T_1$  et  $T_2$ . La tension  $U$  et l'intensité  $I$  apparaissent successivement par impulsion sur le bouton poussoir.

**Attention !** Dès la mise sous tension la source froide est automatiquement enclenchée.

- Vous pouvez régler la puissance thermique  $P = U \cdot I = \Phi$  par action sur la tension  $U$  à l'aide de la molette latérale.
- Tant que le régime permanent n'est pas atteint, vous visualisez un défilement de trois petits points qui vous indique que les températures  $T_1$  et  $T_2$  varient.
- Au bout d'un certain temps pouvant varier de 5 à 10 minutes suivant l'échantillon utilisé, les conditions initiales et l'action de l'utilisateur, l'afficheur clignote indiquant le régime permanent. Par action sur le bouton poussoir on peut relever :  $T_1$  ;  $T_2$  ;  $U$  ;  $I$  ;  $P = \Phi$  ;  $R_{TH}$  et  $\lambda/e$ .

**PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL****Expérience n°1 : mesure de la résistance thermique de l'échantillon en béton.**

- Placer l'échantillon de béton entre les mâchoires de l'appareil. Réaliser le serrage.
- Alimenter l'appareil puis régler la tension  $U$  à 0V.
- Dès que la température  $T_1$  commence à chuter, alimenter la résistance chauffante sous une tension  $U=11V$ .
- Laisser le régime permanent s'installer (5 à 10 minutes). Les températures  $T_1$  et  $T_2$  sont constantes. La température  $T_1$  se stabilise à une température proche de la température ambiante  $T_a$ . En cas de légère variation de température, l'écart  $T_1 - T_2$  doit rester constant : le régime permanent est atteint.
- Relever l'ensemble des valeurs fournies par l'appareil de mesure. Vous montrerez lors de l'exploitation des résultats que l'on retrouve bien la valeur  $R_{TH}$  indiquée par l'appareil de mesure, à partir des relevés de  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $U$  et  $I$ .
- Eteindre l'appareil et desserrer les mâchoires. Sortir l'échantillon puis refermer les mâchoires. Laisser les plaques revenir à l'équilibre thermique.

**Remarque :** les dimensions de l'échantillon en béton sont 6cm x 5cm x 0,9cm.

- Vous déterminerez  $\lambda$  à partir de la valeur  $\lambda/e$  indiquée par l'appareil de mesure.
- La mesure de la résistance thermique permet de trouver la valeur de la conductivité thermique  $\lambda$  du béton à partir de la relation :  $R_{TH} = e / (\lambda \cdot S)$ . Vous retrouverez la valeur de  $\lambda$  en utilisant cette relation.

**Expérience n°2 : mesure de la résistance thermique de l'échantillon en coton.**

- Remplacer l'échantillon en béton par l'échantillon en coton et reprendre le protocole expérimental précédent avec les paramètres de réglage ci-dessous.
  - Alimentation de la résistance chauffante sous une tension  $U=9V$ .
- Remarque :** les dimensions de l'échantillon en coton sont : 6cm x 5cm x 0,08cm.
- Vous déterminerez également la valeur de la conductivité thermique du coton dans l'exploitation des résultats du document réponse (Annexe 1).

**Expérience n°3 : Mesure de la résistance thermique de l'ensemble coton-béton.**

- Superposer les échantillons de béton et coton puis reprendre le protocole expérimental précédent avec les paramètres de réglage ci-dessous.
- Alimentation de la résistance chauffante sous une tension  $U=7V$ .

Figure 7 : notice de l'appareil et protocole expérimental

**DOCUMENT RÉPONSE**

**Expérience n°1 : mesure de la résistance thermique de l'échantillon en béton.**

U(V)	I(mA)	Φ(W)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)
11				

R <sub>TH</sub> (K.W-1)	λ/e (W.K-1.m-2)

- Retrouver la valeur de R<sub>TH</sub> indiquée par l'appareil de mesure, à partir des relevés de T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, U et I.
- Déterminer la conductivité thermique λ du béton à partir de la valeur λ/e indiquée par l'appareil de mesure.
- Retrouver la valeur de la conductivité thermique λ du béton à partir de la relation :  $R_{TH} = e / (\lambda . S)$ .

**Expérience n°2 : mesure de la résistance thermique de l'échantillon en coton.**

U(V)	I(mA)	Φ(W)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)
9				

R <sub>TH</sub> (K.W-1)	λ/e (W.K-1.m-2)

- Retrouver la valeur de R<sub>TH</sub> indiquée par l'appareil de mesure, à partir des relevés de T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, U et I.
- Déterminer la conductivité thermique λ du coton à partir de la valeur λ/e indiquée par l'appareil de mesure.
- Retrouver la valeur de la conductivité thermique λ du coton à partir de la relation :  $R_{TH} = e / (\lambda . S)$ .

**Expérience n°3 : mesure de la résistance thermique de l'ensemble coton - béton**

U(V)	I(mA)	Φ(W)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	R <sub>TH</sub> (K.W-1)
7					

- Retrouver la valeur de R<sub>TH</sub> indiquée par l'appareil de mesure, à partir des relevés de T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, U et I.

**Conclusion:**

- Quelle relation peut-on mettre en évidence entre les résistances thermiques du béton, du coton et de l'ensemble coton-béton ?
- Dans les conditions de cette expérimentation de laboratoire, avec les épaisseurs des échantillons utilisés, de quel coefficient a-t-on déjà amélioré la résistance thermique de la paroi ?

Figure 8 : document réponse

L'appareil de mesure de la résistance thermique utilise le principe de l'expérience ci-dessous, appelé aussi méthode de la mini-plaque chaude (voir figure 9).

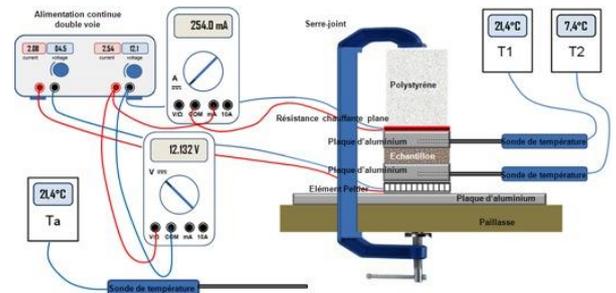


Figure 9 : méthode de la mini-plaque chaude

L'échantillon est placé entre deux plaques d'aluminium. La plaque du haut est au contact d'une résistance chauffante plane, la plaque du bas est au contact de la face froide d'un élément Peltier. Le dispositif mesure la résistance thermique R<sub>TH</sub> située entre les deux points de température T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub> (voir figure 10),

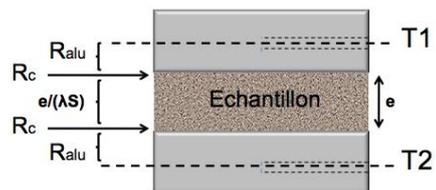


Figure 10 : résistance thermique totale mesurée

ce qui nous donne  $R_{TH} = 2 R_{alu} + 2 R_c + e/(\lambda S)$ .  
 R<sub>alu</sub> : résistance thermique de la plaque d'aluminium située entre la sonde et l'échantillon.  
 R<sub>c</sub> : résistance de contact entre l'échantillon et la plaque d'aluminium.

On introduit une erreur de mesure liée au terme  $2 R_{\text{alu}} + 2 R_c$ , que l'on peut négliger pour des matériaux de conductivité thermique faible à moyenne. On néglige aussi le flux ascendant à travers l'isolant supérieur ainsi que les apports convectifs sur les faces latérales de l'échantillon. En considérant également l'incertitude des deux sondes de température, on choisit de réaliser les mesures avec  $T_1$  proche de la température ambiante en réglant le gradient de température à environ  $10^\circ\text{C}$ . Ce compromis permet de limiter l'incertitude relative  $\Delta R_{\text{TH}} / R_{\text{TH}}$  qui peut tout de même atteindre 10 à 30%.

La difficulté des mesures en thermique, permet à l'élève de porter un regard critique sur les résultats en identifiant les sources d'erreur, en comparant les mesures des conductivité thermiques à des données de constructeur.

Lors de cette activité expérimentale on utilise un morceau de carrelage en céramique de conductivité thermique proche de celle du béton, que l'on a poncé et rectifié pour obtenir un état de surface parfait. Un coton de démaquillage est utilisé comme isolant. Les résultats des mesures nous permettent de retrouver l'ordre de grandeur de la conductivité thermique de ces deux matériaux et mettent en évidence l'additivité des résistances thermiques d'une paroi constituée de plusieurs matériaux (voir figure 11).

**Expérience n°1 : mesure de la résistance thermique de l'échantillon en béton.**

U(V)	I(mA)	$\Phi$ (W)	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$
11	310	3,41	27,3	16,8

$R_{\text{TH}}$ (K.W-1)	$\lambda/e$ (W.K-1.m-2)
3,08	108

Ce qui nous donne :  $\lambda = 0,97 \text{ W.K-1.m-1}$

**Expérience n°2 : mesure de la résistance thermique de l'échantillon en coton.**

U(V)	I(mA)	$\Phi$ (W)	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$
9	250	2,26	27,6	16,1

$R_{\text{TH}}$ (K.W-1)	$\lambda/e$ (W.K-1.m-2)
5,09	62,5

Ce qui nous donne :  $\lambda = 0,05 \text{ W.K-1.m-1}$

**Expérience n°3 : mesure de la résistance thermique de l'ensemble coton - béton**

U(V)	I(mA)	$\Phi$ (W)	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$R_{\text{TH}}$ (K.W-1)
7	192	1,34	26,4	15,6	8,06

**Conclusion:**  
 On trouve des valeurs très proches des conductivités thermiques du béton et du coton données par les constructeurs.  
 On constate l'additivité des résistances thermiques d'une paroi constituée de plusieurs matériaux :  
 $R_{\text{TH}} = R_{\text{TH béton}} + R_{\text{TH coton}} = 3,08 + 5,09 = 8,17 \text{ K.W-1}$   
 Pour cette expérience la résistance thermique de la paroi est augmentée d'un coefficient de 2,6.

*Figure 11 : résultat des mesures*

### 3. Activité expérimentale sur l'énergie cinétique de rotation en classe de première

La partie mécanique du programme de première est développée dans la section « mise en mouvement » du thème « transport » (voir figure 12).

TRANSPORT	
NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES
Mise en mouvement	
Energie cinétique d'un solide en mouvement de translation.	Ecrire et exploiter les relations de définition de l'énergie cinétique d'un solide en translation ou en rotation.
Energie cinétique d'un solide en mouvement de rotation ; moment d'inertie d'un solide par rapport à un axe.	Prévoir les effets d'une modification de l'énergie cinétique d'un solide en mouvement de translation ou de rotation.
Energie potentielle de pesanteur.	Analyser des variations de vitesse en termes d'échanges entre énergie cinétique et énergie potentielle.
Energie potentielle élastique.	Exprimer et utiliser l'énergie mécanique d'un solide en mouvement.
Energie mécanique.	Analyser un mouvement en termes de conservation et de non-conservation de l'énergie mécanique et en termes de puissance moyenne..

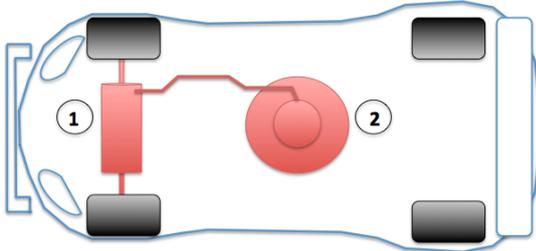
*Figure 12 : extrait du programme de première STI2D - STL*

L'objectif de l'activité qui suit est d'introduire les notions d'énergie cinétique de rotation et de moment d'inertie d'un solide par rapport à un axe. Le moment d'inertie étant une notion difficile et compliquée à expliquer de façon théorique au niveau d'une classe de première, on privilégie une activité expérimentale sous la forme d'une démarche d'investigation. Le contexte est la récupération et le stockage de l'énergie lors d'une phase de freinage, par le mouvement d'un volant d'inertie, dans un véhicule de sport automobile (voir figure 13).

**COMMENT « DOPER » SA VOITURE ?**

Dans un volant d'inertie, l'énergie est stockée sous forme d'énergie cinétique\*. Lorsque la voiture freine, les génératrices électriques (1) récupèrent l'énergie du freinage en faisant tourner un moteur électrique intégré dans un volant d'inertie (2). L'énergie est stockée dans le mouvement du volant d'inertie qui tourne d'autant plus vite qu'il reçoit de l'énergie. Etant parfaitement équilibré, il peut tourner très longtemps sur son axe une fois qu'il est lancé.

Ainsi, à la demande du pilote, lorsque la voiture est en phase d'accélération, l'énergie du volant d'inertie peut-être reconvertie en énergie électrique par le moteur intégré qui fonctionne maintenant en génératrice et qui alimente les moteurs électriques (1) des roues avants, fournissant ainsi une énergie supplémentaire.

**Véhicule hybride, sans batterie avec volant d'inertie**

**\*L'énergie cinétique de rotation**

L'énergie cinétique d'un solide de moment d'inertie  $J$  en rotation autour d'un axe à la vitesse  $\omega$  est donné par la relation :

$$E_c = \frac{1}{2} J \omega^2$$

$E_c$  : en Joules (J)  
 $\omega$  : en (rad.s<sup>-1</sup>)  
 $J$  : en (kg.m<sup>2</sup>)

Figure 13 : contexte de l'activité

On vérifie que le principe du freinage par récupération est bien compris. On débute l'activité en complétant le schéma des chaînes énergétiques (voir figure 14).

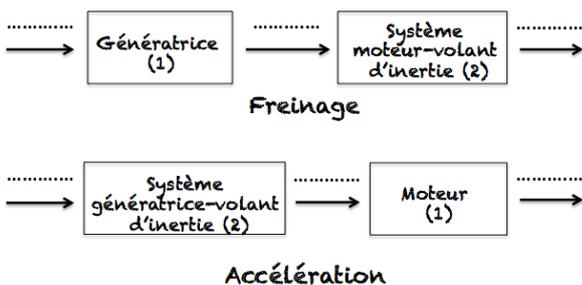
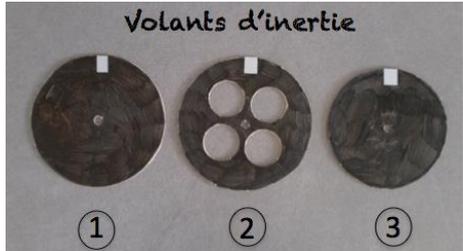


Figure 14 : chaîne énergétique à compléter

La démarche d'investigation consiste à choisir le volant d'inertie qui permet de stocker le plus d'énergie cinétique parmi trois modèles proposés, lorsqu'ils sont entraînés à la même vitesse de rotation. On débute l'activité en demandant aux élèves de formuler une hypothèse. Le critère de choix se fait de façon visuelle et au touché. On peut également fournir un mètre et une balance aux binômes qui le désirent. La suite consiste à proposer un protocole expérimental permettant de vérifier l'hypothèse faite. Le matériel est choisi à partir d'une liste donnée. Une fois rédigé, les élèves mettent en œuvre le protocole expérimental et relèvent soigneusement les résultats des mesures (voir figure 15).

**CHOIX DU MEILLEUR VOLANT D'INERTIE**

Vous disposez de trois modèles de volant d'inertie. Votre mission est de choisir le volant d'inertie qui permet de stocker le plus d'énergie cinétique à une même vitesse de rotation.



- Formulez une hypothèse.  
 .....  
 .....
- Proposez un protocole expérimental permettant de vérifier votre hypothèse. Vous choisirez votre matériel parmi la liste suivante :  
 trois volants d'inertie avec système de fixation sur axe moteur, un moteur à courant continu de tension 6V à ne pas dépasser, un support de maintien du moteur, une alimentation continue, un multimètre, un tachymètre électronique, un chronomètre, une balance électronique, un mètre.  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....
- Mise en œuvre du protocole expérimental : résultats des mesures.  
 .....  
 .....  
 .....

Figure 15 : protocole expérimental et mise en œuvre

L'objectif pédagogique est de montrer que le moment d'inertie d'un solide dépend non seulement de sa masse, mais aussi de la répartition de sa masse par rapport à son axe de rotation. L'idée est d'introduire un volant d'inertie avec une masse moins importante que celle d'un autre mais avec un plus grand moment d'inertie de part sa répartition des masses. On est dans ce cas de figure pour le volant d'inertie (2) vis à vis du volant d'inertie (3). Les élèves ont à l'esprit que l'énergie cinétique d'un solide en translation ne dépend que de la vitesse et de la masse. Ceci leur apparaît comme une contradiction que l'on lèvera dans l'analyse des résultats (voir figure 19). On pré calcule tout d'abord de façon théorique les moments d'inertie de nos disques afin d'en déterminer les dimensions (voir figure 16).

$$R_1 = 6 \text{ cm} ; R_3 = 5,5 \text{ cm} ; R_4 = 1,5 \text{ cm}$$

$$d = 2,7 \text{ cm}$$

On obtient :  $J_2 = 0,883 J_1$  et  $J_3 = 0,706 J_1$ .

On a bien :  $J_1 > J_2 > J_3$  avec  $m_1 > m_3 > m_2$ .

**Figure 16** : détermination des dimensions des volants d'inertie

Les volants d'inerties sont découpés dans un carton plat très rigide, on recalcule les moments d'inertie des disques à partir des dimensions et des masses des découpes afin de valider les calculs précédents (voir figure 17).

<p>Moment d'inertie :</p> $J_1 = \frac{m_1 R_1^2}{2}$ <p>Masse :</p> $m_1$ <p>Surface :</p> $S_1 = \pi R_1^2$	<p>Volant d'inertie ①</p>
<p>Moment d'inertie :</p> $J_2 = J_1 - 4J_4$ $J_2 = \frac{m_1 R_1^2}{2} - 4 \left[ \frac{m_4 R_4^2}{2} + m_4 d^2 \right]$ <p>Masse :</p> $m_2 = m_1 - 4m_4$ <p>Surface :</p> $S_2 = \pi [R_1^2 - 4R_4^2]$	<p>Volant d'inertie ②</p>
<p>Moment d'inertie :</p> $J_3 = \frac{m_3 R_3^2}{2}$ <p>Masse :</p> $m_3$ <p>Surface :</p> $S_3 = \pi R_3^2$	<p>Volant d'inertie ③</p>
<p>La masse étant proportionnelle à la surface, on exprime les moments d'inertie <math>J_2</math> et <math>J_3</math> en fonction de <math>J_1</math> et des dimensions.</p> $J_2 = J_1 \left[ 1 - 4 \left[ \left( \frac{R_4}{R_1} \right)^4 + 2 \frac{R_4^2}{R_1^2} d^2 \right] \right]$ $J_3 = J_1 \left[ \frac{R_3}{R_1} \right]^4$ <p>On remplace les différents rayons par des valeurs numériques de façon à avoir <math>J_2 &gt; J_3</math>. Ceci est le cas en prenant :</p>	

	Masse	Moment d'inertie
Volant 1	$m_1 = 12,9\text{g}$	$23,2 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$
Volant 2	$m_2 = 9,7\text{g}$	$20,5 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$
Volant 3	$m_3 = 11\text{g}$	$16,6 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$

**Figure 17** : valeurs des moments d'inertie

L'expérience suggérée est d'entraîner successivement chaque disque à une même vitesse de rotation que l'on contrôle au tachymètre, de couper l'alimentation du moteur et de mesurer le temps d'arrêt du volant d'inertie. Le disque ayant la plus grande énergie emmagasinée tournera le plus longtemps. Par ailleurs, la relation de l'énergie cinétique d'un solide en rotation montre que pour une même vitesse de rotation, l'énergie emmagasinée ne dépend que du moment d'inertie du solide entraîné. Les élèves se tournent assez naturellement et rapidement vers cette expérience suite à la lecture du contexte de l'activité. Le rôle de l'enseignant est de recadrer les binômes qui s'éloignent. Les résultats des mesures confirment les calculs théoriques (voir figure 18)

Vitesse :	Masse	Temps d'arrêt
4150 tr.min <sup>-1</sup>		
Volant 1	$m_1 = 12,9\text{g}$	$t_{\text{arrêt}} = 5,3\text{s}$
Volant 2	$m_2 = 9,7\text{g}$	$t_{\text{arrêt}} = 4,6\text{s}$
Volant 3	$m_3 = 11\text{g}$	$t_{\text{arrêt}} = 4\text{s}$

**Figure 18** : temps d'arrêt des volants d'inertie après entraînement

L'analyse des résultats n'étant pas simple, on fournit une première piste de réflexion, puis on suggère de reprendre l'expérience avec un nouveau volant d'inertie de masse et de rayon identique au volant n°2 mais avec une répartition des masses différente, la distance d étant maintenant de 4,2 cm (voir figure 19).

- En analysant vos résultats expérimentaux, essayez de déterminer les paramètres dont dépend le moment d'inertie  $J$  d'un solide en rotation.

Coup de n°1

Le moment d'inertie ne dépend pas que de la masse!

Coup de n°2

Oui, on dirait que la répartition des masses est aussi importante!

Reprendre l'expérience avec le volant d'inertie suivant:

.....

.....

.....

.....

.....

- Mise en commun des résultats – validation

.....

.....

.....

.....

.....

Figure 19 : analyse des résultats

Le calcul du moment d'inertie de ce nouveau disque nous donne les résultats suivants (voir figure 20):

	Masse	Moment d'inertie
Volant 2 <sub>bis</sub>	$m_2 = 9,7g$	$17 \times 10^{-6} kg.m^2$

Figure 20 : moment d'inertie du volant 2<sub>bis</sub>

La nouvelle répartition des masses concentre davantage la masse près de l'axe de rotation, ce qui a pour effet de diminuer la valeur du moment d'inertie. Ce résultat est confirmé par la valeur du temps d'arrêt (voir figure 21).

Vitesse :	Masse	Temps d'arrêt
4150 tr.min <sup>-1</sup>		
Volant 2 <sub>bis</sub>	$m_2 = 9,7g$	$t_{arrêt} = 4s$

Figure 21 : temps d'arrêt du volant 2<sub>bis</sub> après entraînement

La mise en commun des résultats conduit également à l'écriture d'une définition du moment d'inertie : « grandeur traduisant la capacité du solide à poursuivre son mouvement de rotation après l'arrêt de la force d'entraînement. Il dépend de la masse et de la géométrie du solide par rapport à l'axe de rotation ».

### 3. Activité expérimentale sur l'énergie solaire photovoltaïque en classe de terminale

La partie énergie solaire photovoltaïque du programme de terminale est développée dans la section « Gestion de l'énergie dans l'habitat » du thème « habitat ». Une mise en œuvre expérimentale fait partie des capacités exigibles (voir figure 22).

HABITAT	
NOTIONS ET CONTENUS	CAPACITES EXIGIBLES
Gestion de l'énergie dans l'habitat	
Énergie solaire : conversions photovoltaïque et thermique. Modèle corpusculaire de la lumière, le photon. Énergie d'un photon	Mettre en œuvre une cellule photovoltaïque. Effectuer expérimentalement le bilan énergétique d'un panneau photovoltaïque.

Figure 22 : extrait du programme de terminale

Le contexte de l'activité est le positionnement des modules photovoltaïques (voir figure 23)

**UNE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE Tournesol**

Vous effectuez un stage dans la société Tournesol qui réalise des supports pour panneaux photovoltaïques. Ces supports motorisés ont la particularité de suivre la course du soleil tel un tournesol. On peut les installer sur des toits terrasse ou encore sur des bâtiments commerciaux, publics ou industriels.

Le bureau d'étude travaille actuellement sur un nouveau prototype. Dans ce projet, l'asservissement du support sur la course du soleil a déjà été réalisé. Le travail actuel consiste à asservir avec le bon angle le plan du panneau vis à vis des rayons du soleil. C'est la question que vous pose votre maître de stage :

**Comment faut-il positionner le plan d'un module PV vis à vis des rayons du soleil pour obtenir son meilleur rendement ?**

- Formulez une hypothèse.  
.....
- Proposez un protocole expérimental permettant de vérifier votre hypothèse. Vous choisirez votre matériel parmi la liste suivante :  
un capteur d'éclairement (luxmètre ou solarimètre), une planche en bois, un mètre, une montre, un bâton...  
.....
- Mise en œuvre du protocole expérimental : résultats des mesures.

Figure 23 : contexte de l'activité et protocole expérimental

Les élèves se placent face au soleil en se repérant à l'aide de l'ombre d'un bâton. Ils positionnent le luxmètre sur la planche et font varier l'angle  $\alpha$  de la planche par rapport au sol (voir figure 24).



Figure 24 : mise en œuvre du protocole expérimental

Ils mesurent l'éclairement  $E$  pour différentes positions de la planche, la valeur de l'angle  $\alpha$  s'obtient à partir de la mesure de la hauteur  $h$  (voir figure 25).

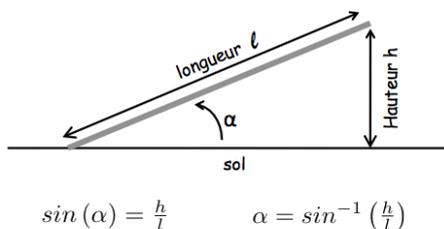


Figure 25 : mesure de l'angle  $\alpha$

Pour un gain de temps, on peut également utiliser le support pédagogique ci-dessous qui permet une lecture directe de l'angle  $\alpha$  (voir figure 26).



Figure 26 : support pédagogique

Ils tracent la courbe  $E=f(\alpha)$  et relèvent la valeur de l'angle  $\alpha$  pour lequel l'éclairement est maximum (voir figure 27).

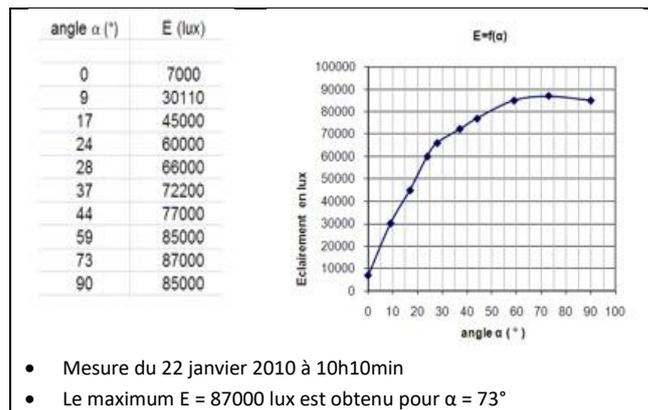
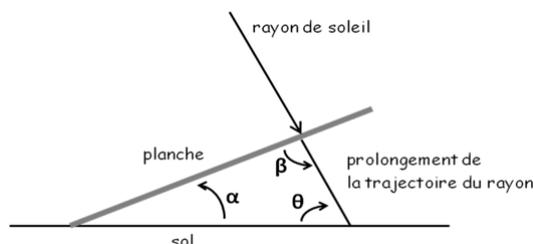


Figure 27 : tracé de la courbe  $E=f(\alpha)$

L'hypothèse qui est généralement faite est la suivante : l'énergie solaire captée par le panneau photovoltaïque sera plus importante si les rayons du soleil sont perpendiculaires à sa surface. Dans ces conditions son rendement sera optimal.

Au cours de l'expérimentation les élèves constatent sans pouvoir le démontrer que le support est perpendiculaire aux rayons du soleil pour l'angle  $\alpha$  correspondant à un éclairement  $E$  maximum. Leur hypothèse semble être confortée mais rien n'est démontré. On aide les élèves à modéliser le problème afin de justifier l'hypothèse (voir figure 28).

Le schéma suivant modélise le problème à résoudre.



L'angle  $\theta$  est appelé « hauteur solaire ». Il s'agit de l'angle fait par un rayon de soleil avec l'horizontale. On peut le déterminer expérimentalement en utilisant l'ombre portée d'un bâton. On peut aussi utiliser le déterminer avec le lien internet suivant : <http://www.thermoptim.org/sections/logiciels/thermoptim/ressources/applet-simulateur-course>.

- Donner la relation géométrique liant  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\theta$ .
- Vérifier votre hypothèse en utilisant les données numériques.

Figure 28 : analyse des résultats

Pendant que les élèves relevaient la caractéristique  $E=f(\alpha)$ , l'enseignant a pris en photo un cliché de l'ombre portée d'un bâton et a relevé les mesures au décimètre. Les données sont fournies aux élèves au moment de l'analyse des résultats (voir figure 29).

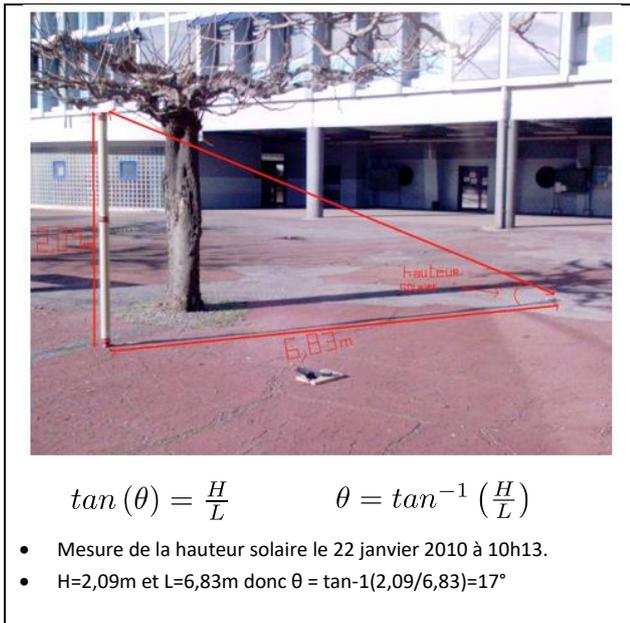


Figure 29 : mesure de la hauteur solaire

L'hypothèse est parfaitement vérifiée,

$$\alpha + \beta + \theta = 180^\circ \text{ soit } \beta = 180^\circ - \theta - \alpha$$

$$\text{A.N : } \beta = 180 - 17 - 73 = 90^\circ$$

il faut asservir l'inclinaison du support du panneau solaire de façon à ce que l'angle  $\beta$  soit égal à  $90^\circ$  à chaque instant.

Maintenant que l'on sait positionner le panneau solaire, on peut effectuer expérimentalement son bilan énergétique dans les meilleures conditions (voir figure 30).

**RENDEMENT D'UN MODULE PHOTOVOLTAÏQUE**

Votre deuxième mission en tant que stagiaire consiste à vérifier les caractéristiques constructeur d'un petit module photovoltaïque de laboratoire. Les données du constructeur sont les suivantes :

Surf.:  $72 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>  
 Tension max : 3,5 V  
 Courant max : 450 mA  
 Rendement  $\eta = 12,3\%$   
 (sous éclairage énergétique de 1000 W.m<sup>-2</sup>)

Caractéristique I=f(U) ; éclairage énergétique de 1000 W.m<sup>-2</sup>

- Compléter préalablement la chaîne énergétique ci-dessous en précisant la nature des énergies mises en jeu:

- Repérer sur la caractéristique du module, le point pour lequel la puissance électrique est maximale, justifier votre réponse.

**Coup de main :**

pour une valeur donnée de U et de I, le produit U.I représente géométriquement l'aire d'un rectangle.

.....

.....

.....

.....

- Proposer un protocole expérimental (schéma, explications,..) permettant de relever la caractéristique I=f(U) du module. Vous pourrez utiliser le matériel suivant :
  - un module solaire et son support orientable
  - un luxmètre ou un solarimètre
  - deux multimètres
  - une boîte de résistances variables permettant de faire varier l'intensité I et la tension U aux bornes du module des fils

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Schéma du montage

- Relever la caractéristique I=f(U) puis vérifier la valeur du rendement du module à son point de puissance max.  
 Données : 100 000 lux correspondent à 1000 W/m<sup>2</sup>  
 relation du rendement  $\eta = E_{\text{utile}} / E_{\text{absorbée}} = P_{\text{utile}} / P_{\text{absorbée}}$

Figure 30 : bilan énergétique d'un module PV

Cette dernière activité nécessite des conditions climatiques favorables. Il est nettement plus intéressant de mettre en œuvre un module photovoltaïque en extérieur que sous éclairage artificiel. L'objectif pédagogique de la partie sur le positionnement du module est de travailler la démarche scientifique. En fonction du temps disponible, il peut être très intéressant de laisser les élèves modéliser le problème avant de leur demander de l'exploiter (voir figure 28).

#### 4. Conclusion

Ces quelques activités illustrent la diversité du domaine scientifique et des démarches pédagogiques qu'offre ce nouveau programme. La contextualisation sans spécialisation excessive contribue à l'acquisition d'une culture scientifique. Elle facilite l'apprentissage des lois et des modèles physiques et chimiques fondamentaux à des élèves déstabilisés par une approche plus théorique.

Il faut cependant souligner le temps, la créativité et l'investissement pédagogique que suscite la réalisation d'une séquence pédagogique qui ne durera que deux heures. La réussite de cette réforme implique une mutualisation des ressources afin d'optimiser l'énergie des enseignants pour le bénéfice des élèves.

#### Liens internet

<http://eduscol.education.fr/rnstl/physique-chimie>

<http://www.maisonapart.com/edite/construire-renover/isolation/l-isolation---une-seconde-vie-pour-nos-vetements-1464.php>

[www.lerelais.org/Isolant-Metisse/](http://www.lerelais.org/Isolant-Metisse/)

[www.thermique55.com/principal/metrologiethermique.pdf](http://www.thermique55.com/principal/metrologiethermique.pdf)

[www.sciencethic.com/](http://www.sciencethic.com/)

<http://www.thermoptim.org/sections/logiciels/thermoptim/ressources/applet-simulateur-course>.

# Activités pratiques en Sciences Physiques sur le thème « Vêtement et Revêtement ».

**Cécile THOMAS**

Lycée Jean Rostand, 8 rue pierre Audat, 93420 Villepinte.

**Résumé :** Le programme de 1<sup>ère</sup> STI2D s'articule autour de quatre thèmes : habitat, transport, santé et vêtement-revêtement. L'objet de cet article est de présenter une progression possible, articulée autour de quatre activités pratiques principales permettant de traiter l'ensemble des notions à abordées dans ce thème.

## 1. Progression globale sur le thème

Ma progression se découpe en trois parties.

Une première partie, intitulée « MATERIAUX NATURELS ET ARTIFICIELS : De l'atome à la molécule », permet de reprendre des notions déjà abordées en seconde telles que les règles du duet et de l'octet, les formules développées... et d'amener les élèves à appréhender des molécules plus complexes.

La deuxième partie, intitulée : « LES POLYMERES » part de la fabrication et donc de la notion de polymérisation jusqu'à leurs propriétés et débouche assez naturellement sur la notion de recyclage. C'est l'occasion d'éveiller une fibre écologique chez les élèves.

Enfin la troisième partie traite des transferts thermiques. Les propriétés des polymères permettant de faire le lien.

Toutes les séquences proposées dans cet article ont été mise en œuvre devant des élèves au cours de l'année scolaire précédente. L'ensemble du thème peut-être traité en cinq à six semaines. Les activités pratiques ont été réalisées en demi groupe, sur des séances de une heure trente ou deux heures.

## 2. Partie 1 : « Naturel ou artificiel ? »

En introduction à cette première partie, j'ai proposé une activité documentaire aux élèves : « trois pulls vraiment identiques ? » extraite du site eduscol. Puis je leur ai présenté différents objets du quotidien (un maillot de l'équipe nationale, des bouteilles, une chaise...) et ils devaient déterminer de quel type de matériau il s'agissait.

A la suite de ces premières activités assez ludiques, nous avons fait un rapide rappel des notions telles la

structure électronique des atomes, les règles du duet et de l'octet, les formules développées...

Ils ont alors pu réaliser l'activité pratique : « Comment sont constitués les objets usuels ? ». Cette activité se déroule sur ordinateur à partir du logiciel de simulation de Gilbert Gastebois permettant la visualisation de la structure en trois dimensions des molécules.(Ou tout autre logiciel du même type).

### COMMENT SONT CONSTITUÉS LES OBJETS USUELS ?

Ouvrir le logiciel « MOLECULE 3D ».

Donner, pour chaque molécule :

- La formule brute et la formule développée ;
- Entourer les groupes caractéristiques des fonctions alcool, acide, amine, ester ou amide.

#### 1) Sacs plastiques, bouteilles de shampoing, gilet par balles...

Le polyéthylène est probablement le polymère que vous voyez le plus souvent dans la vie de tous les jours.

Il est constitué de nombreuses molécules d'éthylène.



#### 2) La soie

L'alanine est une molécule qui participe à la formation naturelle de la soie.



### 3) Boîte à aliments, revêtement de sol, cône des haut-parleurs ...

Le polypropylène est constitué de molécules de **propylène**

Il sert à fabriquer des boîtes à aliments qui résistent au lave-vaisselle, des revêtements de sol intérieur et extérieur comme celui utilisé dans certains mini-golf ou encore le cône d'un haut-parleur.



### 4) Boîtiers d'appareils, couverts jetables...

Le polystyrène est un thermoplastique dur bon marché, et probablement seul le polyéthylène est plus commun que lui dans la vie quotidienne. Le coffrage de l'ordinateur que vous utilisez en ce moment est probablement en polystyrène.



Les maquettes de voitures ou d'avions sont en polystyrène, et il sert aussi sous forme expansée à l'emballage et à l'isolation. Les verres en plastique transparent sont en polystyrène, et aussi de nombreuses parties moulées de l'intérieur de votre voiture, et les boutons de votre auto-radio. Le polystyrène est aussi utilisé pour les jouets, et les boîtiers d'objets tels que sèche-cheveux, ordinateurs, et appareils électroménagers.

Le polystyrène est fabriqué à partir de molécules de **styrène**.

### 5) Le coton

Le coton est principalement constitué de cellulose. La molécule de cellulose est constituée de motifs identiques qui se répètent, issus d'une même molécule de **glucose**.



### 6) Dissolvant, restauration de peinture ...

L'**acétate de méthyle** est utilisé comme solvant dans des colles, peintures et nettoyeurs de vernis à ongle. Il est aussi utilisé pour la restauration de tableau.



### 7) Gants de jardin, toile de parachute...

Le **Diméthylformamide** est utilisé dans l'industrie textile, en particulier pour la fabrication des toiles de parachute. On l'utilise également dans la production de pesticides, colles, cuirs synthétiques,



posé quelques problèmes aux élèves qui voyait dans le groupe acide carboxylique, aussi la fonction alcool. Il serait peut-être plus judicieux de leur demander de retrouver des « motifs » qui apparaissent dans les différentes molécules, puis de remplir ensemble, en fin d'activité le tableau.

## 3. Partie 2 : « Les Polymères »

Cette partie est constituée de deux activités expérimentales : Une première activité permettant de réaliser la synthèse d'un polymère synthétique et d'un polymère à partir de substances naturelles et une deuxième activité permettant d'aborder certaines propriétés des polymères.

### ACTIVITE 1

#### COMMENT PRODUIRE UN POLYMERE ?

##### 1) Le lait et les matières plastiques

En 1889, deux chercheurs en quête de la Pierre Philosophale, travaillent sur un aliment simple mais précieux : le lait. À force de coaguler, purifier, sécher et durcir la caséine, ils obtiennent ce qu'ils prénommèrent la " Pierre de Lait " aussi appelé **Galalithe (du grec gala : lait et lithos : pierre)**.

Inventée en 1897 par Spitteler et Krishe (Allemagne), la galalithe est l'ancêtre des matières plastiques, à base de produit naturel.

Au début du siècle, un chimiste français, M. Trillat, trouve le moyen d'insolubiliser cette caséine en la mélangeant à un produit acide comme le formol (ou le vinaigre), ce qui la rend pratiquement imputrescible. Le principe de fabrication est simple : un litre de lait pèse environ 1032 grammes. Lorsque l'on en retire l'eau, il ne reste que 127 grammes de matière sèche dont 24 à 30 grammes de caséine, qui, mélangée à plusieurs colorants, puis chauffée nous donne la galalithe.

C'est à partir de 1918 que commence la fabrication et l'utilisation courante de ce produit pour la réalisation d'articles comme le bouton, le bijou fantaisie, les boîtes, le fume-cigarette ou encore le stylo. Cette matière est plus dure que la corne, plus brillante que l'os et plus soyeuse au toucher que l'ivoire. Mais cette matière demande un long processus manuel pour obtenir le fini impeccable qu'elle requiert.

Après la dernière guerre et avec l'apparition des matières plastiques moulées, la galalithe, devenant trop onéreuse disparaît du marché et il ne reste actuellement

En complément de cette activité, une fiche représentant la structure des différents groupes fonctionnels a été distribuée aux élèves. La reconnaissance des groupes a

que quelques rares artisans pour l'utiliser dans des produits de haute qualité, fabriqués entièrement à la main ou quelques faussaires pour imiter l'ivoire.

- a- Pourquoi la galalithe est elle qualifiée de matériau naturel ? Par opposition à quel autre terme parle-t-on de matériau naturel ?
- b- Proposer un autre type de plastique naturel.

On souhaite vérifier la véracité de cet article en fabriquant de la galalithe :

*Introduire 100 mL de lait dans un bécher et le porter à une température de 60°C*

*Ajouter du vinaigre jusqu'à ce que la caséine cesse de se coaguler et laisser refroidir*

*Filtrer l'ensemble et déposer le plastique obtenu sur du papier absorbant*

*Pétrir pour éliminer l'eau restante et pour obtenir une texture souple*

Lors de cette réaction les molécules de caséine se sont associées les unes aux autres, formant de très longues chaînes appelées « polymère » : c'est une polymérisation.

Industriellement ce type de réaction est intéressante pour obtenir des plastiques et des fibres synthétiques diverses. On peut par exemple traiter le cas du nylon.

## 2) Le nylon 6-6

### A- Synthèse expérimentale

*Ouvrir l'ampoule contenant la phase aqueuse en cassant avec précaution la partie supérieure.*

*Verser le contenu dans un bécher de 100 mL.*

*Faire de même avec l'ampoule contenant la phase organique. Verser doucement son contenu le long de la paroi du bécher en évitant les remous. La phase organique surnage alors sur la phase aqueuse.*

*Déplier le trombone et former un crochet à son extrémité. Le plonger doucement dans le milieu réactionnel et attraper le film de nylon formé à l'interface.*

*Tirer ensuite doucement le film vers le haut sur une dizaine de centimètres. Il se forme alors un fil de nylon. Maintenir le fil dans cette position et approcher à mi hauteur du fil l'agitateur en verre. Enrouler alors les cinq centimètres de fil situés au dessus de l'agitateur autour de ce dernier à l'aide du crochet. Enfin enrouler le fil de nylon en tournant l'agitateur en verre sur lui-même.*

*Une fois la quantité de nylon extraite suffisante, couper le fil et plonger l'extrémité de l'agitateur en verre dans un bécher rempli d'une solution eau additionnée de liquide vaisselle.*

*Agiter l'agitateur dans la solution pendant quelques minutes puis le plonger dans le troisième bécher contenant de l'eau claire.*

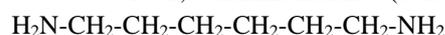
*Pour finir déposer le morceau de nylon sur une feuille de papier absorbant et le sécher en le pressant dans le papier.*

- a- Pourquoi la phase aqueuse et la phase organique ne se mélangent pas ?
- b- Dans le bécher, où apparaît le film de nylon ? Pourquoi ?

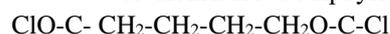
### B- Interprétation

Les deux réactifs, aussi appelé monomères, sont :

. le 1,6-diaminohexane (solution aqueuse) :



. le dichlorure d'adipoyl (phase organique) :



- a- Entourer et nommer les groupes caractéristiques de chaque réactif.
- b- Pour que les deux molécules des réactifs puissent s'associer et former un polymère, il faut que certaines liaisons se cassent. Sachant que du HCl est produit, écrire l'équation de la réaction entre une molécule de 1,6-diaminohexane et une molécule de dichlorure d'adipoyl.
- c- Pourquoi qualifie-t-on cette réaction de condensation ?
- d- Entourer et nommer le groupe caractéristique formé par cette synthèse.

Lors de la synthèse, cette condensation se produit « n » fois, formant alors une longue molécule : c'est une polycondensation.

- e- Ecrire alors la réaction sous la forme :
- f- Proposer une justification à l'appellation nylon 6-6. Pourquoi le qualifie-t-on aussi de polyamide ?

En dehors des polyamides et polyester employés dans l'industrie textiles, on rencontre d'autres polymères dans les emballages et matériaux de construction (polyéthylène, polypropylène...).

Pour la réalisation du nylon 6-6, j'ai utilisé le « kit synthèse du nylon » de Jeulin, procédé ne faisant appel à aucun solvant organique volatil et ne nécessitant donc pas de hotte. L'élève a juste besoin de porter les

équipements de protection usuels : blouses, lunettes, gants.

A l'issue de la séance, les élèves étaient très fiers de pouvoir repartir avec leurs réalisations.

La manipulation nécessaire à l'extraction du fil de nylon est parfois difficile, en fonction de la patience des élèves et certains binôme ont du terminer la partie interprétation à la maison.

Cette première activité permet d'aborder les notions d'équation de polymérisation et de monomères. Elle débouche sur un cours synthétique permettant de distinguer les polyadditions et les polycondensations. A cet effet, l'animation disponible sur le site <http://www.physique-appliquee-renaudeau.net>, est très utile et permet aux élèves mieux appréhender les mécanismes de ces réactions.

## ACTIVITE 2

### PROPRIÉTÉS DES POLYMÈRES

#### → Les super-absorbants



##### 1) Généralités

Les polymères super-absorbants (SAP) ont fait leur apparition dans notre quotidien à la fin des années 80.

Ces matériaux de synthèse ont en effet peu à peu supplanté leurs équivalents naturels, telles les éponges, grâce à des propriétés d'absorption de l'eau modulable et à leur efficacité exceptionnelle.

Ils sont capables d'absorber plusieurs centaines de fois leur masse en eau ! (Une éponge est capable d'absorber plus ou moins 20 fois son poids.)

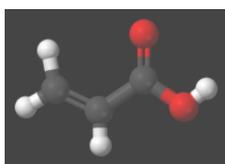
Beaucoup d'autres applications des SAP peuvent être énumérées, telle la fabrication de neige artificielle (le polymère prend un aspect floconneux après absorption de l'eau), l'utilisation en agriculture (rétention de l'eau au voisinage des plants) ou encore le contrôle de l'humidité.

##### 2) Synthèse des super-absorbants

Les polyacrylates sont des super-absorbants utilisés pour faire de la neige artificielle, les couches pour bébé ou l'isolation de câbles électriques. Ils sont synthétisés par polymérisation l'acide acrylique.

Le modèle moléculaire de l'acide acrylique est le suivant :

- Écrire sa formule de Lewis.
- Entourer le groupe caractéristique présent dans cette molécule et le nommer.



### 3) Observons les propriétés absorbantes des polyacrylates.

Produits : une couche-culotte, de l'eau

Matériels : une paire de ciseaux, un récipient.  
Découper la partie centrale de la couche.

Avec les doigts, déplier la structure et faire tomber la poudre blanche qui s'y trouve enfermée au-dessus du récipient.

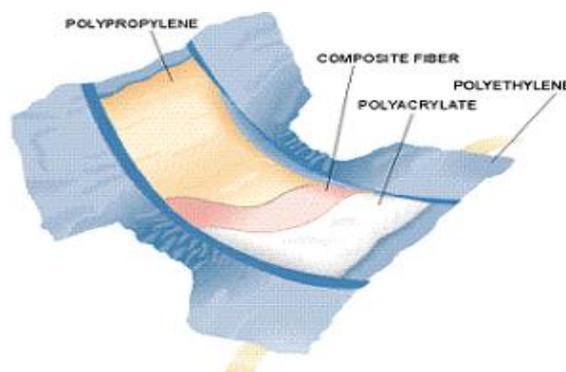
Déterminer la masse de polyacrylates recueillis .

Ajouter de l'eau (Vous devez savoir quelle en est la quantité)

a) Noter vos observations.

b) Combien de fois sa masse, le polymère a-t-il absorbé d'eau?

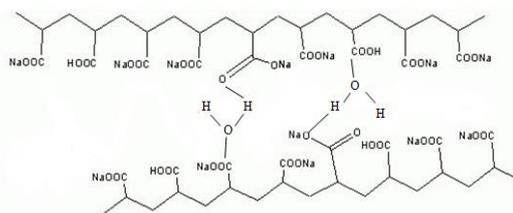
### 4) Pourquoi les polymères absorbent-ils l'eau ?



La figure ci-dessous représente deux chaînes de polyacrylates. Ces chaînes sont susceptibles de former avec les molécules d'eau des liaisons intermoléculaires piégeant ainsi l'eau.

a) Entourer en rouge une liaison covalente de la molécule de polyacrylate.

b) Entourer en bleu une liaison intermoléculaire.



Ajouter dans le béccher contenant le polymère une spatule de chlorure de sodium (sel de table).

c) Noter vos observations.

d) Quel type de liaison (covalente ou intermoléculaire) le chlorure de sodium a-t-il permis de rompre?

#### → Fibre papier

Déchirer une feuille de journal dans le sens vertical puis dans le sens horizontal.

c) Noter vos observations.

Le papier est constitué majoritairement de fibre de cellulose, qui est un polymère.

La propriété la plus remarquable des molécules de cellulose est leur capacité de former entre elles des liens particuliers qui les unissent sans les altérer : ce sont les ponts hydrogènes. Ces liens entre les molécules permettent leur association en faisceaux pour former des microfibrilles, des fibres et enfin du papier.

**d)** Comment expliquer les observations ?

Cette deuxième activité peut être réalisée en environ 1 heure par les élèves. Au niveau du matériel, il est important de prendre des couches « Pampers, Active fit » pour avoir des polyacrylates en quantité suffisante et facilement récupérable.

Ces expériences ludiques, font prendre conscience aux élèves, des réactions chimiques présentes dans notre quotidien et ont été très appréciées.

En complément de cette activité, on peut leur proposer de visionner une vidéo disponible sur le site : <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr>, montrant l'utilité des super-absorbants dans l'isolation des câbles électriques.

Après trois semaines passées à étudier les polymères et pour être dans l'esprit de cette filière, développement durable, il est nécessaire de parler du recyclage des matières plastiques.

Pour piquer leur curiosité et peut-être faire naître chez certains une fibre écologique, je leur est demandé de lire un article du journal *le monde* : « Un "continent" gigantesque de déchets se formerait dans le Pacifique Nord ! » et je leur ai montré quelques photos d'oiseaux dont les entrailles regorgent de bouchons, sacs et autres plastique en tout genre.

Cette étude documentaire a permis d'amener le problème du recyclage et introduit l'activité suivante, une vidéo : « **Recyclage des déchets (bouteilles en plastique)** ». Les élèves avaient un questionnaire à remplir insistant sur les possibilités qu'offrent le recyclage et l'importance de trier les déchets.

#### 4. Partie 3 : « Les transferts thermiques »

La notion de transfert thermique est présente dans le thème vêtement-Revêtement et aussi dans le thème Habitat. Ayant commencé l'année par le thème Vêtement-Revêtement, c'est la première fois que les élèves abordent cette notions. L'activité « Quel vêtement pour un bon confort thermique ? » permet

d'introduire les notions de transfert et de conductivité thermique et aussi de réinvestir les notions vues dans les chapitres précédents.

### QUEL VÊTEMENT POUR UN BON CONFORT THERMIQUE?

#### 1. Sensation de froid.

La notion de confort thermique est assez subjective et varie d'un individu à l'autre.

Nous parlerons de confort thermique lorsque le corps humain ne doit pas faire appel à ses mécanismes régulateurs internes, ce qui se traduit par des sensations désagréables telles qu'une sensation de froid, frissonnements, la sensation d'étouffement, transpiration...

Mais avant d'aller plus loin, il est nécessaire de définir les paramètres caractéristiques de l'environnement qui peuvent, dans certaines conditions, entraîner une sensation d'inconfort.

- Citer quelques paramètres de l'environnement qui entraîne une sensation d'inconfort.
- Expliquer simplement en termes d'énergie ce qui se passe pour le corps humain lorsque l'une des conditions citées ci-dessus se présente.

#### 2. Le sens du transfert thermique.

→ Protocole expérimental :

Prélever 100 mL d'eau à l'aide d'une éprouvette et les faire chauffer au chauffe-ballon, jusqu'à une température de 40°C.

Dans un cristalliseur, mettre de l'eau froide d'une profondeur de 5 cm environ.

Mettre les 100 mL d'eau chaude dans un bécher et le plonger dans le cristalliseur.

Relever les 2 températures initiales puis toutes les 2 minutes pendant environ 10 min.

Laisser l'expérience en place pendant 25 minutes et relever les températures finales.

- Représenter le schéma du montage.

→ Exploitation des résultats

- Donner les résultats sous forme d'un tableau puis tracer les caractéristiques de la température en fonction du temps sur papier millimétré. (même repère pour les 2 courbes)
- Comment expliquer ce phénomène ?
- Dans cette expérience, qu'elle partie du montage représente le corps humain ? Le milieu extérieur ?
- Conclure sur le sens des transferts thermiques.

### 3. Quels matériaux pour se protéger?

→ Protocole expérimental :

Introduire dans un ballon 150 mL d'eau.

Chauffer l'eau à l'aide du chauffe ballon jusqu'à une température d'environ 40°C.

« Protéger » la canette avec un tissu type polaire .

En utilisant l'éprouvette graduée, ajouter dans la canette 100 mL d'eau chaude.

Mesurer la température  $\theta_1$  de l'eau dans la canette.

Compléter le tableau suivant.

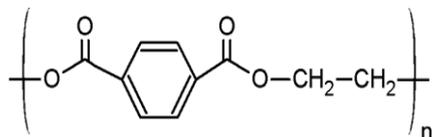
Déclencher le chronomètre. Après 8 minutes, mesurer à nouveau la température  $\theta_2$  de l'eau.

Renouveler l'opération avec un tissu en nylon puis avec le tissu mais humidifié et enfin avec du coton (ouate et tissu).

Calculer la variation de température  $\Delta\theta$ .

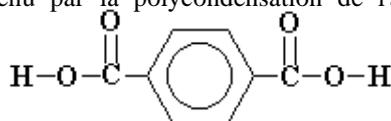
	$\theta_1$	$\theta_2$	$\Delta\theta$	Conductivité thermique
« Polaire »				
Nylon				
Nylon humide				indéfini
Coton (ouate)				
Coton (tissu)				indéfini

- Dans cette expérience, qu'elle partie représente le corps humain ? Le milieu extérieur ?
- Quel est le rôle des différents tissus.
- Quel tissu est le mieux adapté pour protéger du froid ?
- Lequel de ces tissus transfère le mieux la chaleur ? Justifier.
- Expliquer les différences obtenues pour les 2 cotons.
- Le tissu « polaire » est un polymère : le **polyéthylène téréphtalate** dont le motif élémentaire est :



Quel groupe fonctionnel reconnaît-on dans cette molécule ? Donner son nom et l'entourer.

g) Il est obtenu par la polycondensation de l'acide tétrathalique



et de l'éthylène glycol :  $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$  .

Écrire la réaction de polymérisation sachant qu'il se forme des petites molécules d'eau.

→ Conductivité thermique

Le comportement d'un matériau lors d'un transfert thermique, est caractérisé par une grandeur physique appelée : **conductivité thermique**.

Elle est notée :  $\lambda$  (**lambda**)

Son unité est **W.m-1.K-1**

Voici les valeurs de conductivité thermique des matériaux utilisés pour protéger la canette :

**0,24 W.m-1.K-1      0,15 W.m-1.K-1      0,042 W.m-1.K-1**

Compléter le tableau en attribuant les valeurs des conductivités thermiques aux matériaux. Justifier le choix.

La conductivité thermique du matériau est un critère important pour le choix du matériau mais un autre facteur lié au milieu extérieur ou au métabolisme humain est à prendre en compte : « l'eau »

→ L'humidité :

Voici un document trouvé sur internet dédié à la moto expliquant les avantages d'un matériau « gore-tex » :

#### **Gore-Tex : L'insert étanche et respirant**

Sans doute le plus connu des inserts d'étanchéité présents dans les blousons et autres vestes pour moto, le Gore-Tex n'en demeure pas moins un mystère technique pour beaucoup. Son principe de fonctionnement s'avère plutôt simple sur le papier : cette fine membrane en Téflon traitée à l'aide d'une substance oléophobe, présente plus de 1,4 milliard de pores microscopiques par  $\text{cm}^2$  (vue microscope ci-dessous). Ces pores sont approximativement 20 000 fois plus petits qu'une goutte d'eau, mais 700 fois plus grands qu'une molécule de vapeur d'eau. Voilà qui explique pourquoi la pluie ne peut la traverser, contrairement à l'humidité naturellement dégagée par le corps humain (l'équivalent en une heure d'un quart de tasse au repos, presque quatre tasses et demi lors d'un effort intense d'après Gore).



Par ce biais, la membrane Gore-Tex offre des propriétés d'étanchéité et de respirabilité, limitant donc la conductivité thermique due à la présence d'humidité, susceptible de générer un refroidissement plus rapide.

Mais elle dispose également d'un effet coupe-vent lui aussi non négligeable dans le confort thermique d'un vêtement soumis à des vents très forts en toutes saisons.

Pour être mis en œuvre dans l'équipement moto, le Gore-Tex est laminé avec un textile support, qui prend place le plus souvent dans la doublure ou directement sous le matériau extérieur du produit (cuir ou textile). Plusieurs déclinaisons sont proposées par Gore selon le type de vêtement.

- a) Qu'est ce qu'un matériau oléophobe ?
- b) Quel est le monomère utilisé pour la fabrication du Téflon. Donner sa formule développée.
- c) Écrire la réaction de polymérisation du Téflon. De quel type de polymérisation s'agit-il?
- d) Citez d'autres domaines dans lesquels le Teflon est utilisés.
- e) Dans le texte on peut lire : il « présente plus de 1,4 milliard de pores microscopiques par  $\text{cm}^2$  ». Si on considère un carré tissu de 1cm par 1 cm et les pores comme des billes rangées les unes à coté des autres. Combien y a-t-il de pores sur une ligne?
- f) Quelle est la dimension d'un pore? Donner le résultat en mètre.
- g) La phrase « Ces pores sont approximativement 20 000 fois plus petits qu'une goutte d'eau, mais 700 fois plus grands qu'une molécule de vapeur d'eau » vous paraît-elle correcte?

Données :

Ordre de grandeur de la dimension d'une molécule d'eau : 10-10 m

Ordre de grandeur de la dimension d'une goutte d'eau : 10-3 m (1 mm)

- h) A partir de l'expérience 3. que peut-on dire de la conductivité thermique de l'eau par rapport à celle du nylon et du tissu polaire.
- i) Expliquer la phrase : « Par ce biais, la membrane Gore-Tex offre des propriétés d'étanchéité et de respirabilité, limitant donc la conductivité thermique due à la présence d'humidité ».

**4. Du vêtement au revêtement...**

La conductivité thermique de la laine est :  $0,035 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

- a) La laine constitue-t-elle une meilleur protection contre le froid que le tissu polaire? Justifier.
- b) Un matériau dont l'aspect fait penser à celui de la laine est très utilisé dans l'isolation des maisons. Donner son nom.
- c) Classer les matériaux suivants selon leurs propriétés isolantes.

Type d'isolant	Conductivité (W/m2.K)
Polyuréthane rigide	0,03
Béton	0,92
Laine de mouton	0,04
Brique	0,84
Laine de verre	0.045

Cette activité pratique est réalisable en une heure trente et nécessite du temps supplémentaire pour la rédaction du compte-rendu. Notamment la fin sur l'humidité et le Gore-tex qui peut être donné aux élèves sous forme d'un exercice.

Une autre piste possible, est de ne pas faire réaliser toutes les expériences par l'ensemble des élèves mais de répartir les tâches et de prévoir un temps de mise en commun des résultats. L'utilisation d'une caméra thermique peut aussi être intéressante pour montrer les différences entre les tissus lors des expériences.

Cette activité est suivie d'un cours introduisant la résistance thermique des matériaux et de quelques exercices de manipulation des formules.

Afin de faire le lien avec le thème suivant de ma progression annuelle, l'Habitat, les élèves ont eu un devoir sur table d'une heure, réinvestissant les notions vues dans le chapitre transferts thermiques, cette fois appliquée à l'isolation de la maison.

**CONTRÔLE : TRANSFERTS THERMIQUES**



Avant de réaliser des travaux d'isolation dans sa maison, un particulier décide de comparer deux solutions.

Les murs de sa maison sont constitués de bloc de béton (parpaing de 20 cm d'épaisseur).

Pour l'isolation, il envisageait de mettre de la laine de verre et des plaques de plâtre (BA13), de 12,5 mm d'épaisseur.

Au magasin de bricolage, le vendeur lui a parlé d'un nouvel isolant très performant et écologique, la ouate de cellulose.

Il décide de comparer les résistances thermiques des 2 solutions ainsi que leur coût avant de commencer les travaux.

En ANNEXE, vous trouverez tous les documents mis à la disposition du particulier.

1. Exprimer les unités du document N°3, sans utiliser le trait de fraction « / ».

2. On souhaite maintenir la température à l'intérieure de la maison à 291 K pendant tout l'hiver. Les températures extérieures seront considérées comme inférieures à 10°C.

2.1. Indiquer dans quel sens se font les transferts thermiques.

2.2. Quelle est la température intérieure souhaitée en degré Celsius ?

3. Calculer la résistance thermique du bloc béton, notée  $R_{BB}$ .

4. Calculer la résistance thermique de la laine de verre  $R_{LV}$ , pour une épaisseur de 20 cm.

5. Déterminer la résistance thermique des plaques de plâtre,  $R_{PP}$ .

6. En déduire la résistance thermique globale,  $R_{G1}$  de cette installation (parpaing + laine de verre + BA13).

7. Calculer la résistance thermique globale,  $R_{G2}$  de l'installation proposé par le vendeur : parpaing + ouate de cellulose + BA13.

8. Laquelle des 2 méthodes, isole le mieux ? Pourquoi ?

9. Sachant que la surface à couvrir est de 20 m<sup>2</sup>, déterminer le coût des 2 isolants.

10. Déterminer la conductivité thermique  $\lambda_{OC}$ , de la ouate de cellulose.

11. Quelle solution conseillez-vous au particulier ? Pourquoi ?

### ANNEXE

#### DOCUMENT N°1

<u>Matériau</u>	<u>Conductivité thermique</u> (W.m-1.K-1)
Bloc de béton (parpaing)	1,05
Plaque de plâtre BA13	0,33

#### DOCUMENT N°2

**ROULEAU DE LAINE DE VERRE IBR 40 G3 EP 200 MM ISOVER**  
Résistance thermique de 5



Descriptif : Rouleau en laine de verre lambda 0.040 revêtu sur une face d'un pare vapeur Kraft autodéroulant à l'ouverture de l'emballage. Isolation thermique et acoustique des combles perdus et des combles aménagés. Certificat Acermi.  
Composant essentiel du produit : Laine de verre  
Mise en oeuvre : A dérouler au sol pour les combles perdus  
Surface couverte (en m<sup>2</sup>) : 5.4

**ISOVER**

[Voir les caractéristiques détaillées](#)

#### LE PRODUIT

Rouleau revêtu sur une face d'un pare vapeur Kraft quadrillé 10X10 autodéroulant à l'ouverture de l'emballage. Répond à la RT sur l'existant, à la RT2005, éligible au crédit d'impôt

Réf. : 64396885

Prix indicatif :

**33.40€** x 1 = 33.40 €

**6,19€ / m<sup>2</sup>**

[Ajouter à ma liste](#)

Produit non vendu en ligne

Surface couverte (en m<sup>2</sup>) : 5.4

Épaisseur (en mm) : 200

Longueur (en m) : 4.5

Largeur (en m) : 1.2

Isolation acoustique : Oui

Réaction au feu de l'isolant : F

$\lambda = 0,040$  W.m-1.K-1

Norme ACERMI : Oui

Poids (en kg) : 11.8

#### DOCUMENT N°3 Ouate de cellulose

Épaisseur (cm)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Chaleur spécifique (W.h/kg.K)	Résistance thermique (m <sup>2</sup> .K/W)	Prix (€/m <sup>2</sup> )
25	100	0,39	5,95	14

### 5. Conclusion

Les différentes activités présentées couvrent l'ensemble du thème « Vêtement-Revêtement ». La partie « transferts thermiques » sera approfondie dans le thème habitat afin de répondre aux capacités exigibles du B.O.

Ces nouveaux programmes de sciences physiques de la filière STI2D sont ancrés dans le réel. Cette approche est bénéfique et permet d'intéresser l'élève, de leur donner un esprit critique et de replacer les sciences au cœur de notre vie quotidienne. Cependant, la mise en œuvre est difficile par la nouveauté et la diversité des sujets à aborder par l'enseignant.

## Quelle est la différence entre un pigeon ?

**Eric WAELES**

Lycée Dupuy de Lôme, 34 rue Dupuy de Lôme à BREST

**Résumé :** En terminale STI2D « ARCHITECTURE et CONSTRUCTION », approche préliminaire de la mécanique appliquée aux structures des bâtiments, par des PHOTOS destinées à faire percevoir aux élèves que les 3 EXIGENCES de ce domaine d'étude débouchent sur un UNIQUE OBJECTIF.

“Quelle est la différence entre un pigeon ?”. Soyons réalistes, cette question de Michel Colucci (dit Coluche), n'est pas si éloignée des modes de questionnement que nous adoptons avec nos élèves ! D'ailleurs, le caractère parfois abscons du contenu du tronc commun technologique du baccalauréat STI2D ne nous aide pas véritablement à améliorer ce questionnement et à nous recentrer sur l'essentiel : donner, chaque jour, plus de sens aux activités proposées à nos élèves.

C'est fort de cet état d'esprit, qu'en tant qu'enseignant de Génie Civil, j'ai amorcé l'année scolaire. J'ai tenté une expérience auprès de mes élèves de Terminale STI2D, afin de les amener à réfléchir activement sous forme d'un questionnement, pour aller à l'essentiel avant d'aborder des connaissances souvent trop complexes, à leurs yeux.

Dans le cadre de la spécialité “Architecture et Construction”, le but était d'aborder, en douceur, la mécanique appliquée aux structures des bâtiments, sans

faire aucun calcul. Mon intention était de susciter un questionnement à partir de quelques photos. Plutôt interloqués au départ, les élèves ont bien participé et ont essayé de donner un sens aux photos que j'avais choisies.

Mon ambition était de leur faire "ressentir" intuitivement les exigences de la "mécanique / bâtiment", en les amenant à énoncer certains **concepts fondamentaux** ou **mots-clés** (*en gras, dans la suite du texte*). Après trois quarts d'heure de discussions constructives, les élèves ont rédigé une fiche de synthèse associée aux photos :

**Photos 1** : Les élèves ont bien perçu qu'un **équilibre durable** est difficile à obtenir avec **un seul appui** et que des **porte-à-faux importants** poseront problème dans un bâtiment : certains ont évoqué les notions de **bras de levier**, **centre de gravité** et de **surface d'appui**. D'ailleurs, tous les **appuis** ne se “valent” pas : ils peuvent être plus ou moins **bloquants**.



*Photos 1*

Un SEUL appui BLOQUANT toutes libertés garantit un équilibre DURABLE : cet appui s'appelle un ENCASTREMENT

Photo 2 : Rapidement, est apparue aux élèves la nécessité de prévoir **2 appuis**, voire davantage afin de limiter la **portée** des structures sollicitées en **flexion**.



*Photo 2*

Photo 3 : La **stabilité** d'une structure obtenue grâce à la conception judicieuse des **appuis** suffit-elle ? La **rupture** de ce plancher en béton armé a montré aux élèves la nécessité de bien évaluer les **charges** subies (permanentes et variables) ainsi que la **résistance** des matériaux de construction (béton, acier et bois). Des exemples et des **ordres de grandeur** ont été donnés.

Ordre de grandeur de la résistance à la RUPTURE	COMPRESSION AXIALE	TRACTION AXIALE
BOIS C24 (Résineux « moyen »)	20 MPa	15 MPa
BETON courant	30 MPa	3 MPa
ACIER DUR utilisé en construction	500 MPa	500MPa



*Photo 3*

Photo 4 : L'obtention de la **non-rupture** d'une structure est-elle suffisante ? L'aspect de ce balcon a fait comprendre aux élèves qu'il fallait aussi **modérer les déformations**, de telle sorte que la **flèche** d'un plancher ne nuise, ni à l'esthétique du bâtiment, ni au confort de ses occupants.



*Photo 4*



La limitation réglementaire de la flèche est de 1/300 de la portée du plancher ou de la poutre. Dans le cas du plancher de l'immeuble ci-dessus : 4 cm de flèche pour 6 m de portée représentent 1/150 de la portée, soit le double de la flèche autorisée.

Photos 5 : J'ai pu constater que les élèves ont eu du mal à percevoir que l'**équilibre durable**, la **non-rupture** et la **déformation modérée** des structures porteuses d'un bâtiment nécessitaient de **DIMENSIONNER** suffisamment la **section transversale** de ces structures, sans pour autant les **SUR-dimensionner**, sauf si des choix architecturaux l'imposent...



*Photos 5*

Par ailleurs, multiplier les appuis en réduisant ainsi les portées, permet de réduire les sections dimensionnées.

Le dimensionnement des sections transversales des éléments porteurs permet :

- D'éviter la rupture même en situation extrême ou exceptionnelle (calcul à l'état limite ultime ELU)
- De limiter les déformations en situation ordinaire (calcul à l'état limite de service ELS)

Au-delà de l'approche par compétences (bien cadrées dans les cellules d'un tableau), l'essentiel ne serait-il pas de parvenir, chaque jour, à convaincre les élèves de ne pas accepter de se livrer à une activité sans lui donner du sens, sans se questionner. D'autant plus que la plupart du temps, les élèves détiennent la réponse, mais n'ont simplement pas compris la question...

Quelle est la différence entre un (vrai) pigeon posé sur un garde-corps et un pigeon de pierre en équilibre apparemment précaire ?



Il y a sans doute de nombreuses réponses pertinentes et variées à cette question, certaines relevant peut-être plutôt du cours de Philosophie ! Qui a parlé de transversalité ?

# Baccalauréat STI2D : retour d'expériences au lycée Bréquigny à Rennes.

Eric TUAL - CHEF DE TRAVAUX

Céline ADAM, Thierry ERNOULT, Fabrice GUINGUENO, Jean HOMO - ENSEIGNANTS

Lycée Bréquigny, 7 avenue Georges Graff 35000 Rennes

## Résumé :

Cet article présente l'organisation de la formation au lycée Bréquigny de Rennes pour le nouveau baccalauréat STI2D ouvert depuis la rentrée 2011, au niveau des espaces et de la répartition des heures. Sont aussi proposés des exemples de développements pédagogiques: une étude de cas et un mini projet pour deux des trois spécialités présentes dans l'établissement ainsi qu'un déroulement de séquence pour la LVI technologique.

## 1. Introduction.

Le baccalauréat sciences et technologie de l'industrie et du développement durable (STI2D) vise à préparer les élèves aux études supérieures.

De nouvelles pratiques pédagogiques ouvrent l'accès à des connaissances et à des concepts scientifiques et technologiques grâce à des démarches pédagogiques innovantes utilisant les outils de calculs et de la simulation ainsi que les mesures sur des systèmes réels. La démarche de projet est un moyen essentiel pour développer l'esprit d'innovation.

Cette nouvelle approche nécessite une organisation des espaces sous forme de laboratoires et un travail collaboratif étroit des équipes pédagogiques. L'élève approfondit, en spécialité, un domaine parmi les quatre qui sont étudiés en enseignement transversal à savoir : AC (architecture et construction), EE (Energie et environnement), ITEC (Innovation Technologique et EcoConception) et SIN (Système d'information et du Numérique).

## 2. Organisation des enseignements au lycée Bréquigny.

### 2.1 Répartition des élèves.

63 élèves (uniquement des garçons) ont suivi l'enseignement en 1<sup>ère</sup> STI2d à la rentrée scolaire 2011.

Les lycéens ont choisi leur spécialité parmi les trois proposées au lycée : 15 en Energies et Environnement, 28 en Système d'Information et numérique, 20 en Innovation Technologique et Écoconception.

Les trois spécialités sont équitablement représentées dans les deux classes afin de permettre une émulation en enseignement technologique commun entre les élèves.

Pour cette rentrée 2012, on note une stabilité des effectifs (64 élèves), avec cependant une forte baisse pour la spécialité Energies et Environnement. Seulement 8 élèves ont fait ce choix.

### 2.2 Organisation des espaces.

Les laboratoires des différentes spécialités et de l'enseignement technologique transversal ont été regroupés pour favoriser la tenue de projets pluri-spécialités et la mutualisation des matériels.

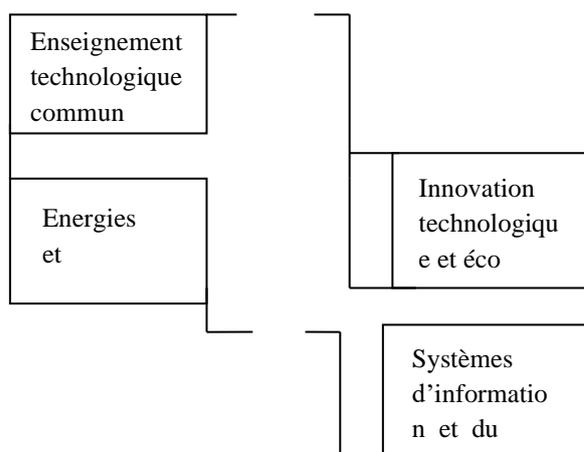


Figure 1 : Organisation des espaces

### 2.3 Choix dans la ventilation des heures dédoublées.

En classe de première, les « heures élèves » sont les suivantes :

➤ pour la spécialité, les élèves bénéficient de 5 h d'enseignement dont 4h en groupe à effectifs réduits.

➤ en enseignement technologique commun, 7h sont dispensées dont 6h en effectifs réduits.

Pour l'année de terminale qui commence, la répartition est la suivante :

➤ les 9h de spécialité sont réparties en 2h de classe entière et 7h en effectifs réduits.

➤ les 5h d'enseignement technologique commun sont réparties en 2h en classe entière et 3h en effectifs réduits.

### 3. L'enseignement en spécialité Energies et Environnement.

Le groupe est constitué de 15 élèves et l'enseignement en première est assuré par Céline Adam.

L'enseignement sur le long de l'année est formalisé par centre d'intérêt :

- CI1 : Typologie des systèmes énergétiques.
- CI2 : Production d'énergie
- CI3 : Transport, stockage et distribution de l'énergie des réseaux spécifiques.
- CI4 : Efficacité énergétique passive
- CI5 : Efficacité énergétique active.

L'ensemble des 5 centres d'intérêts a été abordé au cours de l'année. (Figure 2)

L'accent sera mis dans la suite de l'article sur 2 points distincts, le centre d'intérêt sur la typologie des systèmes énergétiques et le 1<sup>er</sup> mini projet sur l'efficacité énergétique active.

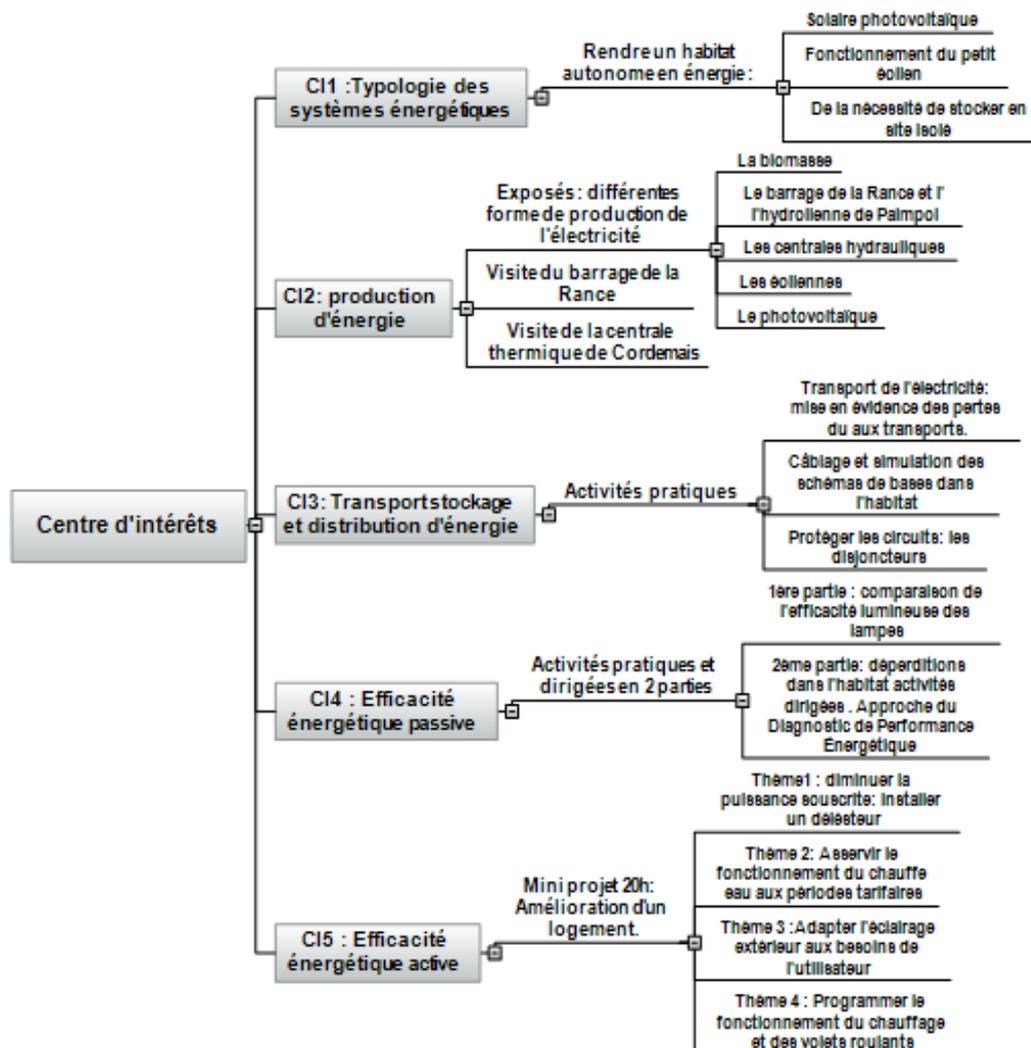


Figure 2 : Organisation pour la spécialité EE

### 3.1 Activités autour de l'habitat autonome.

Sous ce thème, sera surtout abordé le point 2.1 du référentiel : Approche fonctionnelle d'une chaîne d'énergie.

Les compétences développées par les élèves seront essentiellement concentrées sur le point Co8.ee4 « Mettre en œuvre un protocole d'essais et de mesures sur le prototype d'une chaîne d'énergie, interpréter ces résultats ainsi que le point CO9.ee1 « Expérimenter les procédés de stockage, de production de transport, de transformation, d'énergie pour aider à la conception d'une chaîne d'énergie ».

Afin d'introduire ce thème, les élèves par groupe de 3 à 4 sont amenés à réfléchir sur les solutions qui pourraient être mises en œuvre pour rendre habitable une petite île non raccordée au réseau.

Après un premier temps d'analyse, ils sont dirigés vers les postes informatiques pour se rendre sur le site internet des îles de Quemener, afin de corroborer et compléter leurs suggestions.

(<http://www.iledequemenes.fr/>)

Il s'ensuit un échange sur les différentes solutions envisageables, permettant de présenter les 4 activités d'une durée de 2 heures chacune :

#### Activité 1: validation des caractéristiques d'un panneau solaire photovoltaïque.

Un panneau solaire orientable manuellement, identique aux 2 panneaux fixés sur le toit, a été placé sur un support mobile, pour permettre d'effectuer les mesures dans diverses situations. De préférence en extérieur, quand le temps le permet.

Les élèves effectuent des mesures permettant de valider les données constructeurs en faisant varier l'inclinaison, la charge et l'ensoleillement, ou bien

encore en occultant tout ou partie des cellules constituant le panneau..

#### Activité 2 : validation du fonctionnement d'une petite éolienne.

Cette activité a pour support le système « eolicc » (éolienne bipale).

Les études réalisées par les élèves portent d'une part sur les transferts d'énergie et d'autre part sur les conditions d'utilisation de l'éolienne (influence de l'inclinaison des pâles, de la force du vent)

#### Activité 3 : Stocker l'énergie produite en lieu isolé.

Le lycée est équipé de 2 panneaux solaires photovoltaïques fixes placés sur le toit du laboratoire d'EE et reliés à une centrale d'acquisition.

Au-devant de l'armoire de câblage différents points de mesures sont accessibles (Figure 3). En modifiant l'état des disjoncteurs, les élèves vont pouvoir analyser le sens du transfert de l'énergie, selon différentes situations.( Figure 4)

Après avoir effectué les mesures, les élèves lisent les données à l'aide d'un logiciel, émanant d'une télésurveillance à distance.

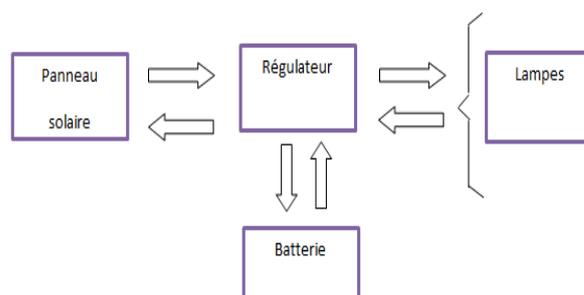


Figure 4 : Analyse des transferts

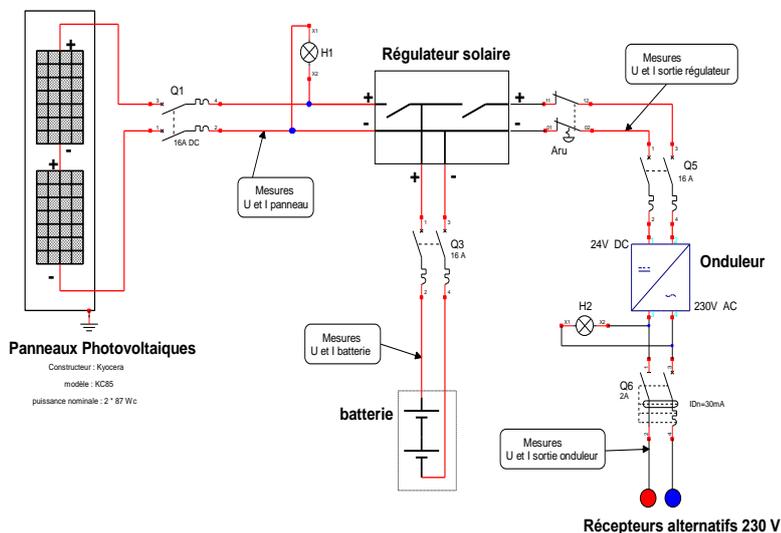


Figure 3 : Schéma de l'installation du lycée (schéma D. Baron)

#### Activité 4: Dimensionner les batteries pour une habitation autonome.

Suite à l'activité 3, les élèves vont dimensionner une partie d'une installation autonome par calculs. Ils ont déjà été sensibilisés aux problèmes de chutes de tension dans l'installation en début d'année avec des études sur le transport de l'électricité.

A partir du cahier des charges d'une installation, les élèves travaillent sur les points suivants :

- calcul de l'énergie consommée sur une journée,
- calcul du nombre de panneaux nécessaires pour pourvoir à ses besoins,
- calcul du nombre de batteries pour atteindre 5 jours d'autonomie sans soleil.

Par ailleurs, ils retourneront sur l'équipement du lycée pour prendre des mesures autour de l'onduleur et du régulateur de charge afin de comprendre leurs rôles pour ce type d'installation.

### 3.2 Mini projet.

L'épreuve de terminale pour la spécialité portera sur l'évaluation de la conduite d'un projet.

Pour des élèves jeunes peu habitués à ce mode de fonctionnement, il est important de les préparer à ce projet en proposant régulièrement le long de l'année de première, des activités favorisant la recherche, le travail en groupe, l'initiative et l'autonomie en y revenant régulièrement sur toute l'année.

La conduite du 1er mini projet est placée aussi tôt que possible dans l'année. Pour cette première année, il a commencé un peu avant les vacances de Noël.

A travers ce mini projet, les compétences recherchées en lien avec le référentiel portent essentiellement sur les points CO7.ee1 « Participer à une démarche de conception dans le but de proposer plusieurs solutions possibles à un problème technique identifié en lien avec un enjeu énergétique » ainsi que le point CO9.ee2 « Réaliser et valider un prototype obtenu en réponse à tout ou partie du cahier des charges initial ».

Les élèves se seront préalablement familiarisés aux travaux en groupes avec l'exposé sur la production d'électricité, ainsi qu'aux différents outils de supports multimédia (traitement de texte, diaporama, carte heuristique et diagramme de Gantt simplifié). Ils ont de même déjà réalisé une première présentation orale devant le groupe. Cet exercice de prise de parole devant le groupe n'est pas toujours évident pour la plupart.

Le descriptif d'une habitation individuelle est donné à chacun des groupes, avec notamment le bilan des puissances. Ce descriptif est suivi des points du logement à améliorer :

#### Mode de chauffage

Le logement est chauffé à l'aide de radiateurs électriques. Ces derniers ne sont reliés à aucun système de programmation. Ils sont seulement équipés de thermostats individuels.

Tous les occupants de la maison sont absents dans la journée. Elle est occupée :

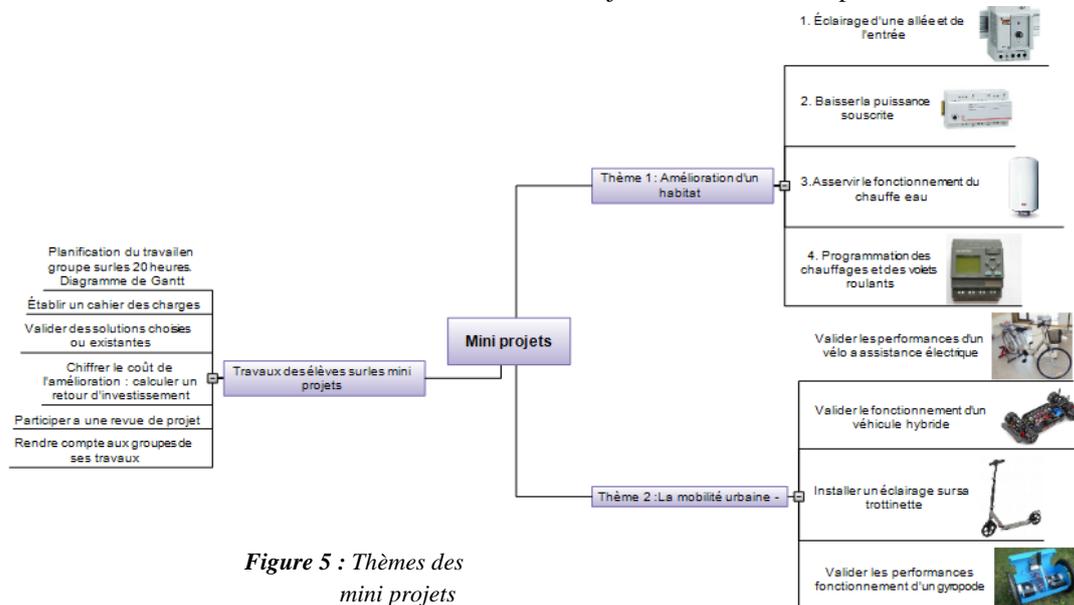


Figure 5 : Thèmes des mini projets

- le matin jusque à 9h00 et en soirée à partir de 17h30
- les week-ends
- lors des périodes de vacances scolaires

#### Puissance souscrite dans l'installation :

Les anciens propriétaires avaient souscrit une puissance de 18kVA, tarif de base. Ce contrat n'est plus du tout adapté à ce type de logement.

#### Eclairage.

Dans toutes les pièces, l'éclairage n'est commandé que par des interrupteurs de type simple allumage ou va et vient. Les ampoules sont des ampoules à filament de 60 W à 100W selon les types de pièces.

L'éclairage de l'entrée se fait aussi en simple allumage de l'intérieur de la maison. Cela pose des problèmes de visibilité pour trouver ses clefs.

La maison est implantée sur un grand terrain excentré du bourg. Les propriétaires ne bénéficient pas d'un éclairage public suffisant. Lorsque les enfants rentrent de l'école en hiver, ils parcourent à pieds les 50 m de chemin entre l'entrée de la propriété et celle de la maison dans une semi obscurité.

#### Distribution des thèmes

Les thèmes de la figure 5 sont ensuite distribués aux groupes.

Le support choisi pour la restitution est une grande affiche.

Une présentation orale à l'ensemble du groupe est prévue à l'issue des 20 heures de travail.

Pour cette présentation, les prototypes sont répartis dans le laboratoire, et l'ensemble du groupe se déplace autour des réalisations et des affiches.

Les élèves peuvent alors présenter leur solution en faisant une démonstration, tout en s'appuyant sur l'affiche, pour expliquer la démarche, présenter les schémas, les devis....

#### Conduite des projets.

La feuille type distribuée aux élèves est présentée figure 6, il est fait le choix de guider les élèves à minima.

Dans un premier temps, ces derniers ont organisé leur travail sur les 20h en réalisant un diagramme de Gantt simplifié. Ils se sont répartis les tâches.

A l'issue de chaque séquence (d'une durée de 4h), le groupe s'est réuni une vingtaine de minutes pour faire un point sur l'avancement et planifier le travail pour la séquence suivante.

A mi-parcours, une revue de projet est organisée. Le groupe fait part à la professeure, de ses avancements et des pistes de travail pour la suite du projet.

Cette revue de projet permet de redéfinir certains points avec les élèves et de les réorienter si nécessaire.

DUREE : 20H00

THEME 3 : INSTALLER UN DELESTEUR POUR DIMINUER LA PUISSANCE SOUSCRITE



MINI PROJET

ENERGIES ET ENVIRONNEMENT

#### 1- PLANIFICATION.

- A l'aide du logiciel Mindview, planifier votre projet, en allouant du temps pour chacune des parties 2 à 5
- Définir le rôle de chacun pour toutes les étapes.
- Rendre compte au professeur pour valider la planification.

#### 2- RECHERCHE DE SOLUTIONS REpondant AU CAHIER DES CHARGES.

- Donner les inconvénients de la solution existante
- A partir des documents mis à votre disposition et de vos recherches sur internet, trouver des solutions techniques permettant de répondre au cahier des charges.
- A partir du matériel mis à votre disposition, déterminer une solution répondant au cahier des charges.
- Chiffrer le matériel nécessaire pour votre solution,
- Proposer un schéma développé de la partie modifiée de l'installation. (Les schémas seront dessinés à l'aide du logiciel Xrelais).

#### 3- REVUE DE PROJET.

Rendre compte de l'avancement de vos investigations.

#### 4- REALISER UN PROTOTYPE

Réaliser une maquette permettant de simuler le fonctionnement simplifié des modifications apportées à l'installation.

#### 5- VALIDER LA SOLUTION

Imaginer et mettre en œuvre un protocole d'essai pour vérifier le fonctionnement et les performances de votre solution.

#### 6- COMMUNIQUER SUR VOTRE TRAVAIL :

Réaliser une affiche grand format présentant votre projet. (Problématique, situation avant modification, solution retenue, ...)

Préparer les outils permettant de présenter votre projet au reste de la classe. (Présentation affiches, présentation de la maquette et de son fonctionnement...) : durée entre 15 et 20 minutes.

LYCEE BREGUIGNY

MINI-PROJET

PAGE 1 SUR 1

Figure 6 : Feuille type

#### Aboutissement des projets

Tous les groupes ont effectué une planification de leur travail et ont réussi à aboutir à la réalisation d'un prototype câblé, à la production d'un schéma de leurs modifications, ainsi qu'au chiffrage du matériel nécessaire aux modifications.

### 3.3 Perspectives pour cette année.

Les deux exemples d'activités réalisées avec les élèves sont celles qui ont le mieux fonctionnées tant au niveau de la réalisation que de l'intérêt porté par les élèves.

Les activités autour de la production d'électricité en site isolé ont permis aux élèves d'acquérir des connaissances sur des thèmes sociétaux qui les entourent.

Le fonctionnement demandé pour le mini projet a été très apprécié par les élèves, notamment au niveau de l'autonomie et de la créativité.

Ce type de pédagogie était nouveau pour les élèves comme pour leur professeur. En fin d'année, en interrogeant les élèves pour connaître leurs impressions quant à cette première année, beaucoup ont cité la conduite des mini projets.

Mathieu témoigne : *« ce que j'ai apprécié dans les mini projets : c'est d'être moins guidé dans les recherches, que chacun apporte ses connaissances, et surtout ces méthodes de travail nous rendent autonomes »*.

De mon côté, j'ai noté dès le début de l'année, une très forte attente des élèves en ce qui concerne les projets.

La conduite de mini projets tôt dans l'année a resserré la solidarité et les liens entre élèves favorisant ainsi une saine émulation dans le groupe.

Pour l'année qui commence, l'ambition est de porter à trois le nombre de mini projets avec pour le dernier un partenariat avec des élèves de la spécialité SIN sur le sujet de l'efficacité énergétique passive (éclairage, isolation...).

## 4. L'enseignement en spécialité SIN

Le groupe est constitué de 14 élèves sur les 28 de la spécialité SIN que compte le lycée. L'enseignement est assuré par Thierry Ernoult.

L'enseignement sur l'année est formalisé par centre d'intérêt :

- CI1 : Configuration et performances du traitement de l'information.
- CI2 : Instrumentation / Acquisition et restitution de grandeurs physiques.
- CI3 : Communication de l'information au sein d'un système.
- CI4 : Gestion de l'information. Structures matérielles et logicielles associées au traitement de l'information.

- CI5 : Communication entre systèmes.
- CI6 : Traitement analogique de l'information.
- CI7 : Cycle de vie d'un produit.

L'ensemble des 5 premiers centres d'intérêts a été abordé au cours de l'année écoulée. Ils l'ont été autour de mini projets et d'études de cas.

Afin d'illustrer le type d'activités réalisées en SIN, nous nous pencherons sur la présentation d'un mini projet robotique et sur une étude de cas autour des réseaux informatiques.

### 4.1 Mini projet « Robotique ».

Le mini projet consiste à réaliser la modification du robot autonome conçu en classe de 2nde CIT.

Celui-ci est commandé à l'aide d'une télécommande universelle. L'aboutissement du projet consiste en la participation à un défi robotique prenant en compte la rapidité et la dextérité du robot face à un adversaire.

A l'issue de ce projet, les élèves doivent préparer un exposé à l'aide d'outils multimédia à destination des élèves de secondes.

L'introduction du projet se fait par la projection d'une vidéo sur la robotique. Il s'ensuit une discussion sur l'utilité de la robotique dans nos sociétés tant au niveau professionnel que domestique.

La première activité permet aux élèves de s'imprégner des contraintes du projet en manipulant des robots mis à leur disposition, ainsi que le règlement du challenge.

Ils réfléchissent en groupe de 3 à 4 élèves sur les modifications à apporter à leur robot afin de répondre à la problématique. Ils identifient également les apports de connaissances nécessaires. Pour finir, ils se regroupent en classe entière et poursuivent l'échange sous la forme d'un brainstorming.

Afin de répondre à l'objectif de ce projet, les élèves ont étudié la transmission d'informations sous la forme d'infra rouge.

Ils ont appris à manipuler un oscilloscope afin d'interpréter les trames issues de la télécommande. Ils ont étudié la constitution d'un servomoteur et la façon de le commander.

Ils ont enfin pris en main deux logiciels, un de programmation graphique et un simulateur afin de réaliser le programme et les essais permettant de commander les robots.

A travers ce mini projet les connaissances recherchées en lien avec le référentiel sont :

- La démarche de projet.
- La description et représentation d'un système  
Identification des dysfonctionnements et description des solutions.

- Le traitement d'une information numérique.
- Implémentation d'un programme dans un composant programmable.
- Simulation et analyse des résultats.

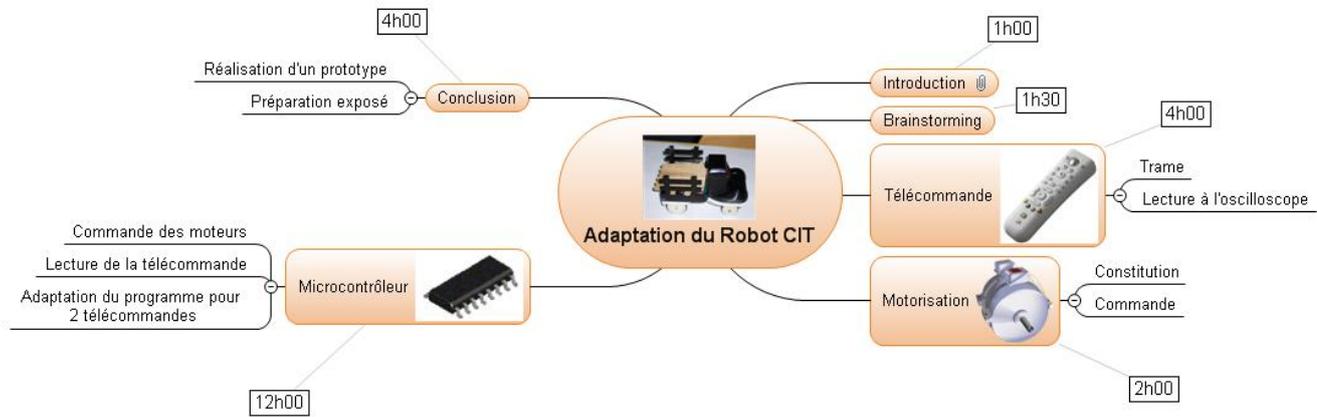
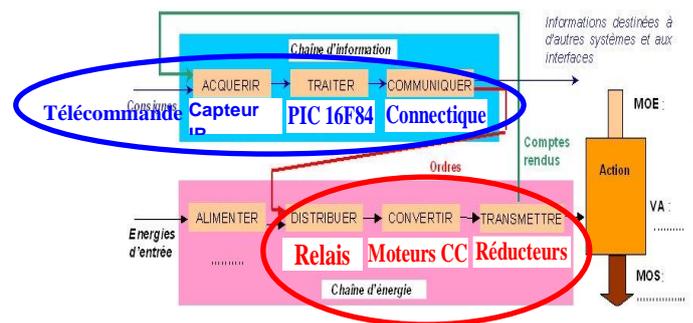


Figure 7 : Organisation du mini projet

Les apprentissages visés sous cette forme ludique ont permis de balayer les différents items de la chaîne d'information et de la chaîne d'énergie (figure 8)



#### 4.2 Etude de cas autour des réseaux informatiques

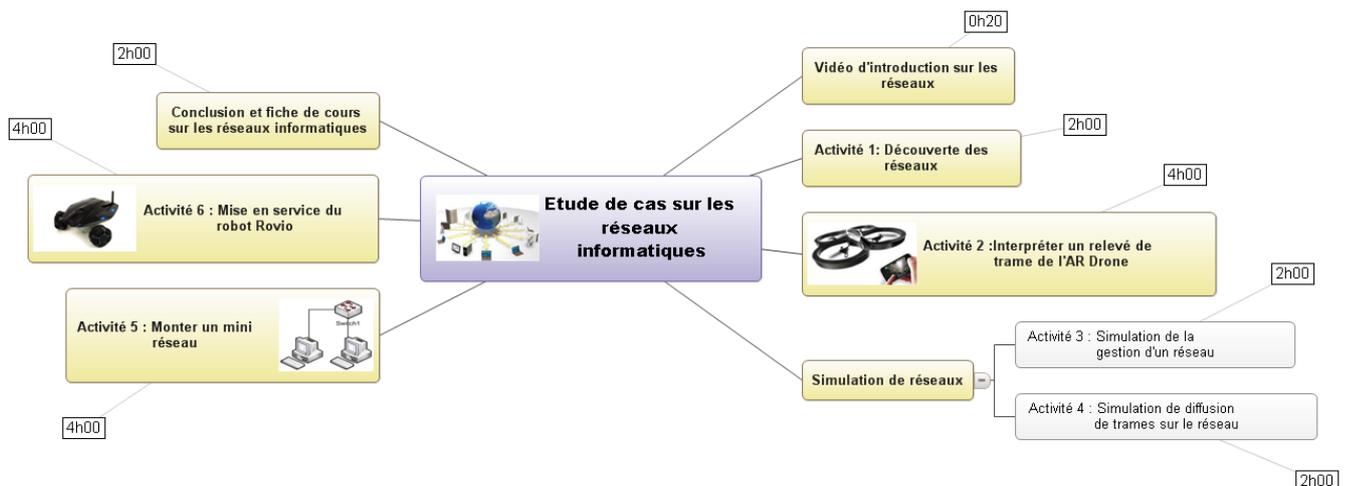


Figure 9 : Organisation de l'étude de cas

Cette étude de cas porte sur le centre d'intérêt N°5 : Communication entre systèmes. Pour réaliser cette étude, le matériel ne pouvant pas être multiplié, les élèves ont travaillé sous la forme d'une rotation d'activités.

L'introduction de l'étude de cas débute également avec la projection d'une vidéo sur l'outil Internet. Il s'ensuit une discussion sur les apports qu'a permis Internet.

- Une première activité permet, à l'aide de petites vidéos, d'expliquer les principaux termes relatifs aux réseaux informatiques.
- Deux activités permettent de réaliser des simulations sur les réseaux.
- Une activité prend pour support l'Ar drone Elle permet d'interpréter la trame d'échange d'informations entre le drone et "la station au sol".
- L'activité 5 permet aux élèves de monter un petit réseau entre quelques PCs un switch et une caméra IP.
- La dernière activité qui prend pour support le robot Rovio demande aux élèves de le mettre en œuvre. Celle-ci permet d'aborder la notion du wifi, des routeurs et de l'adressage IP.
- Enfin une synthèse est réalisée sous la forme d'une fiche de cours.

## 5. L'enseignement technologique en anglais

Dans le cadre de la réforme des Bacs STI en BAC STI2D, il a été mis en place un nouvel enseignement : la LV1 technologique. Il s'agit d'une heure par semaine où deux enseignants, un en anglais et un en technologie, assurent conjointement l'apprentissage. Plusieurs formules sont possibles mais la volonté affichée est de faire intervenir les deux professeurs sur les mêmes supports où chacun apporte ses compétences.

A la rentrée 2011, les deux enseignants qui se sont portés volontaires sont Jean Homo en anglais et Fabrice Guingueno en Technologie.

Voici un échange d'impressions entre les deux enseignants :

- *Jean, y'avait-il beaucoup de vocations en# parmi les professeurs d'anglais pour enseigner cette heure ?*

- *Non Fabrice, la réflexion que se faisaient mes collègues d'anglais était qu'ils ne choisiraient pas les supports d'études. Je leur ai dit tant mieux .... et heureusement !*
- *C'est vrai cet enseignement est totalement nouveau, tout reste à faire ! Peu d'enseignants étaient disposés à se lancer dans l'aventure ! C'était aussi vrai en technologie !*
- *Oui et je comptais sur toi pour les sujets et l'organisation de l'année.*
- *Exactement, je te proposais une vidéo dans l'esprit STI2D et tu voyais ce que les élèves pouvaient faire et apprendre en anglais.*
- *Vidéo, photos, exercices... on a vraiment varié les activités...*
- *Oui ! Nous nous sommes vite rendu compte qu'il fallait proposer des activités toujours différentes et changer régulièrement.*
- *En effet, pour maintenir l'attention et l'intérêt, c'était indispensable.*

Les activités sont donc variées, nous vous proposons un exemple d'activité menée au cours du mois de décembre 2011.

L'activité s'intitule : VIDEO SUBTITLES

Présentation : Il s'agit de sous-titrer en anglais une vidéo en anglais afin de la diffuser aux élèves de seconde suivant l'enseignement d'exploration « Création Innovation Technologique ».

Choix de la vidéo : Sur le site.TV se trouvent des vidéos adaptées à ce projet. Par exemple, la voiture citadine « Clever » : une voiture innovante pour réduire les problèmes d'engorgement dans les villes et la pollution.

Logiciels à installer (freeware) : Le logiciel « Kijjo subtitles editor ». Il permet de créer un fichier .srt (fichier de sous titres). On peut faire défiler la vidéo et sélectionner des zones dans lesquelles on place un sous titre et le logiciel « Avidemux » qui permet de multiplexer entre autre une vidéo et un fichier contenant les sous titres.

Le travail préalable à faire par les enseignants consiste à :

- choisir la vidéo
- préparer un document avec le découpage en temps de la vidéo pour que chaque binôme ait un travail de traduction relativement similaire.

Déroulement de l'activité

JOUR 1 :

Présentation de l'activité et débat en anglais rapide autour du sous titrage (environ 10 min).

Visionnage en classe entière de la vidéo (prévoir 2 visionnages) (environ 10 min).

Distribution des  $\Delta$ temps alloués à chaque binôme (préférer des séquences courtes de 10 secondes.)

Présentation du logiciel KIJIO. (environ 10 min).

Chaque binôme réalise le sous-titrage de sa petite séquence et tape avec le logiciel KIJIO son travail au  $\Delta$ temps correspondant. Chaque binôme doit sauver son travail dans un fichier personnel (fichier de type .srt).(environ 30 min)

JOUR 2 :

Présentation du logiciel AVIDEMUX. (environ 15 min).

A l'aide du fichier ressource du logiciel, les élèves réalisent le multiplexage du fichier sous-titres et de la vidéo. Les élèves peuvent aussi rajouter divers effets sur la vidéo avant mixage.

Visionnage de films.

## 6. Conclusion.

Cette année scolaire a permis de poser les premiers jalons par les équipes pédagogiques.

L'année qui commence encourt des enjeux importants pour les équipes pédagogiques comme pour les élèves avec les nouvelles épreuves du baccalauréat :

- l'épreuve orale de LV1 technologique,
- l'épreuve du projet en terminale en spécialité,
- l'épreuve écrite de l'enseignement technologique transversal,
- de nouvelles perspectives d'orientation pour les futurs bacheliers

De nombreuses améliorations restent à apporter, notamment au niveau de l'articulation entre les spécialités et l'enseignement technologique transversal.

La motivation pour l'équipe pédagogique provient principalement des élèves qui s'adaptent très vite et apprécient ces nouvelles méthodes pédagogiques qui les rendent acteurs de leur formation.

# Approche projet en 1ère STI2D\_EE

**Sylvain COULAUD – Jean-Philippe ILARY – PROFESSEURS EN SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR EN ENERGIE.**

Lycée Jules FERRY - 29 rue du Maréchal Joffre  
78000 VERSAILLES

*Résumé : Dans le cadre de la réforme en STI2D Énergie et Environnement, nous avons souhaité réaliser des mini-projets en fin de première afin de former les élèves à la démarche de projet. Cet article présente l'un des enseignements de la spécialité Energie et Environnement en 1ère STI2D, et plus particulièrement l'approche sous forme de projet permettant aux élèves de se préparer aux nouvelles exigences de l'examen.*

*Nous ne présenterons qu'une partie de ce travail de préparation au projet de terminale STI2DEE.*

## 1. Introduction

A partir de 2013, l'épreuve de spécialité du baccalauréat STI2D portera sur un projet développé en cours d'année, sur une durée d'environ 70 heures. Ce projet donnera lieu à une note en CCF<sup>1</sup> coefficient 6 et une note sur un oral final devant jury coefficient 6 également. Dans l'objectif de préparer au mieux les élèves à ces épreuves, dès la classe de première, en fin d'année scolaire, nous avons organisé des projets évalués par une soutenance orale.

## 2. Les projets

### 2.1. Objectifs

Le principal objectif des projets est soit d'amener les élèves à optimiser énergétiquement un système ou un objet technique existant, soit de développer un système ou un objet technique avec des performances optimum pour le fonctionnement ou l'utilisation souhaitée. De plus, le contexte environnemental doit également être pris en considération.

### 2.2. Démarche / Organisation

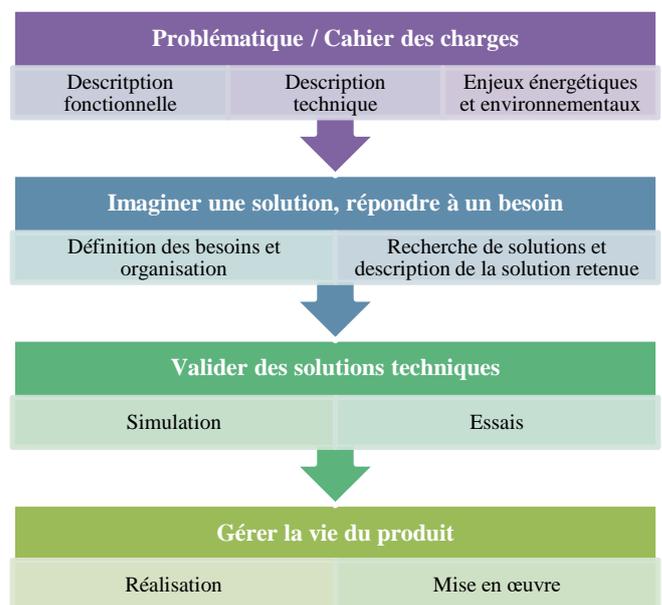
Les projets ont été définis pour une courte durée et un investissement financier le plus faible possible. Les élèves ont travaillé par groupes de 3 sur chaque projet et se sont répartis le travail sur une durée totale de 16 heures (8 séances de 2 heures = 4 semaines).

Tels qu'ils sont définis dans le bulletin officiel n°12 du 22 mars 2012, les projets laissent place à une grande liberté de l'élève dans ses recherches et ses choix. Il est donc important de guider les élèves pour qu'ils ne se

dispersent pas dans leur étude, qu'ils fassent des choix raisonnables et aboutir à un résultat réalisable.

Chaque projet est donc « balisé » de façon à ce que régulièrement les élèves soient dirigés, sans pour autant les contraindre dans leurs choix.

La trame que nous nous sommes imposée, est la suivante :



Elle correspond aux exigences de l'examen pour l'évaluation en CCF. La partie orale, quant à elle, découle simplement de cette trame.

Les supports d'étude proposés aux élèves se veulent les plus simples possibles afin que les connaissances acquises au cours de l'année soient suffisantes pour mener à bien les projets. Parmi eux, nous pouvons citer :

<sup>1</sup> Contrôle continu en cours de formation

- Optimisation d'une VMC : intégration d'un variateur de vitesse.
- Création de l'éclairage d'un bureau : étude de la position, du nombre et du type de luminaire.
- Optimisation de l'éclairage d'une salle de classe : commande par KNX.
- Optimisation de la consommation des bureaux d'une société : intégration d'un délesteur.
- Quelle énergie pour les véhicules de demain ? : comparaison de différentes technologies.

Trois de ces projets sont détaillés dans la suite de cet article.

### 3. Optimisation d'une VMC

La VMC (Ventilation Mécanique Contrôlée) est un système élémentaire répandu dans le domaine du bâtiment, qu'il soit domestique ou tertiaire. Ce support permet de rester proche de l'environnement quotidien des élèves pour favoriser leur implication.

Dans un souci de simplicité de l'étude, nous avons choisi une VMC simple flux. Cette approche permet aux élèves de critiquer la pertinence de ce système tant sur les performances que du point de vue énergétique et environnemental.

#### 3.1. Besoins matériels

Ce projet est celui qui a nécessité le plus d'investissement financier, bien que ce dernier soit tout à fait raisonnable, à savoir :

- un caisson VMC simple flux : 46,90 €
  - un anémomètre : 59,90 €
- Soit un total de 106,80 €, le reste du matériel étant déjà à notre disposition (variateur de vitesse notamment).

#### 3.2. Objectifs du projet

Les critères impactés par la VMC étudiée et les améliorations recherchées doivent porter sur les points suivants :

- ↳ en termes d'efficacité énergétique active :
  - puissance et énergie consommées.
- ↳ en termes environnementaux :
  - GES émis indirectement (par la consommation électrique).
- ↳ en termes de « confort » :
  - pollutions sonores.
- ↳ en termes économiques :
  - investissement,
  - rentabilité.



#### 3.3. Valider des solutions technologiques

Les élèves ont réalisé le schéma électrique, le câblage et la configuration du variateur. A l'aide du matériel adapté, ils ont pu valider que le flux d'air resté suffisant, tout en ayant une consommation électrique moindre.

Ils ont souhaité aller plus loin et trouver les réglages optimums pour répondre à un cahier des charges plus restrictif qu'ils s'étaient fixés.

### 4. Diminutions des rejets polluants d'un véhicule

L'objectif de ce projet a été d'étudier quelques solutions envisageables afin de réduire l'émission de CO<sub>2</sub> et de rechercher les énergies alternatives au pétrole pour mouvoir les voitures des particuliers afin d'anticiper la pénurie prévue autour des années 2050.



#### 4.1. Problématique / Cahier des charges (travail en groupe)

##### Description du système

Il est présenté à l'élève l'historique du véhicule. On montre ainsi que les premiers moyens de transports autonomes n'étaient pas qu'à vapeur ou à essence.

Les chiffres des véhicules en circulation et surtout des prévisions montrent la nécessité de trouver des solutions alternatives moins polluantes et moins consommatrices en pétrole.

##### Description technique

L'étude s'appuie sur deux modèles de véhicules de particuliers (la Twingo et la Fluence). Le premier véhicule est généralement destiné à une utilisation urbaine, alors que le second permet de réaliser des trajets importants. Les modèles étudiés sont ceux vendus en mai 2012.

##### Enjeux énergétiques et environnementaux

Afin de montrer les prises de conscience par les pays Européens et mondiaux de ces problèmes, les élèves recherchent les normes, les labels mis en place par les états et les constructeurs présents sur le marché automobile dans ce secteur. Ils découvrent les produits incriminés dans la pollution des voitures, les quantités admissibles et l'impact sur la santé de l'Homme.

#### 4.2. Imaginer une solution et répondre à un besoin

Ayant réalisé la répartition des tâches et formalisé cela sous forme d'un Gantt, les élèves recherchent les solutions actuellement envisagées par les constructeurs automobiles. Chaque élève étudie et analyse une solution pour réduire l'émission de CO<sub>2</sub> et la consommation de combustible (Hydrogène, VE, hybride, etc.). L'idée est de réaliser un « état de l'Art » de ces véhicules afin d'avoir suffisamment de données pour les comparer au véhicule MCI (Moteur à Combustion Interne).

À ce stade, il est demandé à l'élève de travailler sur le VE et le véhicule à hydrogène (mise à disposition de modèles réduits électriques).

#### 4.3. Valider des solutions technologiques

À l'aide du logiciel Excel, les élèves comparent un véhicule MCI aux solutions retenues, en tenant compte des problèmes d'homothétie. Ainsi, ils estiment les volumes des réservoirs d'énergie nécessaires pour chacune des solutions pour un trajet réel de 100km à 40km/h de moyenne (urbain).

Ils en déduisent l'énergie nécessaire apportée par les accumulateurs (piles Ni-MH ou réserve de dihydrogène).

En s'appuyant sur les résultats précédents, les élèves réalisent un prototype de véhicule électrique à accumulateur ou à hydrogène. Ils effectuent des mesures afin de valider les performances et conclure sur la viabilité de la solution retenue.

#### 4.4. Gérer la vie du produit et présentation

L'élève est sensibilisé à la production et au recyclage de produits intervenant dans la fabrication de ces réservoirs d'énergie. Les problématiques géopolitiques sont aussi abordées.

Le groupe doit réaliser un compte rendu d'une dizaine de pages et une présentation commune par vidéoprojecteur.

### 5. Optimisation de l'éclairage d'un bureau

#### 5.1. Problématique / Cahier des charges (travail en groupe)

##### Description du système & technique

On souhaite étudier l'éclairage d'un bureau de 39 m<sup>2</sup> dans une entreprise et notamment estimer l'influence du choix des luminaires sur la puissance électrique totale installée.

Il est donné à l'élève, pour la suite, les caractéristiques de la pièce (Dimensions, hauteur du plan utile, hauteur sous plafond, couleur du plafond,

couleur des murs, couleur du plan utile, empoussièremment). Il a aussi à sa disposition des extraits du catalogue Philips.

##### Enjeux énergétique et environnementaux

L'enjeu va être de réduire le nombre de luminaires, de modifier le type afin d'optimiser l'éclairage général de la pièce.

Les critères impactés par le choix des blocs optiques étudiés et les améliorations recherchées doivent porter sur les points suivants :

- ↳ en termes d'efficacité énergétique active :
  - Puissance installée et consommation électrique.
- ↳ en termes environnementaux :
  - Recyclage des tubes.
- ↳ en termes de « confort » :
  - Éclairement recommandé.
- ↳ en termes économiques :
  - Maintenance.

#### 5.2. Imaginer une solution et répondre à un besoin

On souhaite définir le nombre et la répartition des luminaires dans le bureau étudié en choisissant deux types de blocs optiques différents :

- Blocs optiques en aluminium mat,
- Blocs optiques en aluminium brillant

Le sujet définit le modèle de plafonniers et le type des tubes fluorescents utilisés afin d'aider les élèves à travers le grand nombre de produits disponibles.

Afin de préparer les calculs, on guide l'élève afin qu'il identifie correctement toutes les grandeurs (rappels pour eux). Ainsi, il leur est demandé de donner la définition des grandeurs photométriques suivantes :

- L'intensité lumineuse (en candela),
- Le flux lumineux (en lumen),
- L'éclairement (en lux),
- L'efficacité lumineuse (en lumen/watt).

Après avoir déterminé, à l'aide de la documentation fournie, l'éclairement recommandé pour un bureau de travail général, l'élève calcule le flux total à produire pour obtenir l'éclairement recommandé en utilisant des blocs optiques en aluminium mat et en déduit le nombre de luminaires à installer. Il applique la même démarche pour les blocs optiques en aluminium brillant.

L'élève réalise un schéma, à l'échelle, de l'implantation des différents luminaires utilisant des blocs optiques en aluminium mat. Il sera fait de même avec les blocs optiques brillants.

Cela permettra de comparer les deux solutions.

Expérimentalement, il est proposé aux élèves une manipulation simple mettant en avant l'efficacité du bloc optique suivant son modèle (mat, brillant ou sombre). Ils ont à leur disposition le matériel ci-dessous :

- Un luxmètre,
- Un boîtier support d'ampoule (12 V maxi),
- Une ampoule 12 V,
- Une alimentation 12 V continue,
- Un multimètre,
- Des fils de liaison,
- Des blocs optiques blanc, noir et brillant.

Ainsi, par la mesure, ils confortent leur démarche précédente.

### 5.3. Valider des solutions technologiques

La simulation de l'installation est réalisée avec le logiciel Dialux light. Les composants utilisés sont tous de marque Philips.

Les élèves réalisent, à l'aide du logiciel fourni, une simulation de l'installation avec les luminaires utilisant des blocs optiques en aluminium mat, puis brillant.

Cette simulation permet de conclure définitivement sur le choix à retenir.



## 6. Réalisation d'une présentation

L'évaluation au baccalauréat s'effectue en deux parties, une évaluation de type CCF réalisée par les enseignants et une évaluation finale par un jury extérieur à l'établissement.

Afin de sensibiliser les élèves au fait qu'un travail bien mis en valeur est très important, nous avons réalisé des oraux finaux par groupe de projet.

Cet exercice a été complexe pour certains. Pourtant, durant l'année, nous avons déjà eu l'occasion de le réaliser. Les grosses difficultés rencontrées sont l'interprétation de la problématique, l'explication des solutions retenues et la justification des choix.

## 7. Bilan

Les élèves se sont investis dans le projet. La découverte du sujet et la répartition des tâches ont été très appréciées.

La partie réalisation virtuelle a été moins porteuse. Les élèves souhaitent passer très vite à la partie suivante. Ils ont toutefois compris rapidement que la réalisation d'études préliminaires permettait de réduire la phase prototype très coûteuse en temps et en coût.

Notre conclusion pour le projet en Terminale est la suivante. La partie « réalisation d'un prototype » ayant remporté tous les suffrages doit être mise en valeur. L'idée d'en arriver à une réalisation concrète doit être le fil conducteur de tous les projets. En effet, suite à un problème technique, un groupe n'a pu réaliser son prototype. Ce groupe a été le seul à être déçu de part cette activité.

# La démarche de projet en STI2D : Etude et réalisation d'un quadricoptère

**Pierre CAYEZ**

Professeur de Génie Mécanique Productive : 178 chemin de la Motte 83560 La Verdière

**Alexandre CHAUCHOT**

Professeur de Génie Mécanique Productive : Lycée Vauvenargues 60 bd Carnot 13100 Aix en Provence

**Résumé :** cet article aborde la démarche de projet au travers de l'étude d'un quadricoptère. De nombreux points de programme y sont traités (l'analyse fonctionnelle, l'étude des phénomènes vibratoires, la résistance des matériaux, la modélisation et la simulation mécanique, la réalisation de prototype, la commande en boucle fermée,...) pour répondre aux enjeux de la filière :

- ✓ modifier les orientations des formations existantes en les engageant dans la voie du développement durable,
- ✓ rester attractif,
- ✓ décroïsonner les enseignements, notamment les enseignements techniques,
- ✓ adopter une pédagogie de projet,
- ✓ se familiariser aux nouveaux outils de conception d'un technicien.

La démarche expérimentale est privilégiée pour valider les solutions retenues.

## 1. Introduction et contexte pédagogique

Le quadricoptère est connu de la plupart de nos élèves et revêt de nombreux atouts. C'est un système pluridisciplinaire, attrayant, il ne nécessite pas un budget excessif (300€ par groupe de 4-5 élèves) et sa maquette peut être facilement réalisée puis exploitée (Figure 1).

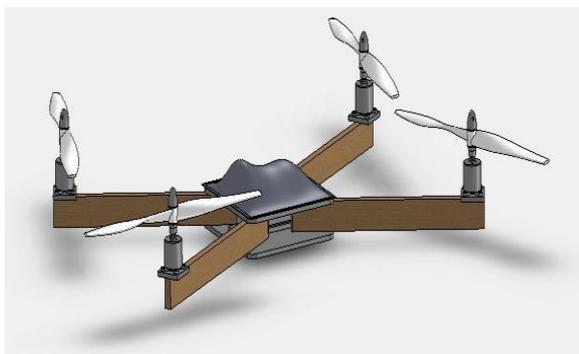


Figure 1 : Modèle numérique de la maquette réalisée par les élèves

### 1.1. Bienvenu dans le monde du DIY (Do It Yourself)

Le produit commercial le plus connu (AR DRONE de la société PAROT) est le plus emblématique mais une littérature foisonnante ainsi qu'une multitude de sites de modélisme [réf. 1] décrivent des réalisations tout

aussi intéressantes que ce quadricoptère, allant du tricoptère à l'octocoptère dans un jargon qu'il convient de s'approprier comme les mouvements d'un aéronef (Figure 2). Dans l'académie d'Aix-Marseille, pas moins de trois lycées se sont lancés dans la construction de tels drones.

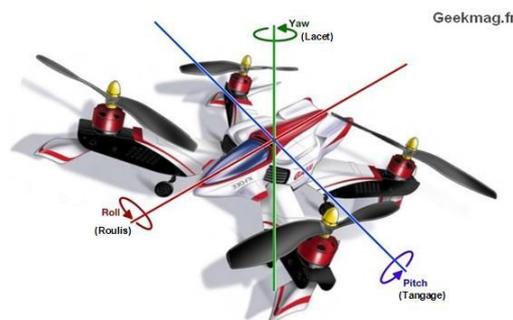


Figure 2 : Les mouvements d'un drone

### 1.2. Le contexte pédagogique

Au lycée Vauvenargues d'Aix en Provence, le quadricoptère a fourni le thème du second projet de 1ère STI2D. Le premier projet avait été orienté sur l'« éco-conception » et avait permis d'aborder l'utilisation d'outils de conception comme Solidworks. Dans ce second projet, les aspects techniques et les outils mis en œuvre sont plus délicats à appréhender mais la

pédagogie de projet reste la plus adaptée pour garder l'adhésion des élèves. Dans une classe de 12 élèves, chaque groupe (4 ou 5 élèves) a en charge la réalisation d'un prototype.

Le projet réalisé pendant 4 mois à raison de 5 heures par semaines (correspondant aux heures de spécialité) est organisé de la manière suivante :

- 1 semaine pour l'analyse du besoin,
- 1 semaine pour la spécification des fonctions et la rédaction du cahier des charges fonctionnel,
- 3 semaines pour la conception globale du système et la rédaction d'un FAST,
- 6 semaines pour la conception détaillée avec des tests sur les fonctions,
- 4 semaines pour l'intégration des fonctions et la réalisation d'un prototype.

La démarche en V (Figure 3) est sous jacente, chaque fonction nécessitant un essai sur une maquette.

Le budget est limité à 300€ par prototypes.

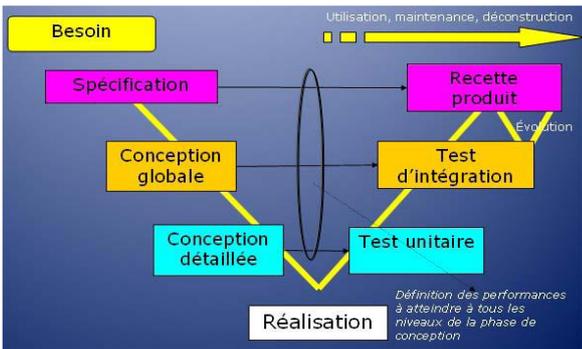


Figure 3: Démarche en V

### 1.3. Do you speak English?

Au delà de l'évidence de l'intérêt de ce projet pour les domaines scientifiques et techniques, on constate que l'anglais technique est omniprésent. Toutes les notices sont rédigées en anglais car la plupart du matériel qui a été acheté provient de chine (le pays des terres rares) et les élèves ont bien compris que cette langue est incontournable. En voilà quelques exemples.

An ESC : Electronic Speed controller : variateur de vitesse électronique,

An IMU : an Inertial Movement Unit : une centrale inertielle,

The throttle : l'accélérateur,

The BEC : Battery Elimination Circuit : il s'agit d'un régulateur de tension inclus dans le variateur qui permet d'alimenter la carte de commande en 0-5V et évite ainsi le recours à une alimentation externe.

A GUI : Graftic User Interface : une interface graphique

## 2. Le suivi du projet

La carte mentale (Figure 4) est un outil précieux pour assurer le suivi du projet. Réalisée avec Xmind, elle donne une vision synthétique lors des revues de projet qui ont lieu toutes les 3 semaines environ. Elle est alimentée par l'enseignant à partir des documents fournis par les élèves notamment. Documents, liens, maquettes et résultats y figurent sous la forme d'une arborescence en forme d'étoile.

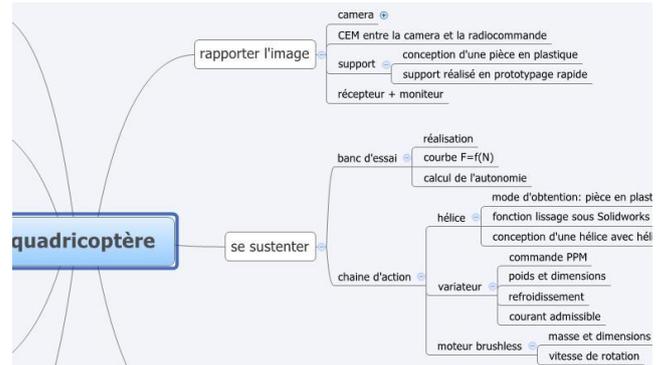


Figure 4: Carte mentale partielle

## 3. De l'expression du besoin au cahier des charges fonctionnel

Le besoin est réel : inspection de façades, d'édifices, de sites isolés... L'analyse fonctionnelle est indispensable et doit être le fruit d'une réflexion commune qui prend la forme d'un brainstorming. L'ensemble des élèves s'accorde alors sur l'élaboration du diagramme pieuvre (figure 5) et l'identification des fonctions de service (figure 6).

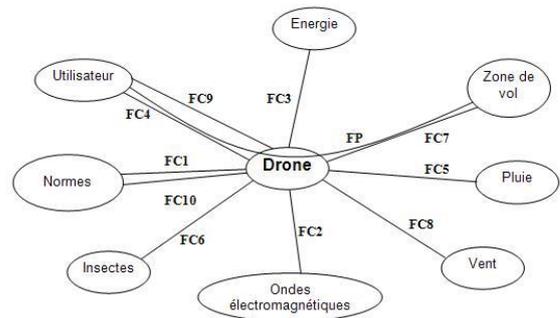


Figure 5 : Diagramme pieuvre

Figure 6 : Les fonctions de service

FC1	Etre éco-conçu (respecter les normes environnementales)
FC2	Etre imperturbable en milieu urbain
FC3	Etre autonome en énergie
FP	<b>Permettre de surveiller une zone à distance</b>
FC4	Etre facile d'entretien
FC5	Résister à la pluie et la poussière
FC6	Résister aux impacts d'insectes
FC7	Eviter les collisions
FC8	Etre stable en milieu venté
FC9	Plaire à l'utilisateur
FC10	Respecter les normes de sécurité

La caractérisation des fonctions est plus délicate puisqu'il s'agit d'énoncer des critères quantifiables et de déterminer le niveau de performance à atteindre ou à ne pas dépasser. L'accent est mis sur la définition des critères. L'expertise de l'enseignant est à ce stade indispensable. Enfin, les élèves habitués à manipuler ou voir des quadricoptères, ont facilement fixé les niveaux.

Etre autonome en énergie	Autonomie en vol stationnaire	10 min ± 2 min
	Déplacement maxi à vitesse de croisière	2 km mini
<b>Permettre de surveiller une zone à distance</b>	Distance de la zone à surveiller	100 m en ville
	Changer rapidement de direction	1 s pour passer de 0 à 30° sur un axe (dépassement autorisé de 10%)
	Type de déplacement permis	Manœuvrabilité totale 6 ddm
	Dimension du drone (hors tout)	60 cm x 60 cm maxi
	Qualité d'observation	6000 pixels
	Vitesse d'élévation	1 m/s

Figure 7 : Cahier des charges fonctionnel

Cette démarche de spécification n'est pas nouvelle pour les élèves puisqu'elle est enseignée dès le collège.

Recherche de solutions constructives

Pour faire l'analyse fonctionnelle interne le diagramme FAST (Figure 8) reste d'actualité du moins chez les mécaniciens. Chaque fonction doit y être détaillée. Pour cette étude, il a été choisi de partir des solutions données par l'enseignant et de créer le diagramme en se demandant pourquoi ces solutions avaient été retenues (rétro conception). Cette démarche est plus simple pour les élèves d'autant qu'ils ont travaillé en groupe sur cette tâche et ont pu ainsi confronter leurs idées.

DIAGRAMME FAST partiel du DRONE

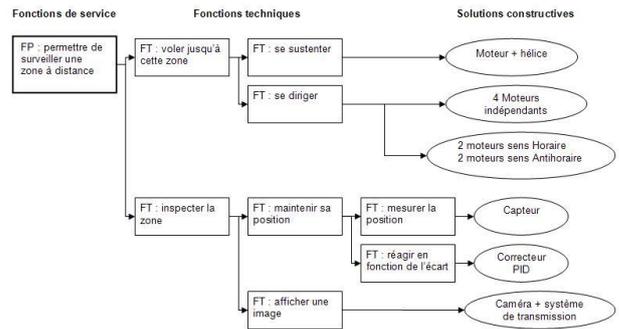


Figure 8 : Diagramme FAST partiel du Drone

**4. La conception**

4.1. Se sustenter

a) un peu d'aérodynamique

L'hélice, permet de générer la force nécessaire à la sustentation de l'engin (force de « poussée ») à partir d'un mouvement de rotation. Les lois de l'aérodynamique permettent de concevoir des formes d'hélices efficaces pour assurer le déplacement des avions et autres engins susceptibles de se mouvoir dans les airs. Le logiciel Heliciel est dédié à la conception des hélices et turbines et son site [réf. 2] constitue une mine d'informations sur le choix du nombre de pales, leurs formes,...

Avec les élèves, on définit sur un profil d'aile la poussée et la traînée (Figure 9) préalable à la création du modèle numérique de l'hélice sous Solidworks.

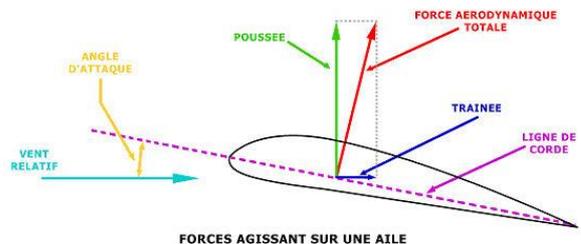


Figure 9 : Forces agissant sur une aile

Malheureusement, même si on peut trouver un grand nombre de profils NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) sur internet [réf. 3] le choix en matière d'hélice se résume bien souvent à la dimension de l'axe du rotor et au coloris. Les profils sont eux davantage le résultat des contraintes liées au procédé d'injection plastique. Les élèves en autonomie ont suivi pas à pas les étapes leur permettant de modéliser l'hélice sous Solidworks (Figure 10).

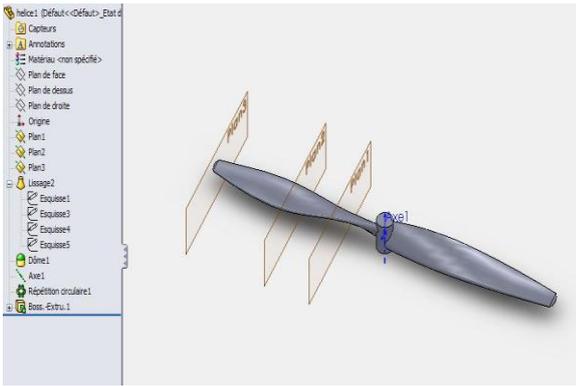


Figure 10: Solidworks : TD créer une hélice

Pour le choix d'une motorisation, les critères étant, une grande vitesse de rotation, un bon rendement énergétique, un bon rapport poids/puissance, une bonne dynamique ; le moteur brushless et son convertisseur s'imposent. Une source de tension continue est nécessaire pour le convertisseur. La tension d'alimentation doit être aux alentours de 12V. La chaîne d'action (Figure 11) est un modèle du genre. Sur les éléments réels, la dimension des fils permet de faire la différence entre information et énergie.

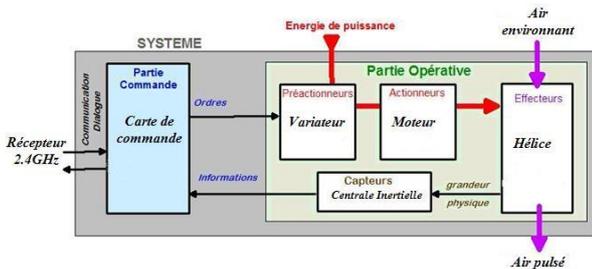


Figure 11: La chaîne d'action

b) Détermination de la poussée

La « poussée » est une fonction de la vitesse de rotation mais quelle est son expression? En STI2D, préférant une approche expérimentale, nous réalisons un banc de mesure qui prend la forme ci-dessous. (Figure 12)

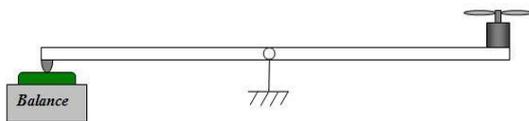


Figure 12: le banc d'essai moteur

Pour différents régimes moteur (fonction croissante de la largeur de l'impulsion  $\tau$  envoyée au variateur), on relève le courant absorbé, la vitesse de rotation ainsi que la poussée donnée en kg sur la balance (Figure 13).

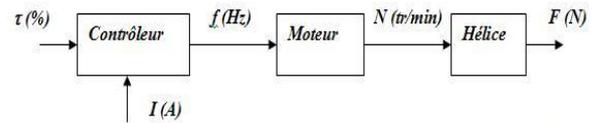


Figure 13: Les grandeurs mesurées

Après traitement des données, on obtient le graphique suivant :

Poussée = f (vitesse de rotation)

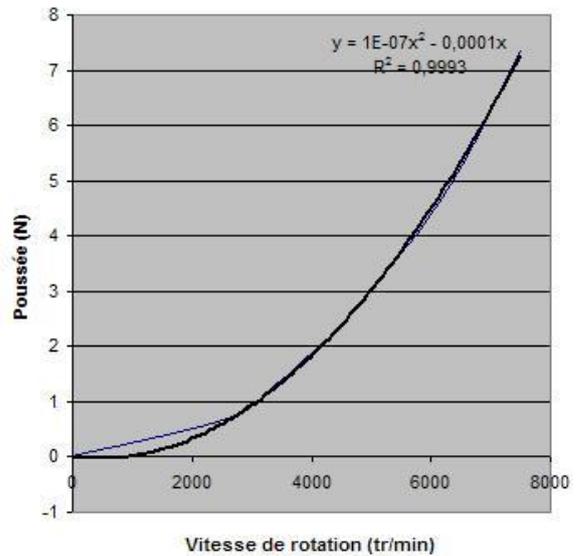


Figure 14: Feuille de calcul Excel

L'engin muni de 4 moteurs pourra donc peser jusqu'à 3kg.

Bien que le courant absorbé par le moteur soit lié au couple fourni donc à l'effort de trainée, il n'est resté pas moins vrai que pour un régime moteur établi il devient une fonction polynomiale du régime moteur soit  $I = 4.10^{-11}.N^3 - 2.10^{-7}N^2 + 0,0005.N - 0,0054$  (Avec I en Ampère et N en tr/min)

Les courbes de tendance sont obtenues grâce à Excel (Figure 14).

4.2. Etre autonome en énergie

a) Quelle technologie de batteries ?

Des recherches sur internet puis une mise en commun ont permis de faire une liste assez complète des accumulateurs disponibles sur le marché avec leurs avantages et inconvénients. On retrouve les technologies à base de plomb, de Nickel (Ni-Cd, Ni-MH), ou de Lithium (Li-ion et Li-Po). Le critère principal de sélection étant la densité massique de stockage notre choix s'est porté vers la technologie Li-Po. Trois cellules de 3.7V seront nécessaires pour approcher les 12V nécessaires au variateur.

Le site des accu-rechargeables [réf. 4] et une vidéo sur le lithium [réf. 5] sont à ce sujet des ressources intéressantes.

Attention, ce choix (Li-Po) engendre l'achat d'un chargeur de qualité et de connecteurs spécifiques.

- b) Calcul de l'autonomie pour un régime stationnaire

La masse du quadricoptère est évaluée avec Solidworks à 1kg. Son poids est donc  $P_{\text{quadricoptère}}=9,8\text{N}$

La gravité doit être compensée par la force de portance de chaque groupe motopropulseur (GMP) à part égale soit  $F_{\text{poussée}}=2,45\text{ N}$  ce qui d'après le graphique impose une vitesse de rotation de l'hélice de 4500tr/min. A ce régime moteur, la consommation en courant est de  $I=2,8\text{A}$  soit une consommation pour les quatre GMP de 11,2A. La quantité d'énergie stockée par l'accumulateur étant à cette tension (11,1V) de 2200mAh, l'autonomie du drone à ce régime est de  $(2,2/11,2)*60 = 11,8\text{min}$ .

Tous ces calculs ont été menés lors d'un travail dirigé.

#### 4.3. Se diriger

Pour les mouvements de tangage et roulis, les élèves comprennent assez facilement quelle consigne doit être envoyée aux différents variateurs. En revanche, pour évaluer le temps de réaction du drone, une simulation est nécessaire. Enfin pour le mouvement de lacet, une expérimentation à l'aide d'une maquette particulière (Figure 15) a permis d'assoir le cours sur les forces, couples et moments.

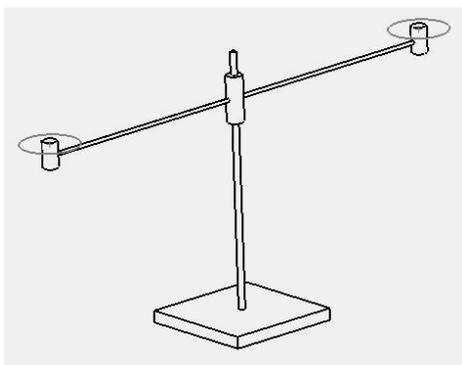


Figure 15: Maquette « lacet »

- a) Mouvement de lacet: la faute au torseur couple !

Le torseur des efforts résume l'action en un point d'un élément sur un autre.

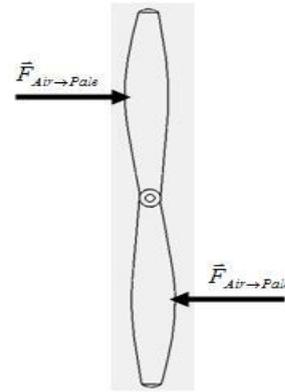


Figure 16: forces ou couple de trainée

La relation de moment s'écrit

$$\vec{M}_A = \vec{M}_B + \vec{AB} \wedge \vec{F}$$

Mais quand la résultante est nulle, le champ de moment devient identique en tout point de l'espace. A l'équilibre, c'est le cas pour la somme des actions de l'air sur chacune des pales de l'hélice (Figure 16).

$$\left. \begin{aligned} \vec{R}_{\text{air} \rightarrow \text{hélice}} &= \vec{0} \\ \vec{C}_{\text{air} \rightarrow \text{hélice}} &= \vec{C}_{\text{air} \rightarrow \text{pale1}} + \vec{C}_{\text{air} \rightarrow \text{pale2}} \end{aligned} \right\} \forall \text{point}$$

La trainée sur chacune des pales engendre un couple résistant de l'air sur l'hélice de sens opposé à la rotation de l'hélice.

Sur la maquette représentée sur la figure 17 on constate que deux moteurs tournant dans le même sens génèrent un couple au niveau de l'axe de rotation au centre du bras et donc la rotation de ce dernier.

Cette maquette a été réalisée avec 2 MCC : résultat garanti !

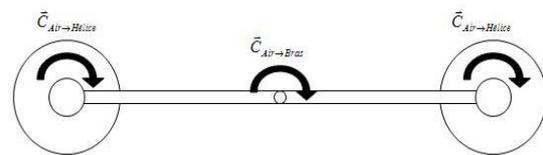


Figure 17: Le couple résultant est non nul

Ce résultat est confirmé par une simulation sous Solidworks motion (Figure 18) dans laquelle on applique sur chaque rotor le couple déterminé grâce au banc d'essai.

- b) Evaluation du couple sur le rotor

Avec un rendement fixé à 80% (par l'enseignant), on peut écrire que  $P_{\text{élec}} \cdot 0,8 = P_{\text{méca}}$ .

Dans le cas particulier d'une alimentation sous une tension continue U avec un courant moyen I, les pertes du convertisseur étant englobées dans le calcul, on a

$C.\omega=0,8U.I$  d'où l'on tire à la vitesse de rotation  $N=4500\text{tr/min}$  soit  $\omega=471\text{ rad/s}$  un couple  $C=0,05\text{N.m}$ .

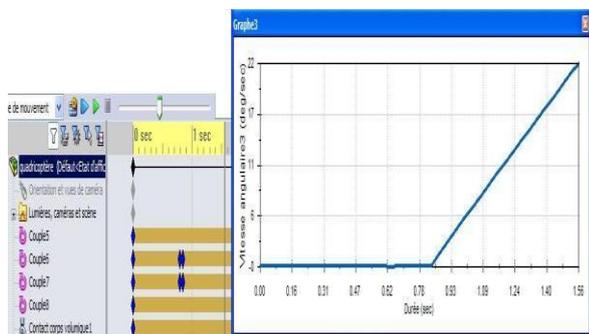


Figure 18: Solidworks Motion : courbe de vitesse de rotation (lacet)

Sur la figure ci-dessus (Figure 18), on peut voir que dans la première phase (de 0 à 0,8 s) les effets engendrés par les deux moteurs tournant en sens horaire (H) sont compensés par ceux des deux moteurs tournant en sens antihoraire (A). Puis à 0,8s, deux des moteurs baissent de régime (le couple passe de 0,5Nm à 0,4Nm) et le drone commence à tourner. Le déplacement angulaire atteint  $30^\circ$  en 1,2s.

Comment alors disposer les hélices ? Faut-il choisir des rotations symétriques ? Deux moteurs en rotation H et les deux autres en rotation A ? Prenons comme base de réflexion la disposition de la figure 19 classiquement présentée dans la littérature. Si on choisi de placer deux moteurs H en positions 3 et 10 et 2 moteurs A en positions 11 et 9, lors d'un mouvement vers l'avant (tangage), il faudra réduire les régimes des deux moteurs 3 et 10 et donc des 2 moteurs H. Le drone effectuera alors un mouvement de lacet en plus du tangage. Ce serait le même problème en couplant les moteurs 3 et 11 et les moteurs 10 et 9. La disposition retenue est finalement celle de la figure 19. La numérotation correspond à celle adoptée par la communauté des modélistes spécialisés dans le multicoptère.

Les moteurs avant gauche, avant droit, arrière gauche et arrière droit correspondent respectivement aux moteurs 3, 10, 11 et 9.

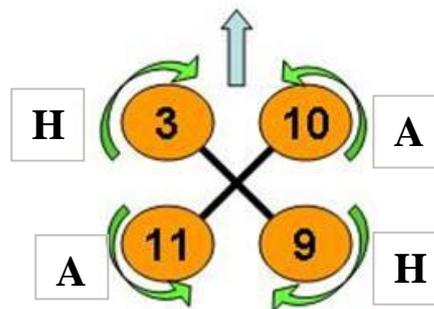


Figure 19: Disposition convenable des hélices en sens Horaires et Antihoraire

Le schéma de commande prend donc la forme suivante :

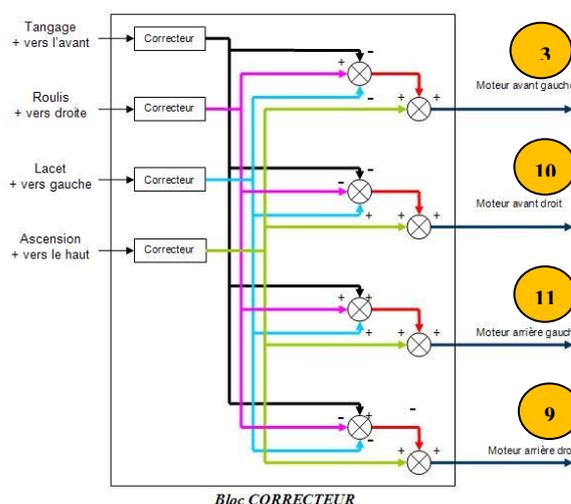


Figure 20: Synthèse du schéma de commande

c) Maintenir sa position : être stable en vol

Afin de concevoir l'asservissement de la position et de l'orientation du quadricoptère, il est important de bien choisir les capteurs.

**Vive la France** : ST micro-electronics a été la première société à développer les MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System) capteurs de mouvement intégrés dans un CI avec en tête l'accéléromètre, le gyromètre, le magnétomètre et enfin le baromètre.



Figure 21 : le magnétomètre HMC5883L monté sur un PCB

Une activité élève consiste à identifier les grandeurs mesurées et leur utilité pour notre quadricoptère. On les retrouve dans la centrale inertielle « 10 DOF » (Degree

Of Freedom) de la chaîne d'information. Les informations provenant de l'accéléromètre 3 axes sont filtrées (passe bas) afin de ne détecter que l'accélération statique (la gravité) et donc les composantes de la verticale locale (projection). Le gyromètre 3 axes indique quant à lui les vitesses de rotation de l'engin dans l'espace, le magnétomètre, lui, est sensible aux champs magnétiques et on l'espère principalement au champ magnétique terrestre (boussole électronique). Enfin le baromètre par la mesure de la pression donne une information sur les changements d'altitude.

Les signaux délivrés sont rarement analogiques. Le protocole de communication le plus courant est l'I2C ou encore parfois le SPI. Plusieurs sociétés comme la société Drotek [réf. 6] proposent des PCB (Printed Circuit Board) sur lesquels ces MEMs sont implantés (Figure 21). Il ne reste qu'à souder des barrettes pour les monter sur des supports DIL.



Figure 22: L'accéléromètre BMA180 de la société BOSCH

Les mesures étant bruitées par des vibrations et des bruits de mesure, il sera nécessaire de prévoir leur filtrage.

#### 4.4. Rigide mais pas trop

##### a) Essais de flexion et de torsion

L'analyse harmonique permet de prévoir le comportement de la structure en vol.

De par sa rigidité et son faible rapport densité/prix, le bois paraît être le matériau le plus adapté pour la structure du drone. Bien qu'il ne soit pas isotrope, nous cherchons tout de même à le caractériser du point de vue mécanique. Pour cela on réalise deux essais sur un tasseau de sapin du nord, un de flexion (Figure 23) l'autre de torsion.

Les conditions d'essai du premier sont les suivantes : le tasseau est maintenu entre les mors d'un étau. Un perçage localisé à 1m du bout de l'étau permet de suspendre une masse de 1kg. La flèche est mesurée au droit du perçage.

La flèche mesurée en mm est telle que :

$$y = \frac{F.L^3}{3.E.I_{Gz}}$$

L'essai dual permet à partir de l'angle obtenu

$$\theta = \frac{M.L}{G.I_0} \text{ de calculer } G.$$

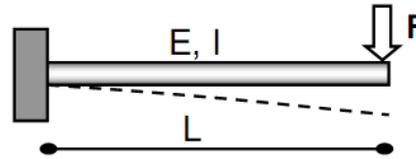


Figure 23: Essai de flexion

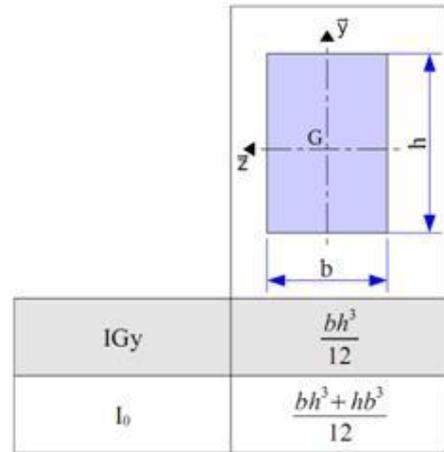
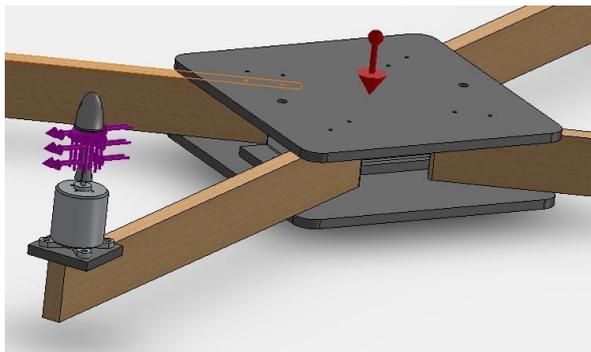


Figure 24 : Formules de moments quadratiques

Les expériences ont été réalisées par les élèves. Ils ont pu ensuite mener les calculs en autonomie grâce aux formules (Figure 24) et réaliser la recherche des modes propres qui suit.

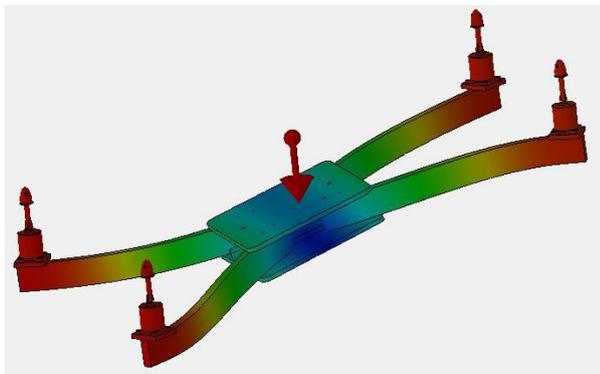
##### b) Recherche des modes de résonance avec Solidworks Simulation

Après avoir saisi les modules E et G pour le matériau « sapin du nord » on exclu de l'analyse les pièces complexes et légères (donc sans incidence) comme les hélices et le capot puis on rend rigide les pièces métalliques dont les déformations seront négligeables comparées à celles de la structure. Tout cela permet de gagner du temps de calcul. Puis on rajoute la gravité telle qu'elle agit lors d'un vol stationnaire, on impose un déplacement nul au niveau de la batterie (proche du CDI) et enfin on rapporte les efforts de chaque hélice sur leur rotor (couple et portance) (Figure 25).


**Figure 25 :** Préparation du modèle à l'analyse harmonique

Après calculs, le logiciel donne l'allure des déformations du quadricoptère (Figure 26) ainsi que les modes de résonance (38, 58, 59, 60, 63, 69, 138,... tout cela en Hz !).

Mauvaise nouvelle il va falloir filtrer les vibrations pour éviter de perturber les mesures effectuées par la centrale inertielle. En effet le régime moteur de 4500tr/min en vol stationnaire équivaut à une fréquence de 75Hz trop proche de 69Hz. Un matériau type mousse devra être interposé entre le capteur et le châssis. Nous devons donc faire le choix d'une centrale inertielle non solidaire de la carte de commande.


**Figure 26 :** Mode 3 de l'analyse harmonique

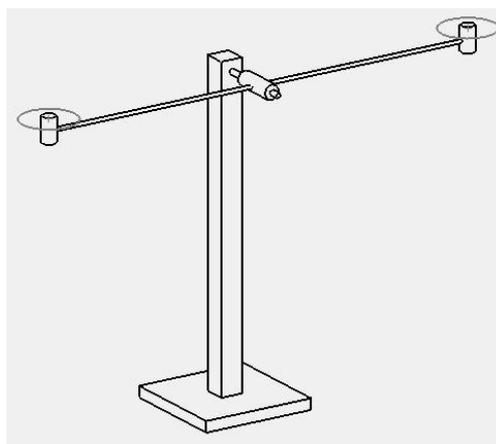
#### 4.5. Maintien de la position angulaire

Cette partie n'a pas été traitée avec les élèves mais devrait l'être avec les enseignants de terminale pour illustrer les problèmes de commande en boucle fermée (asservissement), d'inertie et justifier l'utilisation d'un logiciel de simulation multi-physique (Scilab).

On se propose de vérifier que cette fonction est réalisable :

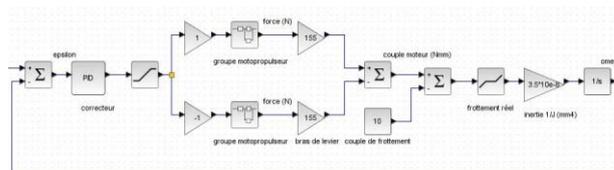
- par une simulation à l'aide d'un modèle Scilab d'une « balançoire »,
- à l'aide de la maquette réelle de la même

expérience (Figure 27).


**Figure 27 :** Maquette « balançoire »

a) La simulation sous Scilab

A l'état initial, les deux GMP fournissent la portance nécessaire à la lévitation  $F_0$ . Un échelon de consigne d'angle est envoyé au système. Le PID élabore un signal de commande pour le GMP de droite et son opposé pour celui de gauche. Une fois passée dans les GMP, deux poussées sont générées  $F_0+F$  et  $F_0-F$ . Multipliée par la distance moteur-axe de rotation de la balançoire les deux couples de signes opposés génèrent un couple moteur auquel on retire un couple de frottement. Une non linéarité de type « bande morte » simule la loi de coulomb. Et voilà le couple réel qui une fois divisé par  $J$  donne l'accélération angulaire. Reste une double intégration pour retrouver l'angle.


**Figure 28 :** Modèle Scilab de la balançoire

Sur ce modèle, paramétré par l'enseignant, les élèves peuvent constater l'effet des coefficients du correcteur PID sur la réponse et identifier temps de réponse et dépassement.

L'extrapolation au modèle réel est envisageable, seuls les paramètres suivants seront à modifier : le moment d'inertie du quadricoptère autour de l'axe X ou Y, les modèles des moteurs sans oublier qu'ils sont au nombre de 2. Le couple résistant et le frottement réel quant à eux deviennent nuls.

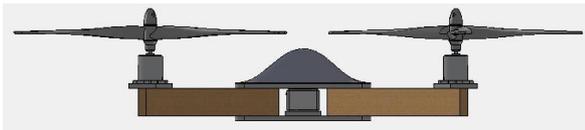


Figure 29 : Vue de face du quadricoptère

Comme on peut le voir sur la figure ci-dessus (Figure 29), 2 GMP tendent à faire basculer l'engin vers la droite, et les deux autres vers la gauche. C'est l'occasion pour les élèves de découvrir l'inertie (et sa matrice) et de voir les effets de cette grandeur sur le comportement dynamique du système.

Masse = 975.70 grammes
Volume = 946024.52 millimètres cubes
Superficie = 385430.88 millimètres carrés
Centre de gravité: (millimètres)
X = -0.09
Y = 0.60
Z = 4.05
Principaux axes et moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés)
Pris au centre de gravité.
Ix = (-0.00, 1.00, -0.00) Px = 12519073.55
Iy = (-1.00, -0.00, 0.00) Py = 27567978.81
Iz = (0.00, 0.00, 1.00) Pz = 38349646.23

Figure 30 : Propriétés de masse du drone données par Solidworks

### Comportement dynamique du GMP :

Derrière le GMP (variateur + moteur brushless + hélice + phénomène de poussée) se cache un système complexe que nous assimilerons à un second ordre. Pour l'identifier le banc de mesure (Figure 12) reprend du service mais la balance est remplacée par une balance avec une sortie analogique 4-20mA. L'acquisition se fait à l'aide d'une carte NiDAQ USB 6008 de chez « National Instrument » interfacée avec Scilab. Le temps de réponse de l'ensemble à un échelon de consigne (40% à 60%) est estimé après plusieurs essais à 50ms. Le bras ne bougeant pas, on considère que cette constante de temps caractérise l'évolution de la poussée.

Le résultat de la simulation (Figure 31) est conforme à nos attentes. Le changement de direction pourra se faire en moins d'une seconde (avec dépassement de 6%).

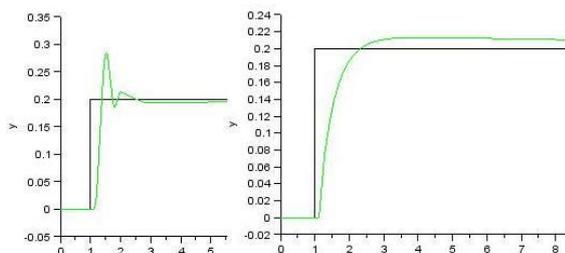


Figure 31 : Réponse à un échelon de consigne de 0.2radians avant et après ajustement des gains

On constate que la réponse tend vers la valeur de consigne mais cela après plusieurs secondes (le régime permanent n'est pas atteint sur la figure 31).

### b) Passons à l'expérimentation

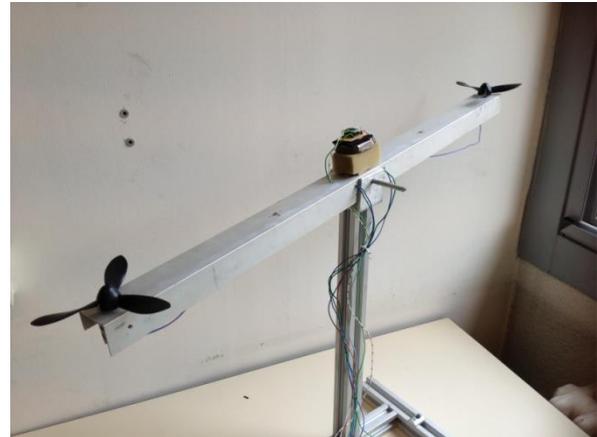


Figure 32 : La maquette « balançoire »

Description de la maquette (Figure 32): Un bras est en liaison pivot d'axe horizontal. Une MCC et une hélice tripales est fixée à chaque extrémité. La mesure de l'angle est réalisée au moyen d'un accéléromètre analogique [réf. 7]. Sa bande passante est de 500Hz. La valeur de consigne choisie est 0 aussi on s'autorise l'approximation  $\sin\alpha \approx \alpha$ . La tension d'alimentation des MCC est limitée à 10V (phénomène de saturation à prendre en compte).

Le microcontrôleur PIC 18F452 de la carte PICDEM2+ [réf. 8] réalise une acquisition de la valeur donnée par l'accéléromètre toutes les 2ms. Au bout de 16 acquisitions il calcule la moyenne des échantillons et élabore une consigne à partir des gains proportionnel et dérivé. Les 8 MSB du résultat servent à moduler la commande PWM de 0 à 256. Les commandes des deux MCC sont symétriques :  $PWM1 = 127 + \text{consigne}$  et  $PWM2 = 127 - \text{consigne}$ .

Un MOSFET commandé en bloqué/saturé réalise la commande des moteurs. Comme les moteurs apportent énormément de vibrations parasites, un élastomère type « mousse » et une pièce d'inertie permettent de filtrer une partie des bruits perçus par l'accéléromètre (Figure 33).

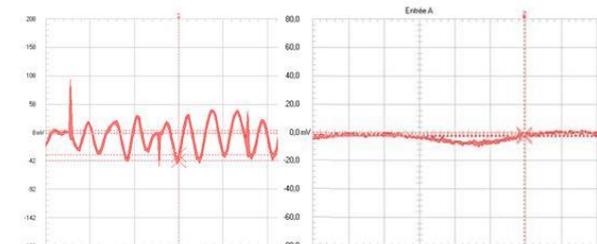


Figure 33 : Signal issu de l'accéléromètre avec et sans filtrage mécanique

Comme on peut le constater, le filtrage mécanique a permis d'atténuer certaines oscillations mais une autre, plus basse et d'amplitude assez faible est apparue. Elle est liée à l'oscillation de l'ensemble mousse-pièce d'inertie sur lequel est monté l'accéléromètre.

Le correcteur proportionnel dérivé (PD) a été réglé suivant la méthode de Ziegler Nichols [réf. 10]. Lors du fonctionnement, une consigne d'angle (signal carré de  $+30^\circ$  à  $-30^\circ$  de période 9s) est générée. A la réponse très bruitée on a substitué le résultat d'un filtrage par moyenne mobile (Figure 34). Les deux MCC ne permettent pas d'atteindre le temps de réponse attendu pour le drone.

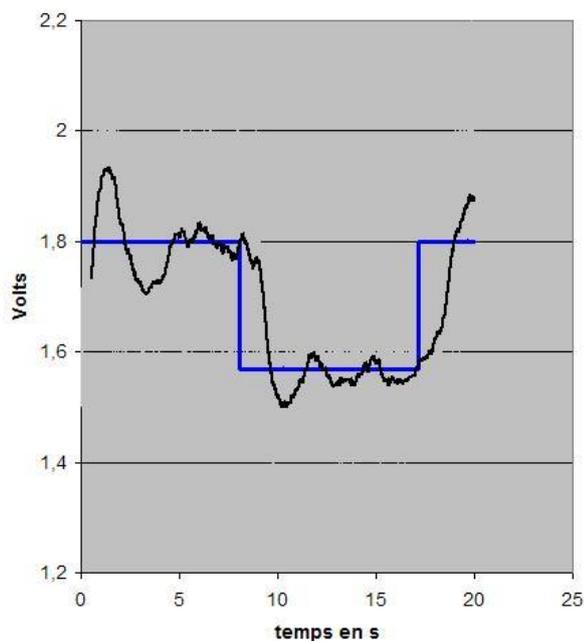


Figure 34 : réponse à une consigne ( $+30^\circ -30^\circ$ ) °

4.6. Voir sans se déplacer

La caméra CMOS doit être fixée sur le drone. Les tests de portée sont réalisés avec les élèves dans le lycée. L'alimentation à partir de l'accumulateur ne nécessite qu'un régulateur de tension LM7809.

Pour maintenir la caméra en place, un support est nécessaire. En autonomie, à partir du modèle numérique de la caméra conçu sous SolidWorks, les élèves dessinent en contexte le support. L'épaisseur des parois doit être proche de 3mm et la flexibilité du matériau plastique doit permettre de la « clipser ». La pièce est ensuite créée grâce à une imprimante 3D (Figure 35).

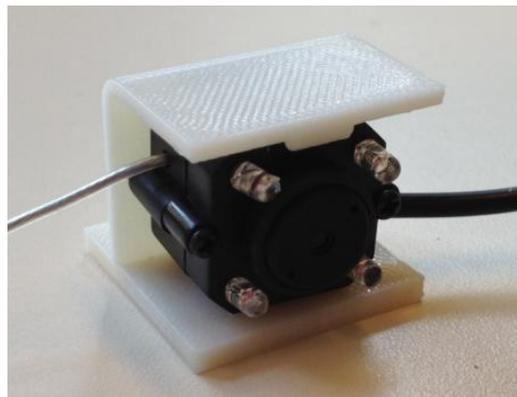


Figure 35 : Caméra CMOS et son support

La perturbation des signaux par ceux de la radiocommande reste à vérifier : c'est la CEM !

## 5. L'intégration et le prototype

Comme prévu, le châssis du prototype a été réalisé en bois. Les élèves ont confectionné un montage de collage pour les fabriquer en série. La connexion de la carte des variateurs et du récepteur est celle donnée sur le site [réf. 9]

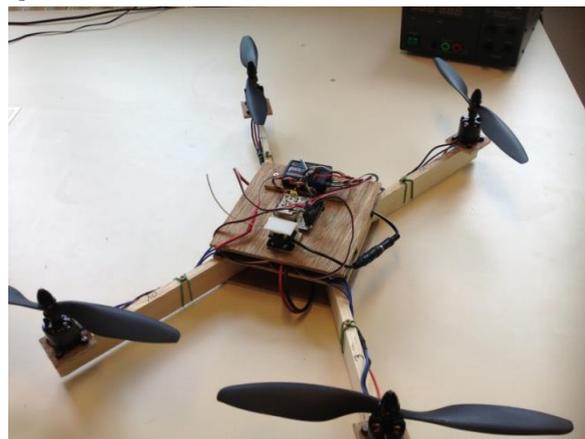


Figure 36 : Le quadricoptère équipé

Le programme de commande est le résultat d'un projet nommé « multiwii » [réf. 9]. Les documentations de la radiocommande, des variateurs du logiciel et de la carte ont été traduites par les élèves.

L'interface graphique (Figure 37) permet de visualiser en temps réel les données venant des différents capteurs (accéléromètre, gyromètre et magnétomètre). Un autre onglet permet de modifier les gains des correcteurs PID afin d'obtenir la « réponse » souhaitée.



Figure 37 : capture d'écran du logiciel MultiWiiWinGUI.exe version 1.04

## 6. Bilan

Ce projet accrocheur a permis de conserver une bonne motivation chez les élèves. Un ensemble a été réalisé (Figure 36) et semble fonctionner mais seuls des essais au sol ont été réalisés. (L'engin nécessite de grands espaces !)

Tout est prêt pour qu'en terminale, un ou plusieurs groupes d'élèves reprennent le sujet. Il reste à faire le réglage des correcteurs, l'intégration de l'électroniques (protection contre les intempéries), trouver une solution au montage-démontage rapide des accumulateurs. Le soft gère les mouvements d'une nacelle motorisée mue par deux servomoteurs pour la caméra embarquée. En effet, lors d'un déplacement vers l'avant (tangage), la caméra fixe filme le sol. La nacelle qui pallie cet inconvénient reste à concevoir. La distance de transmission de la vidéo peut être accrue en changeant de technologie (ZigBee)...

## 7 Références

[réf. 1] un projet de fin d'étude très intéressant [http://jeremie.sangare.fr/coriolis\\_uav/pfe\\_coriolis\\_rapport\\_de\\_projet.pdf](http://jeremie.sangare.fr/coriolis_uav/pfe_coriolis_rapport_de_projet.pdf)

Un exemple de réalisation <http://code.google.com/p/aeroquad/downloads/detail?name=AeroQuad%20Manual%20v10.pdf&can=4&q=>

Un site de modélisme spécialiste du multicoptère <http://www.geekmag.fr/quadricoptere-fonctionnement-configuration-et-pilotage-rc/>

Un site de matériel très bon marché <http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/index.rc>

[réf. 2] Le site du logiciel <http://www.heliciel.com/>

[réf. 3] Les profils d'aile NACA <http://www.pdas.com/sections6.html#s63618>

[réf. 4] Le monde des accus rechargeables <http://www.ni-cd.net/>

[réf. 5] la vidéo « quelles solutions pour vivre sans pétrole » [http://www.m6.fr/documentaire-capital\\_terre/](http://www.m6.fr/documentaire-capital_terre/)

[réf. 6] le site de la société DROTEK <http://www.drotek.fr/shop/en/>

[réf. 7] le site de GOTRONIC pour l'accéléromètre <http://www.gotronic.fr/art-accelerometre-accm2g2-11508.htm>

[réf. 8] la carte de développement utilisée PICDEM2+ [http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en010072](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en010072)

[réf. 9] Le site pour tout savoir sur le projet multiwii <http://www.multiwii.com/>  
La page pour télécharger l'application gratuite <http://code.google.com/p/mw-wingui/>

[réf. 10] Application of Kalman Filtering and PID control for direct inverted pendulum control : un exemple d'utilisation du filtre Kalman et de réglage d'un PID <http://csuchico-dspace.calstate.edu/bitstream/handle/10211.4/145/4%2022%2009%20Jose%20Miranda.pdf?sequence=1>

# Fauteuil roulant électrique

## Séquences en TSTI2D (tronc commun)

**Gil AUBERT, Jean-Pierre HENGEL**

Enseignant de génie électrique et de productique

Lycée L'Essouriau, avenue Dordogne

91940 Les ULIS

Aubert.cgil@free.fr, jp.hengel@wanadoo.fr

**Résumé :** Cette séquence pédagogique, rédigée au lycée l'Essouriau des Ulis, par M. HENGEL Jean-Pierre et M. AUBERT Gil, utilise comme support un fauteuil roulant. Deux fauteuils et un châssis (en état de fonctionnement) récupérés permettent d'envisager des activités pédagogiques pour 30 élèves.

Cet article présente – sans prétention - le travail réalisable par les élèves autour de ces fauteuils, à savoir des cours, des travaux dirigés et des travaux pratiques (durée onze semaines).

Tous les documents (corrections comprises) sont téléchargeables à l'adresse suivante : <http://ulis.electro.free.fr/3EI/OTTOBOCK>

### 1. Fauteuil roulant OTTO BOCK A200

Le système utilisé comme support pour ces séquences est le fauteuil roulant A200 de la société OTTO BOCK qui a été mis à disposition du lycée de l'Essouriau en deux exemplaires (Figure 1).



Fig 1 : Otto Bock – modèle A200

Ces caractéristiques principales sont les suivantes :

- 2 MCC 150W/24V/70rpm,
- 2 Batteries 25AH/12V/Pb,
- 15 kms d'autonomie, 6 km/h,
- pente max 10%, masse 100kg maxi,
- roue 12 pouces,
- équipement manuel ou électrique suivant les options installées (dossier, pieds,...).

### 2. Les outils utilisés par les élèves

La description du système, réalisée avec une carte heuristique ainsi qu'en langage SysML permet d'appréhender le fonctionnement, la composition et le comportement du système. Pour aider les élèves lors des activités, un sous-main plastifié est à leur disposition, avec les informations essentielles pour lire les diagrammes (Fig 2). (Ce document est disponible en téléchargement : SousMain\_UML\_SysML.pdf).

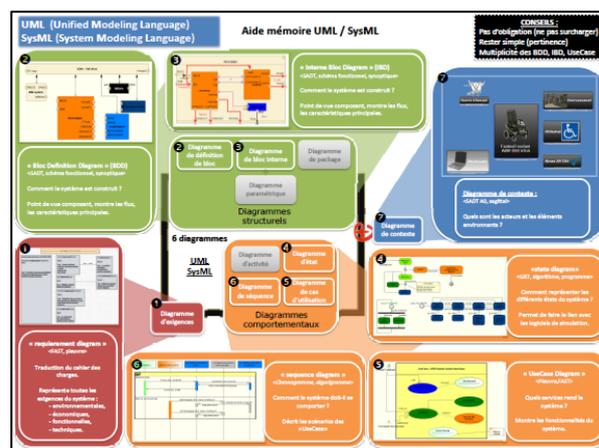


Fig 2 : SOUS-MAIN UML-SysML

#### 2.1. Carte heuristique

Les logiciels libres ou payants permettant de réaliser des cartes heuristiques sont nombreux ; au lycée de l'Essouriau, le choix s'est porté sur MindView. Ce dernier donne satisfaction pour le travail avec les élèves tant du point de vue de son utilisation que de celui de ses fonctionnalités. Ce logiciel servira également pour les présentations orales, l'organisation et les revues de projet. Rapidement pris en main par les élèves, ce

logiciel permet un gain de temps dans la rédaction et la présentation multimédia.

## 2.2. Description UML-SysML

Le choix d'un logiciel pour la description en SysML est plus délicat. Les logiciels libres ou payants, sont très souvent difficiles d'utilisation car d'une part, les diagrammes recommandés pour la STI2D ne sont pas tous disponibles et d'autre part, il faut télécharger/payer des plugins. Après une phase d'auto formation avec le logiciel Modelio en version libre et le plugin SysML, nous avons conclu que l'utilisation de ces logiciels était trop lourde pour le besoin en STI2D et que le temps nécessaire pour son apprentissage serait prohibitif.

Pour les activités liées à la description des systèmes, nous nous sommes donc tournés vers le logiciel libre DIA (<http://dia-installer.de/index.html.en>) qui permet de construire l'ensemble des diagrammes en obtenant un résultat soigné, largement suffisant pour l'utilisation avec les élèves.

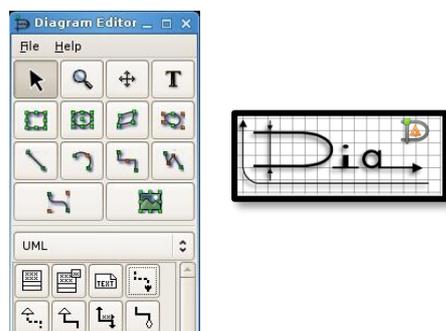


Fig 3 : Extrait de la boîte à outils DIA

## 2.3. Modélisation, simulation

Pour cette partie du programme, les élèves travaillent avec les outils Simulink et Simscape de Mathworks. Le travail est fortement guidé, il s'agit de valider le modèle. Contrairement aux idées reçues, ces deux outils sont accessibles, de très nombreux constituants techniques sont intégrés dans les bibliothèques, il n'y a pas de code à saisir.

D'autres logiciels en version limitée comme PSIM permettent ces activités. Les logiciels sont en anglais et uniquement en anglais.

## 3. L'organisation des activités

Les heures en TSTI2D tronc commun se répartissent de la manière suivante :

- 1 H de cours (29 élèves – 1 enseignant),
- 4 H de TP (29 élèves – 2 enseignants),
- 4 H de TD (15 élèves – 1 enseignant).

Avec 30 élèves, chaque activité de travaux pratiques est construite en deux parties (sauf si le poste de travail peut être doublé). Quatre élèves travaillent donc sur le même support, un binôme sur la partie A, l'autre sur la partie B. De cette manière, 4 travaux pratiques permettent de placer seize élèves au travail.

Quinze autres élèves travaillent sur les travaux dirigés. Ces derniers sont rédigés pour une durée de quatre heures avec à chaque fois l'utilisation de l'outil informatique pour un tiers du temps (MindMap, SysML, simulation, conception). Chaque élève effectue en alternance travaux dirigés et pratiques. Lors des travaux dirigés, tous les élèves ont la même activité (voir Fig 4).

BINOME	*****	*****	06/10/12
		TP1	
		TP1	
		TP2	
		TP2	
		TP3	
		TP3	
		TP4	
		TP1	
		TP1	
		TP2	
		TP2	
		TP3	
		TP3	
		TP4	
		TP4	
		TP1	

Fig 4 : tableau de rotation des activités

En préambule, 2 séances sont consacrées aux prérequis pour les travaux pratiques.

## 4. Les activités

### 4.1. Les cours

Les cours permettent de présenter les notions indispensables au travail prévu en TP et en TD. Les thèmes abordés sont les suivants :

- Chaîne fonctionnelle, information et énergie, schéma bloc.
- Poulie, courroie, roulement.
- Engrenage, pignon.

A chaque fin de cours, des applications sont présentées et une évaluation permet de valider le niveau de compréhension des élèves.

*Rem : ces cours et applications, ne sont pas disponibles en téléchargement.*

#### 4.2. Les travaux dirigés

Les séances de TD permettent de travailler à la conception du système à l'aide de logiciels dédiés.

##### 4.2.1. TD1 : Etude mécanique du système de débrayage des moteurs (*utilisation de SolidWorks*).

Lorsque le fauteuil est poussé par une tierce personne il est nécessaire de débrayer les moteurs.

La finalité de l'activité proposée dans le TD1 est de modéliser sur logiciel l'arbre de commande du débrayage. Les élèves étudient les liaisons et les schémas (Fig 5).

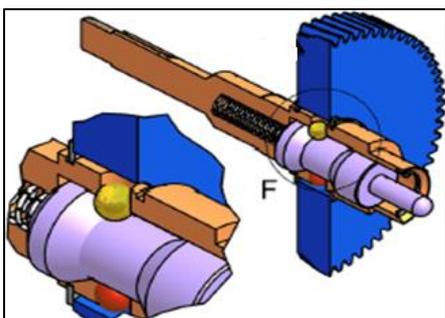


Fig 5: Bille d'indexage

##### 4.2.2. TD2 : Choix des motoréducteurs, langage UML (*utilisation de DIA*)

Le TD2 est divisé en deux activités distinctes de deux heures.

- Une activité mécanique permettant la validation du choix du motoréducteur par le biais de calcul au niveau de la chaîne d'énergie et de la transmission. Les élèves doivent exploiter les documents constructeurs (figure 6).

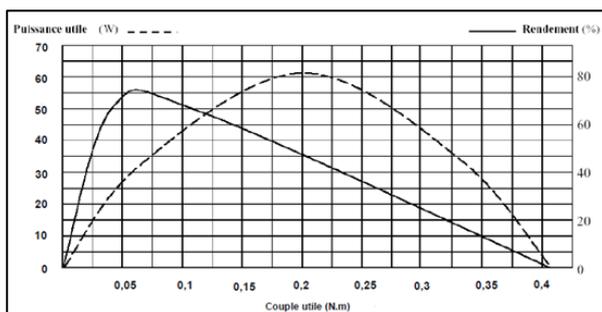


Fig 6 : Courbe constructeur  $P_u(T)$ ,  $\eta(T)$

- Une activité d'analyse et de création pour laquelle les élèves disposent des diagrammes UML et SysML du fauteuil. Les questions du TD les amènent à lire les différents diagrammes. Ils doivent préciser le diagramme utilisé pour trouver la réponse.

Dans un second temps, les élèves doivent concevoir un diagramme d'état (State Diagram) pour la maintenance des motorisations du Fauteuil. Le dossier technique (ressource en anglais) est documenté pour toutes les tâches de maintenance et de vérification sur le fauteuil A200. La figure 7 présente le résultat attendu des élèves.

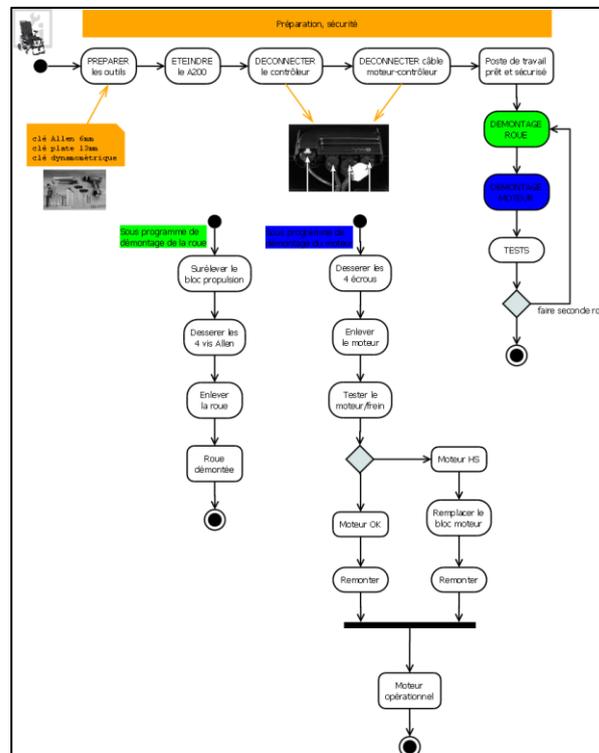


Fig 7 : State Diagram maintenance

##### 4.2.3. TD3 : BarGraph

Le fauteuil est équipé d'un BarGraph pour indiquer l'état de charge des batteries.

Le TD3 propose aux élèves une activité permettant d'établir le lien entre un IBD (Bloc Interne de Définition) et la structure matérielle.

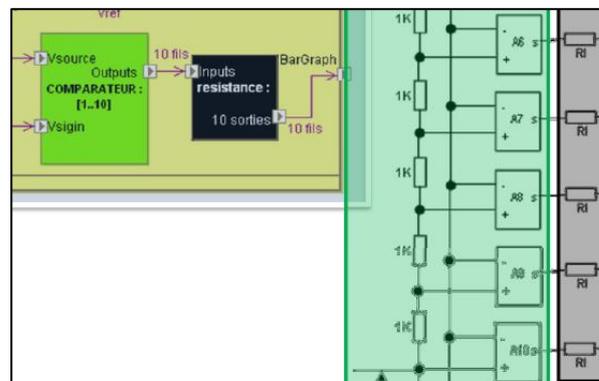


Fig 8 : IBD et structure matérielle

Après avoir identifié les différents éléments, les élèves utilisent leurs connaissances de physique et d'électronique (loi de nœuds, de mailles, pont diviseur de tension, Ampli Op en fonctionnement comparateur) pour calculer les tensions, courant et résistance de ce comparateur à amplificateurs opérationnel.

En fin d'activité, ces calculs sont vérifiés avec un logiciel de simulation (Crococlip, proteus...).

Le TP1 complètera cette étude avec la mise en pratique du circuit électronique.

#### 4.2.4. TD4 : Autonomie des batteries et carte mentale (utilisation de MindView)

Le TD4 est divisé en deux activités distinctes de deux heures.

- Une activité d'étude de l'autonomie des batteries à partir des données constructeurs (électrique et mécanique). Les élèves déterminent l'autonomie des batteries livrées par le fabricant et vérifient si le cahier des charges est bien respecté.
- Une activité de construction de carte heuristique pour le fauteuil A200. Le résultat attendu est donnée en figure 9.

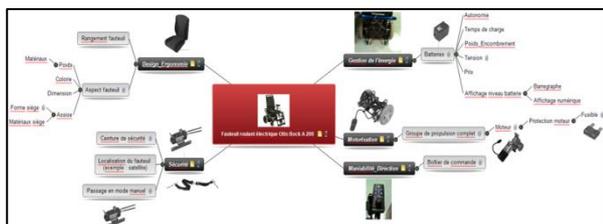


Fig 9 : Mind Map du fauteuil A200

Pour cela, une banque d'images ainsi que des documents constructeurs (notice, schéma, manuel, instruction de service...) au format pdf sont à disposition sur chaque poste de travail (un par élève). La carte doit être documentée afin de pouvoir naviguer dans cette dernière. L'exportation au format html, permet d'utiliser de manière conviviale la production dans un navigateur

#### 4.3. Les travaux pratiques

Les TP permettent aux élèves de mettre en œuvre le travail réalisé pendant les séances de TD.

##### 4.3.1. TP1 : BarGraph, mise en service sur platine Labdec

Chaque élève dispose des composants, d'alimentation et d'appareil de mesure pour réaliser sur platine d'expérimentation le BarGraph étudié dans le TD3.

Pour les élèves en difficultés, un document papier avec l'implantation des composants est disponibles afin de réaliser sur feuille les connections à réaliser.

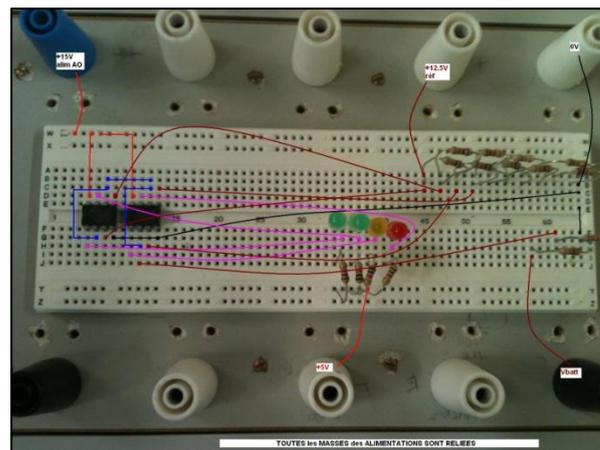


Fig 10 : Platine d'expérimentation câblée

Une fois en service, la tension de la batterie est simulée avec une alimentation réglable stabilisée (30V). Les mesures de tension aux points tests permettent de valider les calculs du TD3.

##### 4.3.2. TP2 : Associations de moteurs et batteries, châssis fauteuil A200

Le châssis d'un fauteuil roulant dépourvu de l'assise et de la commande est utilisé pour cette activité (Fig 11). Seuls deux motoréducteurs sont présents.

Les élèves disposent également de batteries, de boutons poussoirs, de connectique et de fusibles.

Cette activité a pour but de mettre en évidence les différentes associations possibles de batteries et de moteurs afin de se déplacer dans plusieurs directions (tout droit, à droite, à gauche sur soi-même). Pour chaque configuration, les élèves mesurent les tensions et courants (batterie et moteurs). L'alimentation sous 12V au lieu de 24V permet de mettre en évidence l'influence de la tension d'alimentation sur la vitesse. Les différentes charges montrent une consommation de courant dépendante de la masse embarquée.

En fin de TP les élèves doivent proposer un schéma permettant de commander le fauteuil dans les quatre directions. Une fois la solution validée sur logiciel (Schémaplics, proteus, crococlips...), elle est mise en œuvre sur le système (cette étape sera sans doute réalisée uniquement par les élèves les plus rapides).



Fig 11 : Châssis seul, dépourvu d'assise et d'accessoire

#### 4.3.3. TP3 : Chaîne fonctionnelle et IHM de commande, fauteuil A200

L'activité du TP3 est basée sur le fauteuil A200 avec toutes les options (accessoires réglables par commande). Elle se déroule en deux parties.

- L'étude des chaînes d'énergie et d'information qui sont renseignées à partir des observations faites sur le fauteuil ainsi que des documents constructeurs. Pour chaque fonction, le nom, le rôle, les caractéristiques ainsi qu'une image sont attendues dans le compte rendu informatisé de cette activité (Fig 12).

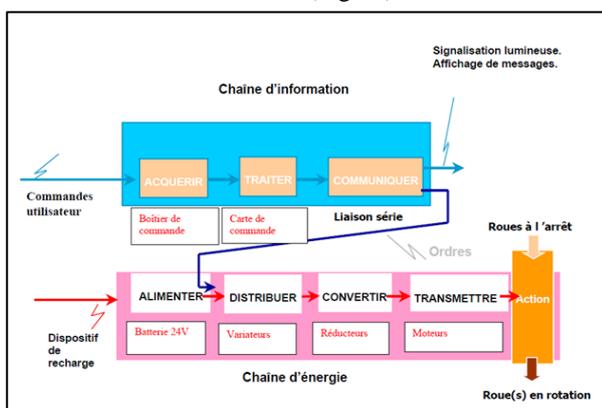


Fig 12 : Chaînes d'énergie et d'information

- La description du fonctionnement de l'IHM de commande (ST diagram) :

En utilisant le fauteuil, les élèves développent un diagramme d'état décrivant le fonctionnement de l'IHM, plus précisément le fonctionnement du joystick et du bouton M (Fig 13).

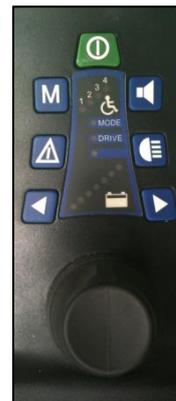


Fig 13 : IHM du fauteuil A200 full option

Celui-ci permet deux fonctionnements, le mode MODE et le mode DRIVE.

Le passage d'un mode à l'autre s'effectue par un appui long (2 secondes). A la mise en route, par défaut, c'est le mode DRIVE qui est en service. C'est le point de départ du travail proposé aux élèves (Fig 14).

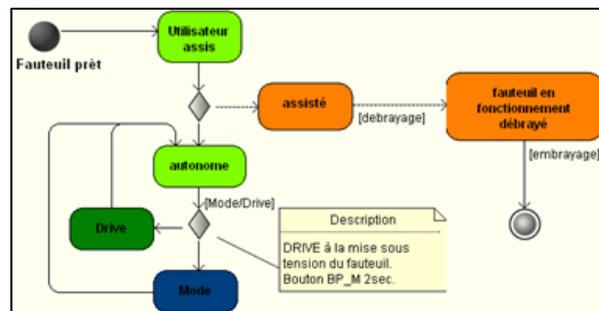


Fig 14 : Passage d'un mode à l'autre, appui long (M)

En mode DRIVE (figure 15), l'utilisateur pilote le fauteuil avec les directions et sélectionne la vitesse avec le bouton M.

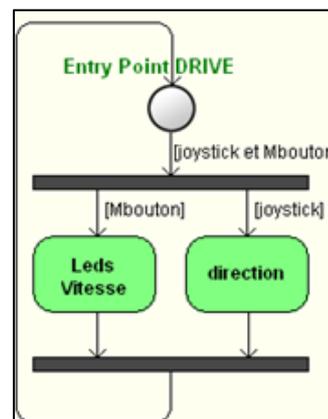


Fig 15 : Diagramme d'état, la commande par joystick DRIVE

En mode MODE (figure 16), l'utilisateur règle les accessoires ; l'assise, l'inclinaison, le repose pied droit, le repose pied gauche sont commandés électriquement. Les leds indiquent l'accessoire sélectionné, haut et bas au joystick permet le réglage. Lorsque le mode MODE est sélectionné, la led 1 s'allume par défaut, c'est donc le réglage de l'assise.

Pour changer d'accessoire à régler, il faut actionner le bouton M ou les directions droite et gauche. La figure 16 illustre le diagramme d'état qui en découle.

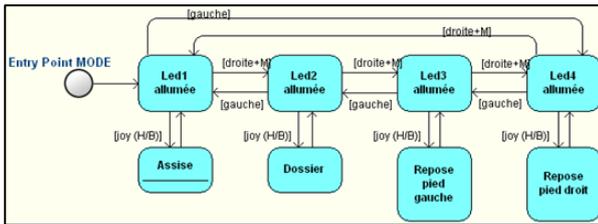


Fig 16 : Diagramme d'état, la commande par joystick MODE

Ces diagrammes d'état sont la base d'une programmation qui pourra être éventuellement développée en spécialité (par exemple, à l'aide sur d'un microcontrôleur).

#### 4.3.4. TP4 : Validation autonomie des batteries, fauteuil A200 didactisé

Composée de deux parties distinctes, cette activité aborde la mise en place de mesures ainsi que la modélisation du fauteuil.



- Les mesures sur le fauteuil didactisé :

L'objectif est de mettre en évidence la consommation lors de l'utilisation du fauteuil ainsi que le rôle du convertisseur statique.

Pour cela, les élèves utilisent une pince de courant (MX200), un voltmètre, un oscilloscope Scopix OX – 7062C (logiciel SX-Metro ou connexion sur le réseau local via le port RJ45), une pince de courant instantanée Fluke i30s.

Un premier essai a été réalisé pour un déplacement à vitesse constante, en régime établi. La mesure des 3 courants (batterie, moteur gauche et moteur droit) nécessite l'utilisation d'un oscilloscope pour mettre en évidence la présence du convertisseur statique ainsi que la commande des deux hacheurs. La figure 17 illustre les résultats obtenus.

Les pinces de courant étant configurées pour 1A/100mV, on constate que le courant consommé par la batterie (CH1) est de 8A et que chaque moteur absorbe 4A.

La fréquence du courant est de 20 kHz, on en conclue que les courants ne sont pas continus et qu'il y a donc un convertisseur (Fonction DISTRIBUER) entre les batteries et les moteurs.

De plus, l'observation des courants des moteurs montre que les commandes sont décalées, ceci dans le but d'obtenir un courant de batterie le plus constant possible.

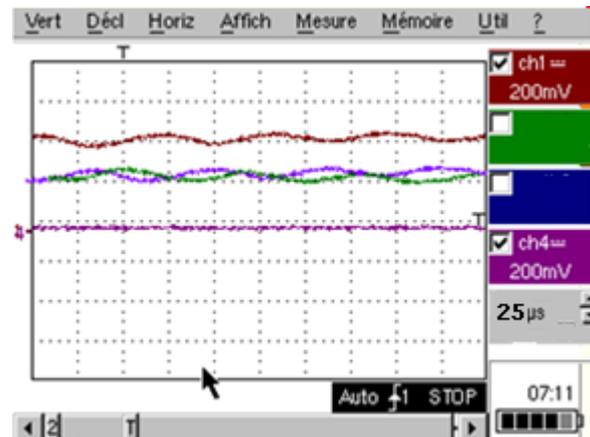


Fig 17 : Oscillogrammes des courants

Dans la phase de démarrage, l'oscillogramme de la figure 18 illustre les évolutions temporelles de la tension et du courant de la batterie.

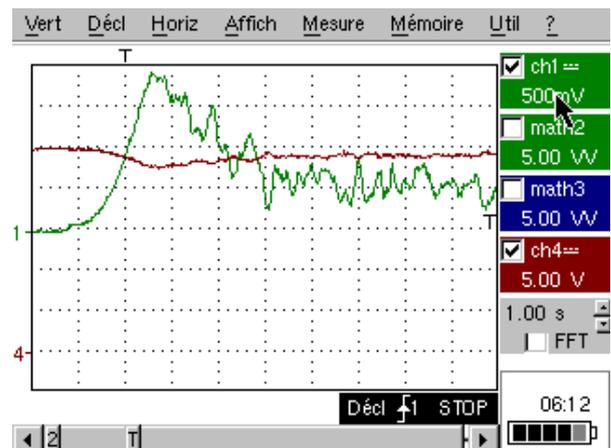


Fig 18 : Tension et courant batterie au démarrage

Le courant au démarrage est d'environ 20A, soit 3 fois le courant en régime établi. La durée de la phase de démarrage est de 4 secondes.

La tension chute lors de la pointe de démarrage et passe de 25V à vide à 22,5V au démarrage pour se stabiliser ensuite autour de 23,5V. Les démarrages successifs impactent donc fortement l'autonomie du fauteuil.

Le système empêche le démarrage si la tension batterie est trop faible car cette dernière s'écroule trop pour pouvoir fournir l'intensité de démarrage.

En marche avant la puissance nécessaire pour un utilisateur de 85 kg est de 165 W (7A sous 23,5V).

D'autres essais permettent de montrer que la consommation est supérieure dans les déplacements circulaires.

- La modélisation du fauteuil sur poste informatique avec les outils Simscape et Simulink de l'environnement Matlab.

La modélisation est partiellement établie. Les élèves identifient dans un premier temps les parties électrique et mécanique (fig 19). Pour compléter la modélisation, les éléments principaux sont ajoutés et configurés à l'aide d'un tutorial (Fig 20).

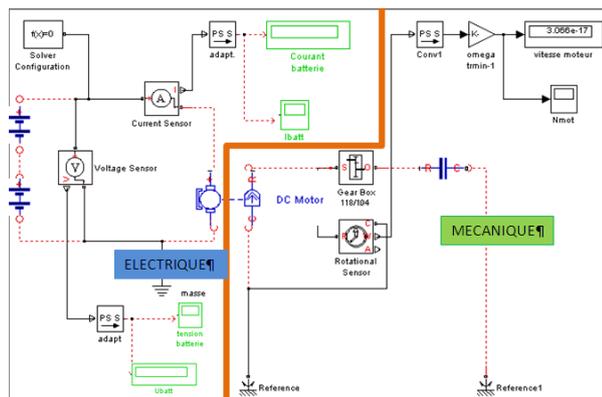


Fig 19 : Modélisation du fauteuil

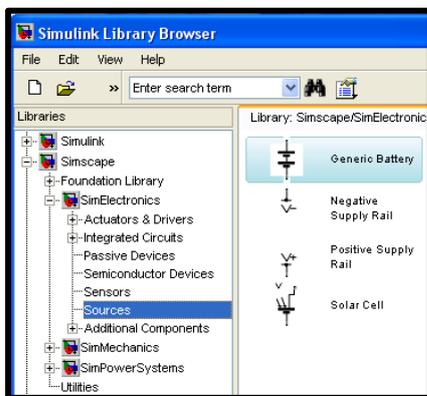


Fig 20 : Insertion des batteries (bibliothèque Simscape)

La simulation (les élèves paramètrent la durée) permet de conclure sur l'autonomie des batteries (Fig 21) et de valider les limites de fonctionnement du système du point de vue de son autonomie.

Par exemple, pour une masse embarquée de 85 kg, le courant obtenu pendant la simulation est de 7A. L'autonomie est définie par une plage de tension dont la valeur basse est égale à 21,6V (2 fois 10,8V pour des batteries Pb).

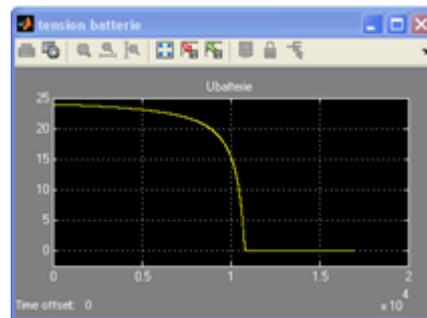


Fig 21 : Tension de la batterie

### 5. Pour débiter avec SimuLink

Dans l'environnement MathWorks, Matlab n'est pas utilisable pour nos élèves. En revanche, Simulink est accessible.

La difficulté principale réside dans l'élaboration du modèle. Ce dernier peut être en partie réalisé par l'enseignant puis complété par les élèves – c'est le parti pris pour notre activité décrite précédemment.

#### Construire le modèle

A l'ouverture du logiciel sélectionner l'icône Simulink. Dans l'environnement Simulink, c'est essentiellement la bibliothèque Simscape qui contient les éléments de simulation des systèmes (Fig 22). A l'adresse suivante, le guide officiel en anglais : [http://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/physmod/simscape/simscape\\_ug.pdf](http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/physmod/simscape/simscape_ug.pdf)

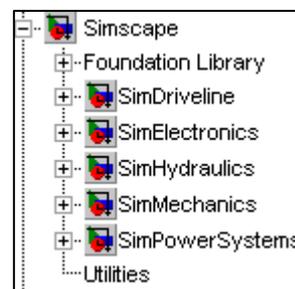


Fig 22 : Bibliothèque Simscape

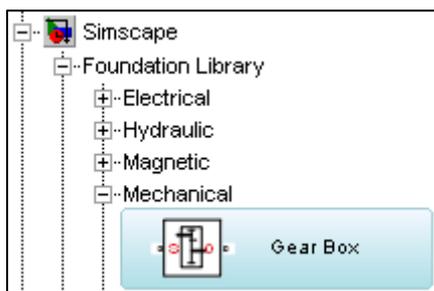
Dans le menu *File*, créer un *nouveau modèle*.

Il suffit maintenant de déposer dans la fenêtre les éléments constitutifs du modèle ainsi que les appareils de mesure.

Exemple pour un moteur et sa charge :

Le modèle du moteur se trouve dans la bibliothèque : *SimElectronics –Actuators and Drives – Rotational Actuators*. Les onglets électrique et mécanique permettent de définir les caractéristiques du moteur.

Pour la charge mécanique, nous avons simplifié le problème en considérant une charge constante. Pour la réduction de vitesse, une GearBox (définir le ratio) est disponible dans la librairie (Fig 23).



F23 : Librairie mécanique : GearBox

La charge est modélisée par un couple résistant de friction dont les paramètres sont définis comme sur la figure 24. Dans notre cas, nous avons fixé le couple  $T_{brk}$  et  $T_c$ , le couple de friction visqueux est considéré nul.

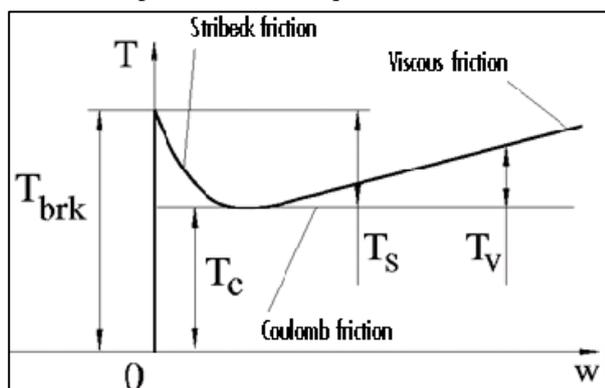


Fig 24 : Description du modèle Rotational Friction

#### Implanter les appareils de mesure et de visualisation

Les capteurs (sensors) sont disponibles pour toutes les grandeurs physiques. Pour visualiser les grandeurs, il faut placer un convertisseur PS-S entre le capteur et l'afficheur ou le scope (Fig 25).

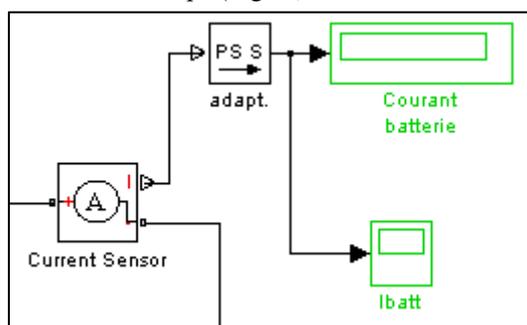


Fig 25 : Afficheur et oscilloscope pour visualiser le courant.

#### Simuler le modèle

Mettre en place le solveur sur le modèle (*Simulink – Simscape – Utilities – Solver Configuration*).

Les paramètres de configuration essentiels à déterminer sont la durée, le pas, la méthode de résolution, la tolérance.

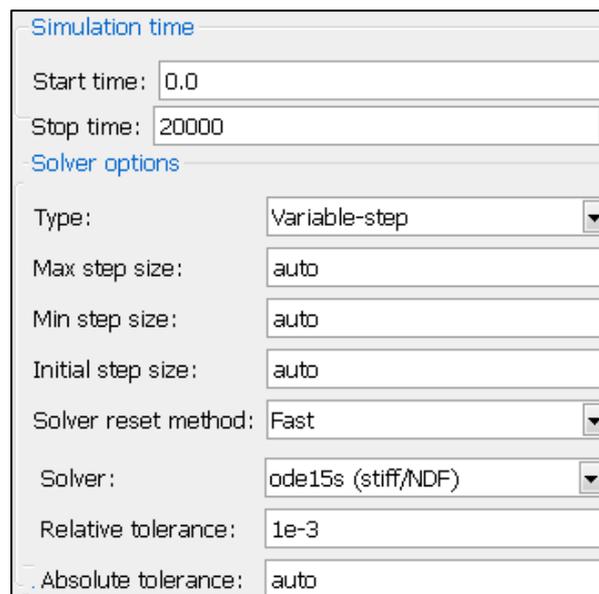


Fig 26 : Extrait des paramètres de simulation

Pendant toute la durée déterminée, les valeurs évoluent dans les afficheurs, les oscillogrammes sont tracés comme dans l'exemple de la figure 21.

## 6. Conclusion

Cette séquence pédagogique est mise en place depuis le début de cette rentrée scolaire au lycée l'Essouriau. Les élèves sont répartis en deux groupes ; 28 élèves en TSTI spécialité SIN et 15 en spécialité EE. Il est encore prématuré de faire le bilan de cette expérience mais un premier retour d'expérience (REX) peut être fait après une séance de travail avec les élèves de chaque classe.

Du point de vue des enseignants, on peut déjà faire plusieurs commentaires sur les travaux pratiques :

- Le TP BarGraph est gourmand en ressource professeur, notamment lorsque les circuits ne fonctionnent pas. Pour cela, le sujet a été remanié. Le sujet invite maintenant les élèves à suivre étape par étape la réalisation du circuit afin de valider les sous parties les unes après les autres.
- Les trois TP avec les fauteuils et châssis restent inachevés. Les élèves sont impliqués mais découvrent le matériel. Les prochaines séances devraient donner satisfaction.

Le ressenti des élèves est plutôt positif. Ils trouvent les travaux proposés intéressants mais ils sont frustrés de ne pas réussir le BarGraph, et restent déçus de ne pas finir le TP3 et TP4. Le TP2 sur la chaîne fonctionnelle paraît être moins intéressant.

# Etude des solutions de compensation du déséquilibre triphasé généré par les lignes d'alimentation des trains TVG dans le réseau THT(très haute tension)

**Anas BENSLIMANE, Mohamed AZIZI, Jamal BOUCHNAIF**

Ecole supérieure de technologie, Laboratoire génie électrique et maintenance, BP 473 complexe universitaire Al Qods Oujda 60 000, Maroc

[anas.benslimane@gmail.com](mailto:anas.benslimane@gmail.com), [azizi@est.ump.ma](mailto:azizi@est.ump.ma), [bouchnaif@est.ump.ma](mailto:bouchnaif@est.ump.ma)

**Résumé :** Le fournisseur de l'énergie électrique, impose aux clients raccordés à son réseau, de ne pas dépasser les taux maximums de perturbations. Ces dernières sont engendrées par les charges électriques polluantes, elles dégradent la qualité de l'énergie. La traction ferroviaire peut effectivement perturber le réseau électrique, particulièrement, les lignes d'alimentation en courant alternatif ( $2 \times 25\text{KV}-50\text{Hz}$ ) des trains TGV. Les principales perturbations causées par l'alimentation des trains TGV sont les harmoniques, la consommation de l'énergie réactive et le déséquilibre.

Cependant, la conception des nouvelles générations des trains à grande vitesse a permis de compenser les harmoniques et l'énergie réactive pour avoir un taux de distorsion d'harmonique très faible ainsi qu'un facteur de puissance proche de l'unité. Mais le problème du déséquilibre causé par le raccordement des sous stations des lignes d'alimentation des trains TGV entre deux phases du réseau très haute tension (THT) persiste encore. Cet article présente, une étude comparative des performances des différentes solutions de compensation du déséquilibre, comme le raccordement en V, le montage Scott, ainsi que la compensation par injection du courant dans le réseau.

## 1. Introduction

Les lignes d'alimentation des trains TGV raccordées au réseau triphasé très haute tension **225KV ou 400KV**, cas de la future ligne à grande vitesse marocaine, sont considérées comme des charges polluantes, qui perturbent les réseaux électriques. Le problème majeur des lignes d'alimentation des trains TGV, est le déséquilibre causé par le raccordement des sous stations entre deux phases du réseau très haute tension (THT).

Dans cet article on va comparer les différentes méthodes de compensation du déséquilibre :

- Le raccordement en V ;
- Le raccordement avec montage SCOTT ;
- La compensation par injection de courant.

## 2. Sous station des lignes d'alimentation des trains TGV

Les sous-stations d'alimentation ont pour objet d'alimenter les trains TGV, par l'intermédiaire de la caténaire, le feeder et les rails, à partir de l'énergie fournie par le réseau THT.

Dans le cas général, le transformateur d'une sous station TGV se raccorde à 2 phases du réseau THT.

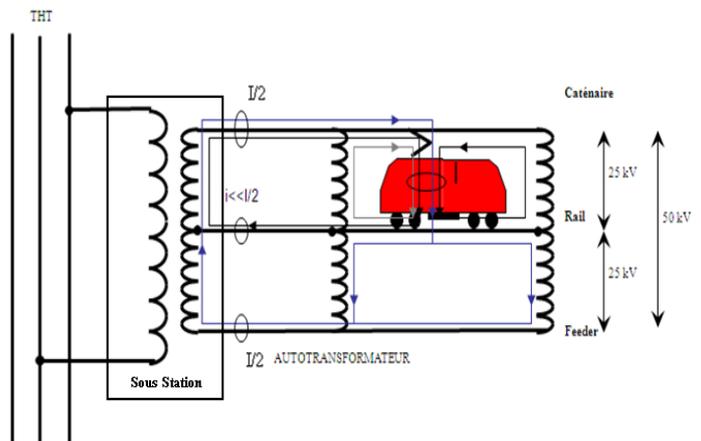


Figure 1 : Système d'électrification des lignes d'alimentation des trains TGV ( $2 \times 25\text{KV}-50\text{Hz}$ ).

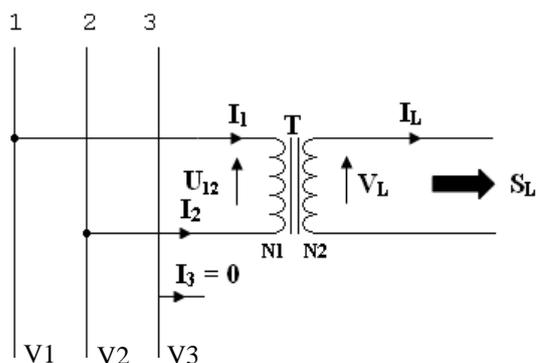


Figure 2 : Raccordement d'une sous station à 2 phases du réseau THT

- $I_{1,2,3}$  : courant dans les trois phases ;
- $U_{12}$  : tension entre phases (1,2) ;
- $V_L$  : tension d'alimentation de la ligne ;
- $I_L$  : courant consommé par la ligne ;
- $S_L$  : puissance apparente transmise par la sous station à la ligne du TGV.

### 3. Etude du déséquilibre en courant dans le cas du raccordement d'une sous station TGV à 2 phases du réseau triphasé

Le prélèvement d'une puissance sur deux phases d'un réseau triphasé conduit à un déséquilibre de courant sur ce réseau. Ce déséquilibre se traduit par la circulation de courants – décomposables en composantes directes, inverses et homopolaires – entraînant l'apparition de tensions inverses dans des différents points du réseau.

#### 3.1 Degré de déséquilibre

On quantifie le déséquilibre d'un système triphasé par le degré de déséquilibre (ou degré de dissymétrie), en courant ou en tension, défini comme le rapport des valeurs efficaces, ou des amplitudes, de la composante inverse sur la composante directe (déséquilibre inverse), ou/et de la composante homopolaire sur la composante directe (déséquilibre homopolaire) :

$$\tau_i = \frac{|X_i|}{|X_d|} \quad \text{et} \quad \tau_o = \frac{|X_o|}{|X_d|} \quad (1)$$

Avec :

$X_i$  : composante inverse de courant ou tension ;

$X_d$  : composante directe de courant ou tension ;

$X_o$  : composante homopolaire de courant ou

tension ;

Les composantes directe, inverse et homopolaire, sont déterminées par la transformation de Fortescue.

$$\begin{bmatrix} X_o \\ X_d \\ X_i \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \quad \text{Avec } a = e^{j\frac{2\pi}{3}} \quad (2)$$

#### 3.2 Hypothèses

Les hypothèses fixées pour cette étude sont les suivantes :

- **Hypothèse 1** : Le fournisseur de l'énergie garantit aux clients raccordés au réseau triphasé THT des tensions triphasées avec un taux de déséquilibre et d'harmonique très faible. L'influence des autres charges est négligeable, car la sous station TGV représente la charge la plus importante au point de vue puissance. Ce qui nous permet de supposer que les tensions au point de raccordement de la sous station sont équilibrées,

directes, et sinusoïdales de même fréquence (pas d'harmoniques);

- On prend  $V_1$  comme référence des phases

$$\begin{cases} V_1 = V \\ V_2 = a^2 V_1 \\ V_3 = a V_1 \end{cases} \implies \begin{cases} U_{12} = \sqrt{3}V e^{j\frac{\pi}{6}} \\ U_{23} = \sqrt{3}V e^{j\frac{-\pi}{2}} \\ U_{31} = \sqrt{3}V e^{j\frac{5\pi}{6}} \end{cases} \quad (3)$$

• **Hypothèse 2** : La distance entre la sous station TGV et le point de raccordement au réseau THT est négligeable. Ce qui permet de négliger l'impédance de ligne entre le point de raccordement et la sous-station.

• **Hypothèse 3** : Le transformateur de la sous station est supposé idéal.

• **Hypothèse 4** : Les rames TGV alimentées par la sous station ont un  $\cos\phi \approx 1$  et un THD  $\approx 0\%$ . Ce qui nous permet de supposer que le courant consommé par la sous station est en phase avec la tension et ne contient pas d'harmoniques.

#### 3.3 Calcul du degré de déséquilibre causé par le raccordement d'une sous station TGV entre 2 phases du réseau triphasé

Le branchement de la sous station entre deux phases du réseau triphasé, conduit à un déséquilibre au niveau des courants, ce qui génère des perturbations dans le réseau de transport d'électricité. C'est le cas d'une charge monophasé branchée entre deux phases du triphasé.

D'après le schéma du raccordement entre 2 phases (Figure 2). Les courants au point de raccordement sont :

$$I_1 = -I_2 \quad \text{et} \quad I_3 = 0 \quad (4)$$

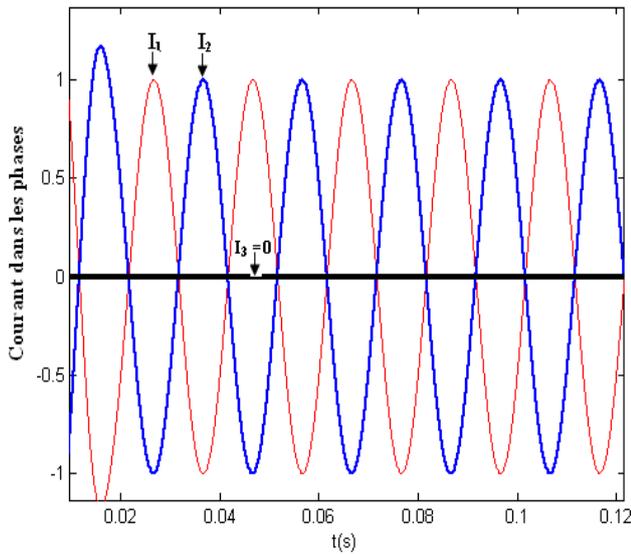
Pour calculer le degré du déséquilibre en courant, il faut tout d'abord déterminer les composantes symétriques de courant en utilisant la transformation de Fortescue (2), on trouve :

$$I_i = \sqrt{3}/3 I_1 e^{j\pi/6}, \quad I_d = \sqrt{3}/3 I_1 e^{-j\pi/6}, \quad I_o = 0 \quad (5)$$

Donc on conclut que les taux de déséquilibre inverse et homopolaire sont :

$$\tau_i = \frac{|I_i|}{|I_d|} = 1 = 100\% \quad \text{et} \quad \tau_o = \frac{|I_o|}{|I_d|} = 0\% \quad (6)$$

La figure 3 représente la forme temporelle des courants dans les phases. Les courants sont représentés en valeur réduite.


**Figure 3** : Courants dans les phases

Ce raccordement génère un déséquilibre inverse de 100%, la composante inverse du courant circulant dans le réseau est très importante. La composante homopolaire est nulle car le neutre n'est pas utilisé dans le branchement des sous stations TGV.

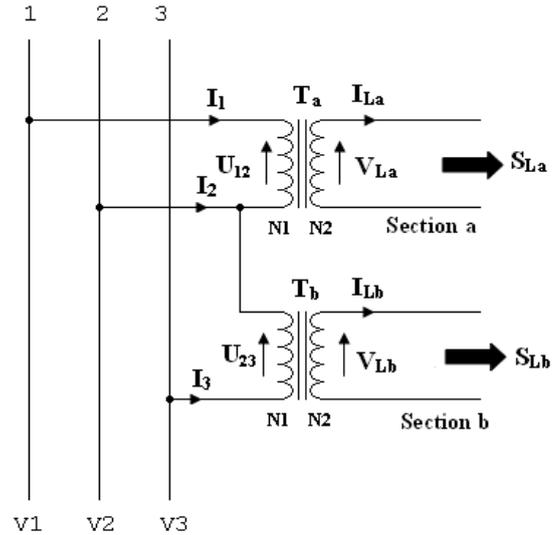
Les différentes solutions qui permettent de compenser ce déséquilibre seront présentées par la suite.

#### 4. Techniques conventionnelles de compensation du déséquilibre

On se limite à deux techniques couramment utilisées dans le domaine ferroviaire, qui sont :

##### 4.1 Raccordement en V

Cette méthode consiste à brancher deux transformateurs monophasés de puissance nominale  $S_n/2$  à la place d'un seul transformateur de puissance  $S_n$ , sur deux phases différentes et une phase commune du réseau THT. Chaque secondaire alimente une section, qui est une portion de ligne indépendante électriquement. La section (a) de la ligne d'alimentation des rames TGV, consomme une puissance apparente  $S_{La}$ , la section (b) consomme une puissance apparente  $S_{Lb}$ . Dans ce cas la puissance apparente  $S_L$  totale de la ligne TGV est répartie sur les deux transformateurs.


**Figure 4** : Raccordement en V d'une sous station

- $I_{1,2,3}$  : courant dans les trois phases ;
- $U_{12}$  : tension entre phases (1,2) ;
- $V_{La,b}$  : tensions d'alimentation des deux sections (a et b) ;
- $I_{La,b}$  : courants consommés par les deux sections (a et b) ;
- $S_{La,b}$  : puissances apparentes transmises aux deux sections (a et b) ;

##### 4.1.1 Etude du déséquilibre

###### 4.1.1.1 Courants dans les trois phases

D'après le schéma du raccordement en V (Figure 4). Les courants au point de raccordement sont :

$$\begin{cases} I_1 = -I_{La} \frac{N_2}{N_1} \\ I_2 = -(I_1 + I_3) = I_{La} \frac{N_2}{N_1} - I_{Lb} \frac{N_2}{N_1} \\ I_3 = I_{Lb} \frac{N_2}{N_1} \end{cases} \quad (7)$$

###### 4.1.1.2 Calcul du degré de déséquilibre

Le calcul du degré de déséquilibre (2) et (1), donne :

$$\begin{cases} I_d = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{N_2}{N_1} (I_{Lb} e^{-j\frac{\pi}{2}} - I_{La} e^{-j\frac{\pi}{6}}) \\ I_i = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{N_2}{N_1} (I_{Lb} e^{j\frac{\pi}{2}} - I_{La} e^{j\frac{\pi}{6}}) \\ I_o = 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\tau_i = \frac{|I_i|}{|I_d|} = \frac{|I_{Lb} e^{j\frac{\pi}{2}} - I_{La} e^{j\frac{\pi}{6}}|}{|I_{Lb} e^{-j\frac{\pi}{2}} - I_{La} e^{-j\frac{\pi}{6}}|} \quad \tau_o = \frac{|I_o|}{|I_d|} = 0\% \quad (9)$$

On peut exprimer les courants ( $I_{La}$ ,  $I_{Lb}$ ) en fonction des puissances apparentes consommées par les deux sections :

$$\begin{cases} I_{La} = \left(\frac{S_{La}}{V_{La}}\right)^* = \frac{N_1}{N_2} \left(\frac{S_{La}}{U_{12}}\right)^* = \frac{N_1 S_{La}}{N_2 \sqrt{3} V} e^{j\frac{\pi}{6}} \\ I_{Lb} = \left(\frac{S_{Lb}}{V_{Lb}}\right)^* = \frac{N_1}{N_2} \left(\frac{S_{Lb}}{U_{23}}\right)^* = \frac{N_1 S_{Lb}}{N_2 \sqrt{3} V} e^{j\frac{-\pi}{2}} \end{cases} \quad (10)$$

On calcule le taux de déséquilibre dans deux cas extrêmes :

• **Cas 1** : trafic de circulation des trains TGV dans les deux sections (a,b) est équilibré ( $S_{La} = S_{Lb}$ ).

• **Cas 2** : absence, de circulation des trains TGV dans l'une des deux sections ( $S_{La} = 0 \Rightarrow I_{La} = 0$  ou  $S_{Lb} = 0 \Rightarrow I_{Lb} = 0$ ).

4.1.1.3 Cas 1 : trafic équilibré ( $S_{La} = S_{Lb}$ )

Dans le cas où les puissances apparentes dans les deux sections sont identiques,  $S_{La} = S_{Lb}$  on obtient :

$$I_{La} = I_{Lb} e^{j\frac{2\pi}{3}} \Rightarrow \tau_i = 50\% \quad (11)$$

La figure suivante représente la forme temporelle des courants dans les phases pour un trafic de circulation équilibré.

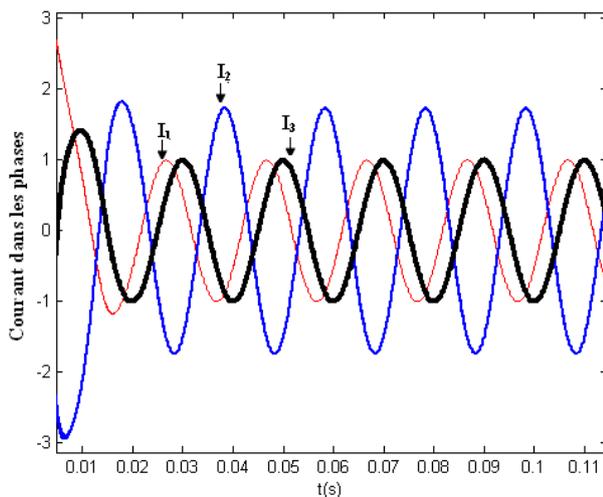


Figure 5 : Courants dans les phases pour un trafic de circulation équilibré.

4.1.1.4 Cas 2 : absence, de circulation de TGV dans l'une des deux sections ( $S_{La} = 0$  ou  $S_{Lb} = 0$ )

Dans ce cas le taux de déséquilibre inverse atteint 100% (même cas que celui de (3.3)) :

$$\tau_i = \frac{|I_{Lb}|}{|I_{La}|} \text{ ou } \frac{|I_{La}|}{|I_{Lb}|} = 1 = 100\% \quad (12)$$

On conclut que le raccordement en V peut réduire la composante inverse du courant jusqu'à 50%, si les puissances sont bien réparties entre les deux sections.

4.2 Raccordement avec montage Scott

Le montage Scott est réalisé par deux transformateurs monophasés, le premier est connecté à deux phases du triphasé, le second est connecté au point milieu du premier et à l'autre phase libre du triphasé.

Les rapports de transformation du premier transformateur et du second transformateur sont :

$$m_1 = \frac{N_2}{N_1}; \quad m_2 = \frac{N_2}{N_1} \frac{2}{\sqrt{3}}$$

Les deux secondaires du montage Scott, alimentent deux sections indépendantes de la ligne du TGV (la section (a) consomme une puissance apparente  $S_{La}$ , la section (b) consomme une puissance apparente  $S_{Lb}$ ).

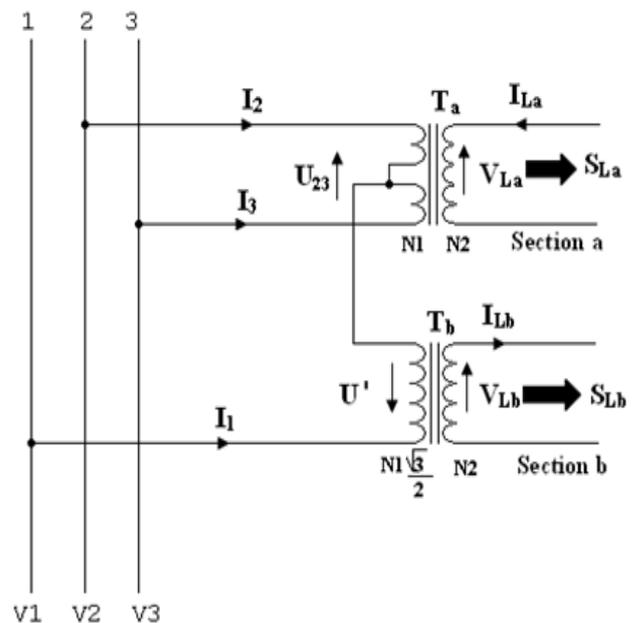


Figure 6 : Montage Scott d'une sous station TGV

Les tensions secondaires des deux transformateurs sont déphasées de  $\pi/2$  :

- $V_{La} = -N_2/N_1 U_{23} \Rightarrow V_{La} = N_2/N_1 \sqrt{3} V e^{j\pi/2}$
- $U' = -(U_{31} + U_{23}/2) = -3/2 V \Rightarrow V_{Lb} = N_2/N_1 \sqrt{3} V$

$$V_{La} = V_{Lb} e^{j\pi/2} \quad (13)$$

4.2.1 Calcul des courants dans les trois phases

Dans le cas où le raccordement est réalisé par le montage Scott, les relations entre les courants primaires ( $I_1, I_2, I_3$ ) et secondaires ( $I_{La}, I_{Lb}$ ) sont indiquées en suivant :

$$\begin{cases} I_1 = I_{Lb} \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{N_2}{N_1} \\ I_2 = -I_{Lb} \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{N_2}{N_1} - I_{La} \frac{N_2}{N_1} \\ I_3 = -I_{Lb} \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{N_2}{N_1} + I_{La} \frac{N_2}{N_1} \end{cases} \quad (14)$$

#### 4.2.2 Calcul du degré de déséquilibre

Les composantes symétriques des courants primaires sont :

$$\begin{cases} I_d = \sqrt{3} \frac{N_2}{N_1} (I_{Lb} - jI_{La}) \\ I_i = \sqrt{3} \frac{N_2}{N_1} (I_{Lb} + jI_{La}) \\ I_o = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Les taux de déséquilibre inverse et homopolaire sont :

$$\tau_i = \frac{|I_i|}{|I_d|} = \frac{|I_{Lb} + jI_{La}|}{|I_{Lb} - jI_{La}|} \quad \tau_o = \frac{|I_o|}{|I_d|} = 0\% \quad (16)$$

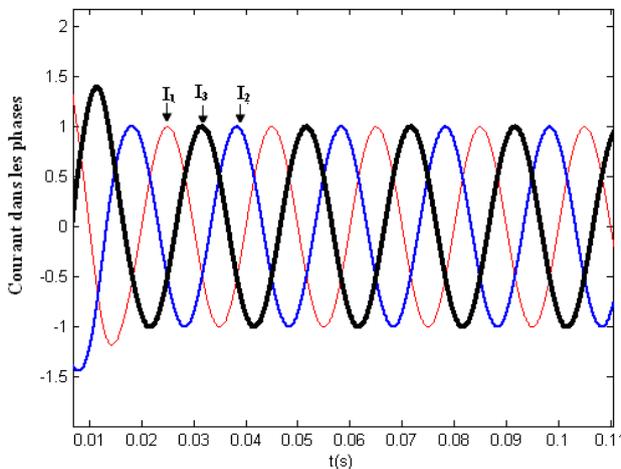
On peut exprimer les courants ( $I_{La}$ ,  $I_{Lb}$ ) en fonction des puissances apparentes consommées par les deux sections :

$$\begin{cases} I_{La} = \left(\frac{S_{La}}{V_{La}}\right)^* \\ I_{Lb} = \left(\frac{S_{Lb}}{V_{Lb}}\right)^* \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{La} = \frac{S_{La} N_1}{N_2 \sqrt{3} V} e^{j\frac{\pi}{2}} \\ I_{Lb} = \frac{S_{Lb} N_1}{N_2 \sqrt{3} V} \end{cases} \quad (17)$$

Si le trafic de circulation des trains TGV est équilibré entre les deux sections ( $S_{La} = S_{Lb}$ ), on obtient :

$$I_{La} = I_{Lb} e^{j\frac{\pi}{2}} \Rightarrow \tau_i = 0\% \quad (18)$$

La figure 7 représente la forme temporelle des courants dans les phases.



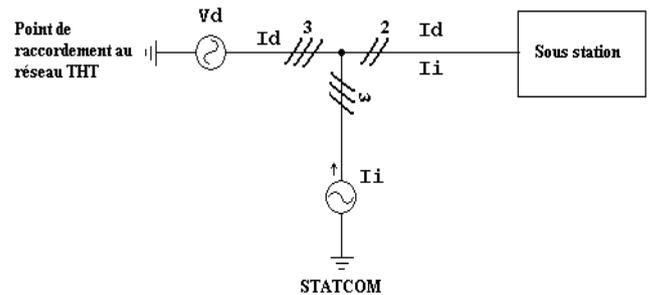
**Figure 7 :** Courants dans les phases pour un trafic de circulation équilibré.

S'il y a absence de circulation de TGV dans l'une des deux sections ( $S_{La} = 0$  ou  $S_{Lb} = 0$ ), le taux de déséquilibre inverse est 100%.

On conclut que le montage Scott peut annuler la composante inverse du courant si les puissances sont bien réparties entre les deux sections.

### 5. Technique de compensation moderne (compensation par injection de courant)

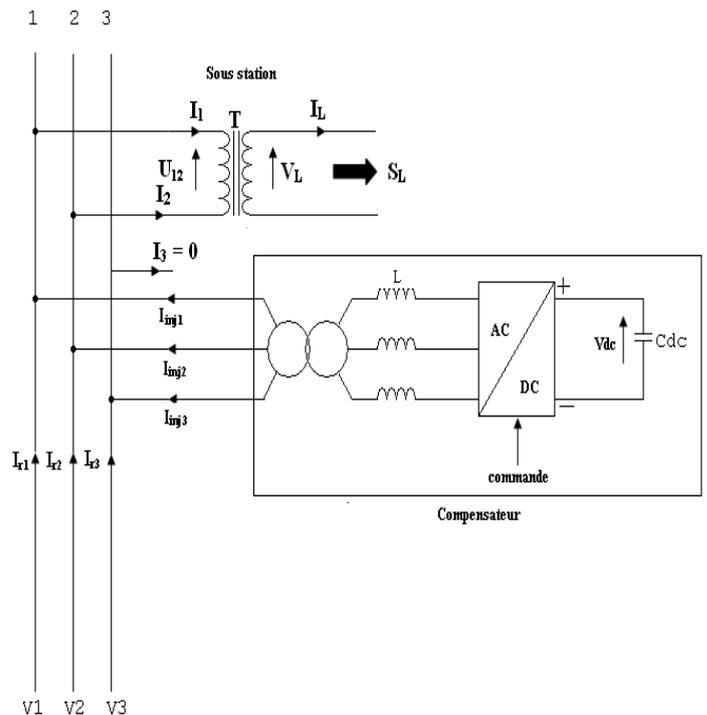
Cette technique consiste à injecter au point de raccordement, les composantes supplémentaires du courant en raccordant une source de courant triphasé en parallèle avec le réseau. Pour équilibrer le réseau en courant, il faut compenser seulement la composante inverse. La composante homopolaire est déjà nulle, car la sous station se raccorde à deux phases.



**Figure 8 :** Schémas de principe pour compenser la composante inverse, par une source de courant.

#### 5.1 Compensation par injection de courant

L'injection de courant dans le réseau, se fait généralement, par un STATCOM à base d'onduleur de tension, connecté au réseau par l'intermédiaire d'un transformateur d'adaptation et d'une self de lissage triphasée. La figure 9 présente la structure du compensateur pour une sous station raccordée en monophasé :



**Figure 9 :** Structure d'un compensateur à base d'onduleur de tension.

L'ensemble (compensateur + sous station) représente pour le réseau une charge triphasé qui consomme des courants triphasé équilibrés ( $I_{r1}, I_{r2}, I_{r3}$ ).

5.2 Détermination des courants injectés

Pour équilibrer le réseau, le compensateur doit compenser seulement la composante inverse  $I_i$  au plus près de la sous station.

Le courant injecté par le compensateur, contient seulement la composante inverse :

$$\begin{cases} I_{inj,i} = I_i \\ I_{inj,d} = 0 \\ I_{inj,o} = 0 \end{cases} \quad (19)$$

En utilisant la transformation de Fortescue inverse :

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_d \\ X_i \\ X_o \end{bmatrix} \quad (20)$$

On trouve que les courants qu'on doit injecter dans les trois phases sont :

$$\begin{cases} I_{inj,1} = I_i \\ I_{inj,2} = aI_i \\ I_{inj,3} = a^2I_i \end{cases} \quad (21)$$

Dans le cas où la sous station est raccordée en monophasé  $I_i = \sqrt{3}/3 I_1 e^{j\pi/6}$ , donc :

$$\begin{cases} I_{inj,1} = \frac{\sqrt{3}}{3} I_1 e^{j\pi/6} \\ I_{inj,2} = \frac{\sqrt{3}}{3} I_1 e^{j5\pi/6} \\ I_{inj,3} = \frac{\sqrt{3}}{3} I_1 e^{j3\pi/2} \end{cases} \quad (22)$$

Avec :

$I_1$  : courant consommé par la sous station en raccordement monophasé.

En appliquant la loi des nœuds dans les trois phases (figure 9), on trouve que le système des courants au point de raccordement est équilibré et direct.

$$\begin{cases} I_{r1} = \frac{\sqrt{3}}{3} I_1 e^{-j\pi/6} \\ I_{r2} = \frac{\sqrt{3}}{3} I_1 e^{j7\pi/6} \\ I_{r3} = \frac{\sqrt{3}}{3} I_1 e^{j\pi/2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{rd} = I_{r1} \\ I_{ri} = 0 \\ I_{ro} = 0 \end{cases} \Rightarrow \tau_i = \tau_o = 0\% \quad (23)$$

La figure 10 représente la forme temporelle des courants dans les phases au point de raccordement ( $I_{r1}, I_{r2}, I_{r3}$ ) en valeur réduite par rapport à l'amplitude du courant  $I_1$ .

Cette technique permet d'obtenir des courants équilibrés dans le réseau  $\tau_i = 0\%$  quel que soit le trafic de circulation des TGV.

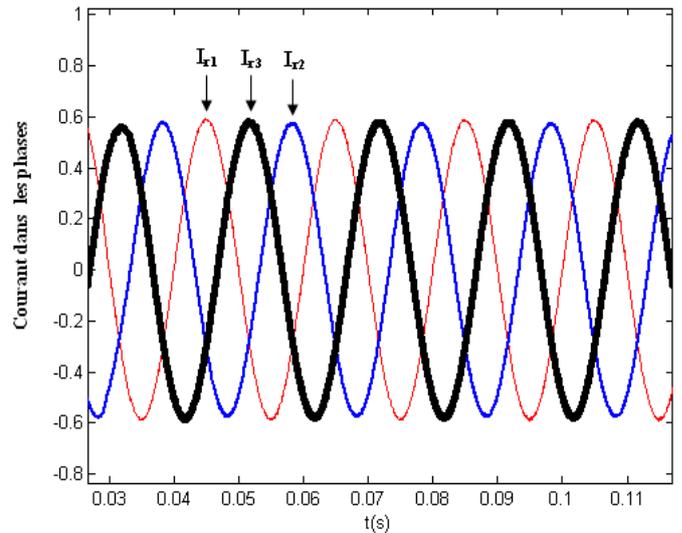


Figure 10 : Courants dans les phases

6. Evaluation des performances de chaque technique

Pour évaluer les performances des techniques de compensation du déséquilibre présentées précédemment, on doit comparer le taux de déséquilibre inverse obtenu par chaque technique. Le tableau suivant résume les résultats trouvés auparavant :

Techniques	Trafic de circulation des TGVs	Taux de déséquilibre inverse
Raccordement en V	Equilibré entre les 2 sections ( $S_{La} = S_{Lb}$ )	$\tau_{i,min} = 50\%$
	Absence de circulation dans l'une des 2 sections ( $S_{La} = 0$ ou $S_{Lb} = 0$ )	$\tau_{i,max} = 100\%$
Raccordement avec montage Scott	Equilibré entre les 2 sections ( $S_{La} = S_{Lb}$ )	$\tau_{i,min} = 0\%$
	Absence de circulation dans l'une des 2 sections ( $S_{La} = 0$ ou $S_{Lb} = 0$ )	$\tau_{i,max} = 100\%$
Compensation par STATCOM	Quel que soit le trafic	$\tau_i = 0\%$

## 7. Conclusion

Les techniques conventionnelles d'alimentation des sous stations TGV permettent une compensation de déséquilibre au détriment d'une gestion très robuste du trafic des trains TGV. Par contre la technique de compensation par STATCOM permet d'obtenir des meilleurs résultats indépendamment du trafic ferroviaire.

## 8. Bibliographie

[1] : **Hung-Yuan Kuo and Tsai-Hsiang Chen** « Rigorous Evaluation of the Voltage Unbalance Due to High-Speed Railway Demands » IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 47, NO. 4, NOVEMBER 1998, pp 1385-1389

[2] : **Tsai-hsiang chen** « Simplified Models of Electric Railway Substations for Three-phase Power-Flow Studies », 0-7803-1993-1/94 \$4.00 Q 1994 IEEE, pp 2245-2248

[3] : **Hooman Erfanian Mazin and Wilsun Xu\*** « Harmonic cancellation characteristics of specially connected transformers » Electric Power Systems Research 79 (25 August 2009) pp 1689–1697

[4] **T. H. Chen**, “Comparison of Scott and Leblanc transformers for supplying unbalanced electric railway demands,” *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 28, no. 3, pp. 235–240, Jan. 1994.

[5] **T. H. Chen**, “Criteria to estimate the voltage unbalances due to high-speed railway demands,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 9, pp. 1672–1678, Aug. 1994.

[6] **T. H. Chen and H. Y. Kuo**, “Network modeling of traction substation transformers for studying unbalance effects,” *Proc. Inst. Elect. Eng.*, vol. 142, no. 2, pp. 103–108, 1995.

[7] **Shi-Lin Chen, Ray-Jong Li, and Pao-Hsiang Hsi** « Traction System Unbalance Problem—Analysis Methodologies » IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 19, NO. 4, OCTOBER 2004, pp 1877-1883.

[8] **Wen-Shyan. Chu, Jyh-Cherng. Gu** « a new hybrid svc scheme with scott transformer for balance improvement » Proceedings of JRC2006, Joint Rail Conference, April 4-6, 2006, Atlanta, GA, USA, pp 217-224.

[9] **Cheng-Ping Huang, Chi-Jui Wu, Yung-Sung Chuang, Shih-Kai Peng, Jung-Liang Yen, and Ming-Hong Han** « Loading Characteristics Analysis of Specially Connected Transformers Using Various Power Factor Definitions » IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 21, NO. 3, JULY 2006, pp 1406-1413.

# Historique de la production éolienne et photovoltaïque en Allemagne et analyse détaillée sur le premier semestre et le mois de juin 2012

**Bernard CHABOT**

BCCONSULT, Garbejaire B107, 06560 VALBONNE. E-mail : bechabot@wanadoo.fr

**Résumé :** L'Allemagne a développé un parc très important de production d'électricité par sources d'énergies renouvelables (E-SER), notamment éolien (29 GW fin 2011) et photovoltaïque (PV, 27 GW fin avril 2012). L'analyse des productions de ces deux sources d'E-SER variables permise par la mise à disposition de leurs données détaillées permet déjà de tirer des enseignements et des conclusions qui seront utiles pour les développeurs de projets d'E-SER, les exploitants des réseaux électriques et enfin les décideurs en charge du développement à grande échelle de l'E-SER dans le cadre de l'application de la directive Energies Renouvelables (ER). Cette analyse et les conclusions qu'elle permet déjà de tirer portent ici notamment sur les productions éoliennes et PV horaires, journalières et mensuelles sur la période de janvier à juin 2012 et sur les différences et les complémentarités entre ces deux filières.

## 1. Introduction

L'Allemagne a développé sa production d'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables (E-SER) depuis notamment sa loi énergies renouvelables (ER) d'avril 2000 et leur contribution (y compris la grande hydroélectricité) était déjà de 20,1 % de la demande intérieure d'électricité en 2011. Elle devrait atteindre 35 % en 2020 dans le cadre du plan Allemand d'application de la directive ER d'avril 2009 [1]. La politique de « transition énergétique » (Energiewende) décidée par le gouvernement Allemand en fin 2011 vise par ailleurs à porter la part de l'E-SER à 80 % de la consommation d'électricité en 2050. La figure 1 résume cet historique et ces objectifs.

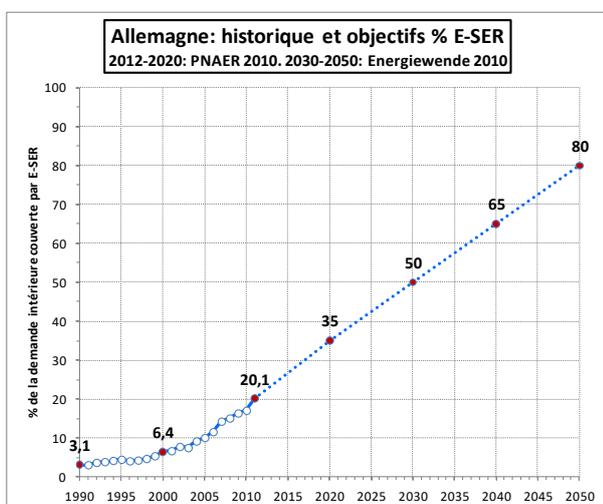


Figure 1: Historique et objectifs de la part de la demande intérieure d'électricité Allemande couverte par l'E-SER

En comparaison, la part de l'E-SER en France était de 14,6 % en 2010, alors que selon la directive ER de 2001 [2] elle aurait dû être de 21 % cette année là. Le plan Français d'application de la directive ER 2009 (PNAER) vise à une contribution de 27 % de l'E-SER en 2020, à partir notamment de 25 GW d'éolien (19 GW à terre et 6 GW en mer) et de 5,4 GW de photovoltaïque (PV). Ces objectifs sont à comparer à ceux des parcs installés en France en fin 2011 : 6,64 GW pour l'éolien et de 2,23 GW pour le PV.

Les figures 2 et 3 indiquent pour information les différences d'objectifs d'E-SER en France et en Allemagne pour appliquer le directive ER de 2009, en kWh par habitant et par an pour réduire l'impact des différences démographiques entre les deux pays.

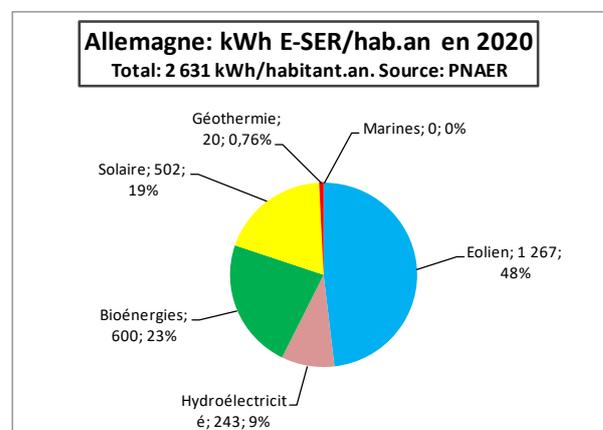


Figure 2 : objectifs d'E-SER en Allemagne selon le Plan National d'Application de la directive ER

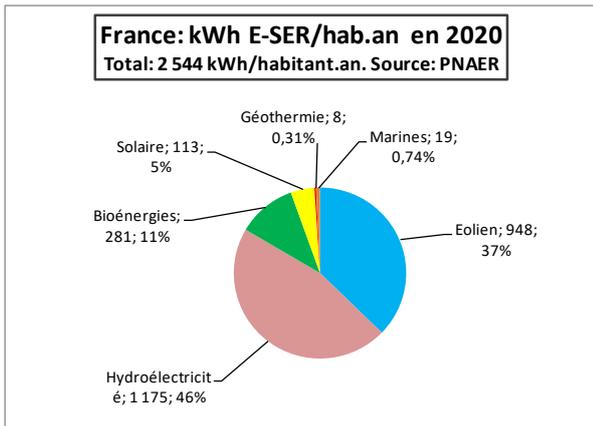


Figure 3 : objectifs d'E-SER en France selon le Plan National d'Application de la directive ER

## 2. Historique de l'E-SER en Allemagne

La figure 4 résume à partir des données de la référence [3] la croissance forte des parcs d'E-SER en GW installés à la fin de chaque année depuis 1990.

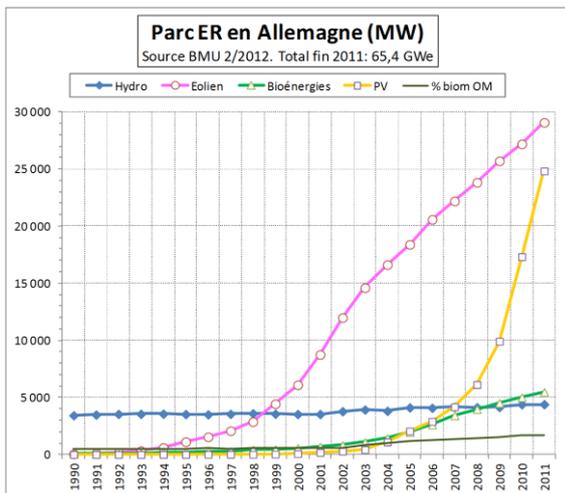


Figure 4 : Progression de la puissance installée (MW) des parcs d'E-SER en Allemagne

On note l'accélération du développement de l'éolien dès les années 90 du fait des premiers tarifs garantis décidés en 1991 (80 % du tarif de l'électricité domestique pour toutes les filières ER) puis de la loi ER (loi « EEG ») d'avril 2000 qui a défini des tarifs adaptés à chaque filière, ceux pour l'électricité photovoltaïque ayant été portés en 2004 à un niveau permettant son décollage rapide.

La figure 5 résume les productions d'E-SER par filières.

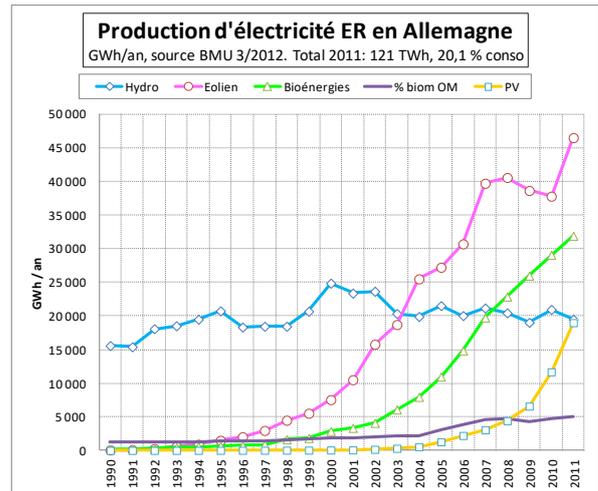


Figure 5 : Progression de la production (GWh/an) d'E-SER depuis 1990

## 3. La production éolienne et PV au premier semestre 2012

Les figures 6 et 7 ci-dessous résument les productions et les parts relatives de toutes les installations éoliennes et PV Allemandes, ainsi que celles des centrales conventionnelles (grande hydraulique, thermique à flamme et nucléaire) de plus de 100 MW disponibles sur le site de la bourse de l'électricité de Leipzig [4]. Les données sur la demande intérieure d'électricité, la cogénération de moins de 100 MW et celles des autres ER n'étant pas publiées, le total de ces trois types de production sera pris ici comme référence pour calculer un « taux de pénétration » de l'éolien et du PV spécifique à cette analyse et qu'il ne faudra pas confondre avec un taux de couverture de la demande intérieure d'électricité. Les données de production par pas de 15 minutes ou horaires sont fournies par les quatre gestionnaires des réseaux de transport d'électricité Allemands, et celles des productions éoliennes et PV sont fiables car elles sont reliées aux paiements des tarifs garantis accordés à la production d'E-SER dans le cadre de la loi EEG.

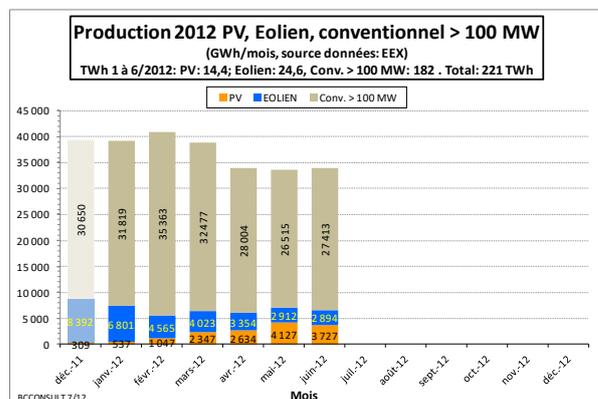


Figure 6 : Productions (GWh) d'électricité en 2012

Les valeurs pour décembre 2011 sont indiquées pour mémoire mais n'interviennent bien sûr pas dans les chiffres récapitulatifs du premier semestre 2012 qui figurent dans les titres encadrés de ces figures. **Au total, l'éolien aura contribué à 11,13 % et le PV à 6,54 % des 221 TWh produits en 6 mois par ces trois types de centrales et 17,67 % en les combinant.** La production éolienne a été maximale en janvier et celle du PV en mai, comme leur production combinée. La production combinée minimale a eu lieu en février, peu venté par rapport à décembre et février.

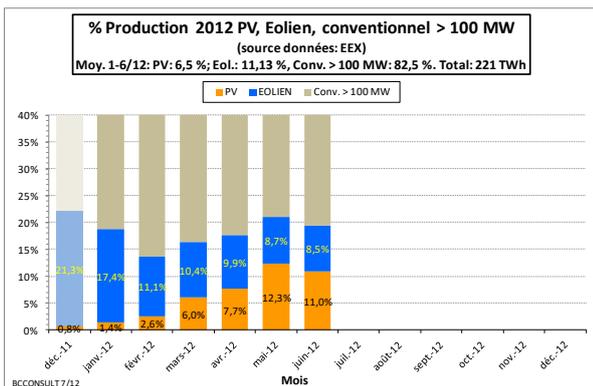


Figure 7 : Parts des productions d'électricité en 2012

La pénétration combinée [éolien + PV] maximale a eu lieu aussi en mai 2012, avec un total de 21 %. Le minimum a été en février avec 13,7 %. On remarque la bonne complémentarité entre les deux filières éolienne et PV qui permet d'aboutir à des variations mensuelles de taux de pénétration bien plus faibles pour leur total que pour chacune d'elles.

La figure 8 résume la progression des productions éoliennes, PV et leur total de janvier à juin 2012. Une simple extrapolation d'un facteur 2 à l'année entière donnerait un ordre de grandeur de 78 TWh pour ces deux filières (49 TWh pour l'éolien et 29 pour le PV).

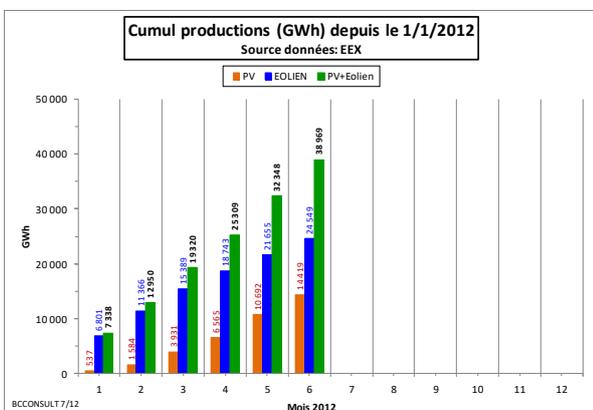


Figure 8 : Cumul des productions (GWh) éoliennes et PV

#### 4. Analyse des productions journalières en juin 2012

Les figures 9 et 10 résument les parts respectives des productions journalières éoliennes, PV et des centrales conventionnelles de plus de 100 MW.

La baisse des productions totales les week-ends est très visible. On remarque déjà sur ce mois de juin que la variabilité de la production PV est plus faible que celle de l'éolien, cette dernière n'étant par ailleurs jamais nulle.

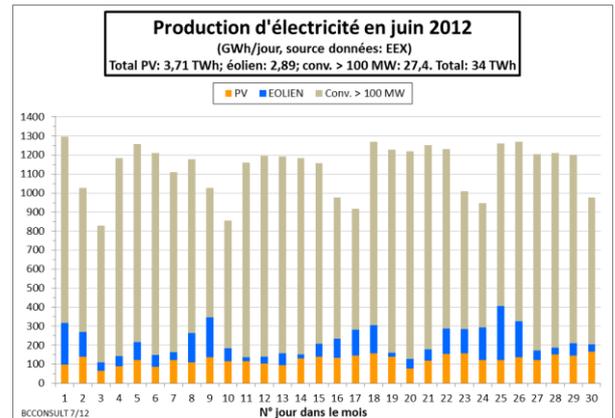


Figure 9 : Productions journalières (GWh/j) en juin 2012

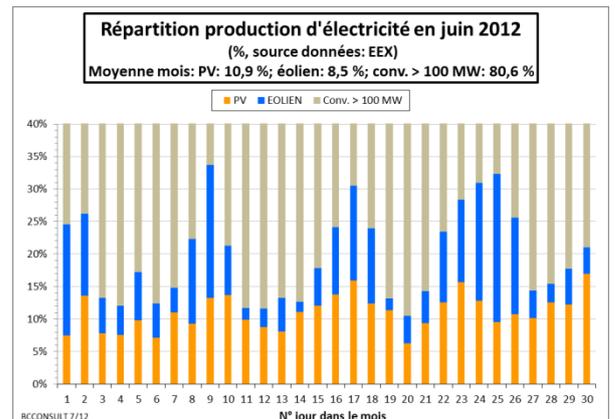


Figure 10 : Part des productions journalières en juin 2012

Le maximum de pénétration de l'éolien (22,7 %) a eu lieu le lundi 25 juin. Son minimum (1,57 %) le jeudi 14 juin. Pour le PV, le maximum a été atteint le samedi 30 juin (17 %) et le minimum le mercredi 20 juin (6,3 %). **Pour le total éolien + PV le maximum de pénétration journalière en énergie a dépassé un tiers avec 33,66 % le samedi 9 juin (20,41 % éolien et 13,25 % PV).** Le minimum a été de 10,47 % le mercredi 20 juin. **Là aussi on constate un « lissage » des extrêmes des taux de pénétration par la combinaison [éolien + PV]** qui est bénéfique pour gérer l'insertion à grande échelle sur le réseau électrique de ces filières renouvelables variables mais dont les variations à court terme sont prévisibles avec une précision déjà suffisante, même si l'état de l'art actuel [5] sera amené à être encore amélioré.

### 5. Analyse des productions horaires

La figure 11 récapitule pour le mois de juin 2012 les variations des productions moyennes sur une heure. On remarque que la pointe de production horaire moyenne est en mi-journée et non le soir. L'impact de la production éolienne et surtout celle du PV en mi-journée sur la baisse de production des grandes centrales conventionnelles est déjà important.

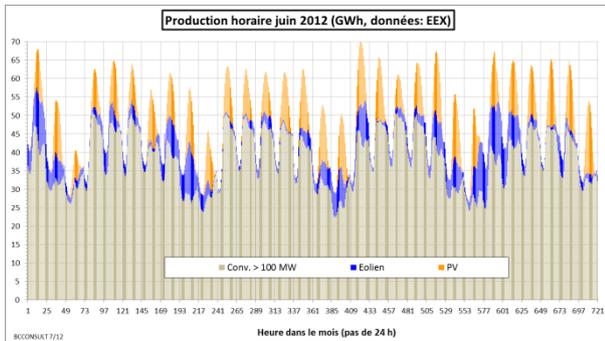


Figure 11: Productions horaires (GWh ou GW moyennés sur 1 heure) en juin 2012

La production éolienne horaire a été en moyenne de 4,02 GW, son maximum de 15,3 GW et son minimum de 0,2 GW. Celle du PV a été en moyenne de 5,17 GW (sur 24 heures) et son maximum de 19,6 GW, son minimum étant bien sûr nul la nuit (mais la production PV près du solstice d'été commence dès 4h45 du matin et continue jusqu'à 21h30). La production horaire conventionnelle moyenne (centrales de plus de 100 MW) a été de 38,1 GW, son maximum de 50,8 GW et son minimum de 22,4 GW. La production moyenne horaire cumulée de ces trois types de production a été en moyenne de 47,2 GW, son maximum (70,6 GW) a eu lieu le lundi 18 juin de 13 à 14 heures et son minimum (26,4 GW) le dimanche 24 juin de 5 à 6 heures du matin.

La figure 12 indique les taux de pénétration horaires de l'éolien et du PV en juin 2012 :

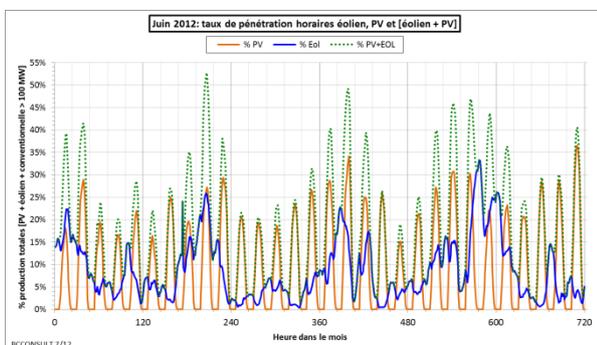


Figure 12 : Taux de pénétration horaires en juin 2012

Le taux de pénétration horaire maximal du PV a été d'environ 37 % le dimanche 30 juin aux alentours du midi solaire. Celui de l'éolien a été maximal dans la nuit du 24 juin à 33 %. Le taux maximal de pénétration de la production cumulée [Eolien + PV] a été de **53 % le samedi 9 juin aux alentours du midi solaire** (27,5 % PV et 25,5 % éolien). **Ce taux maximal horaire [Eolien + PV] a dépassé 30 % un jour sur deux** au mois de juin 2012.

### 6. Analyse de la production éolienne en juin 2012

La figure 13 détaille les variations de la production éolienne journalière en juin 2012:

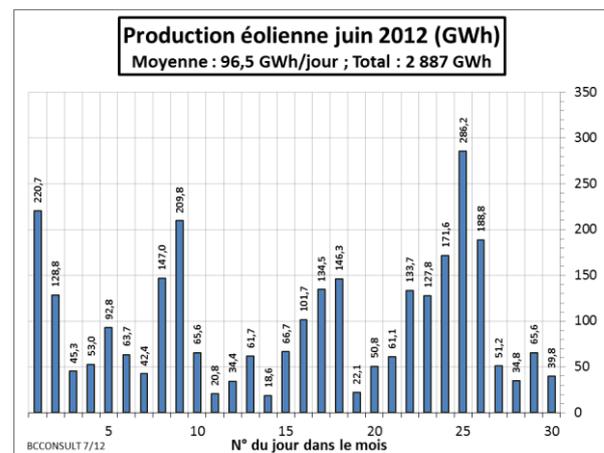


Figure 13 : Production éolienne journalière en juin 2012

La figure 14 récapitule les puissances éoliennes journalières moyennes, minimales et maximales :

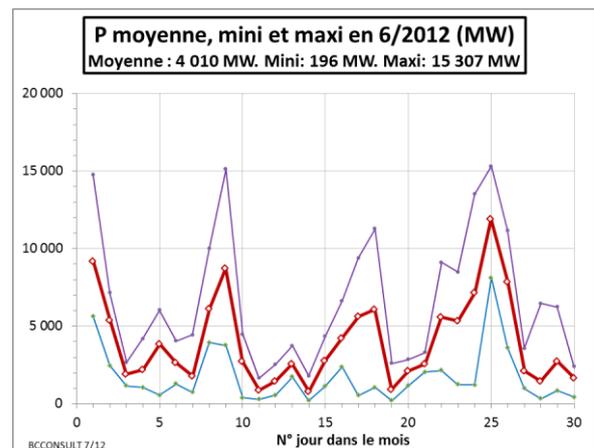


Figure 14 : Puissance instantanée (MW) de l'ensemble du parc éolien en juin 2012

La figure 15 indique les variations de la puissance éolienne moyenne mesurée sur un pas de 15 minutes :

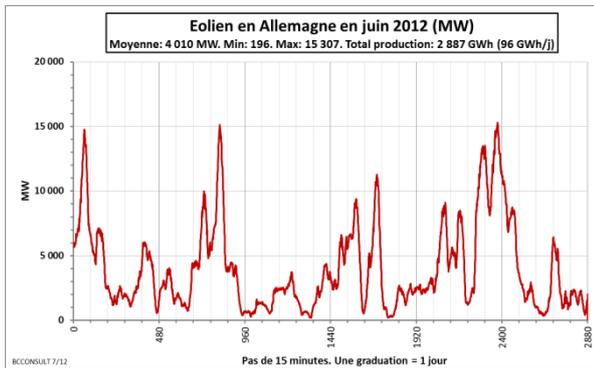


Figure 15 : Profil éolien (pas de 15mn) en juin 2012

Les variations d'une journée à l'autre et à l'intérieur d'une journée peuvent être très importantes, mais comme elles sont prévisibles et anticipées, elles n'ont pas posé de problèmes aux quatre gestionnaires des réseaux de transport d'électricité en Allemagne. A titre d'exemple, la figure 16 détaille ces variations pour la journée du samedi 9 juin 2012 où elles ont été des plus importantes dans le mois. Le gradient maximum de puissance a été ce jour-là d'environ 2,5 GW/heure à la hausse et de 5 GW/heure à la baisse.

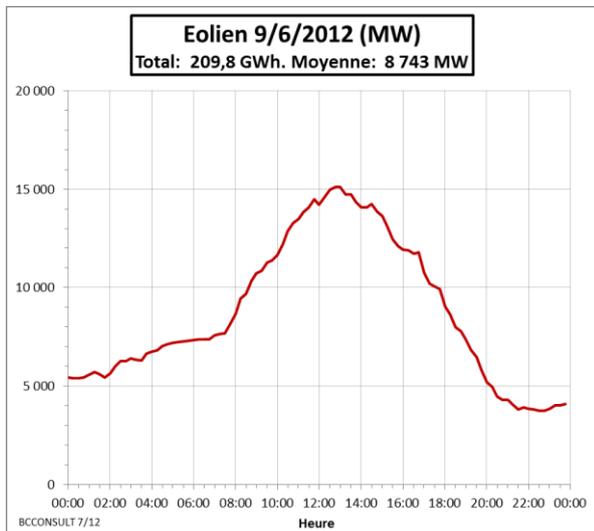


Figure 16 : Profil de puissance éolienne (MW) durant la journée du 9 juin 2012

## 7. Analyse de la production PV en juin 2012

La figure 17 détaille les variations de la production PV journalière en juin 2012. Elle est plus régulière que la production éolienne :

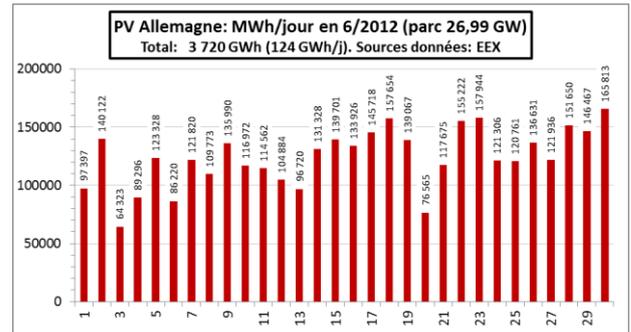


Figure 17: Production PV journalière (MWh/j) en juin 2012

Le tableau 1 ci-après détaille les valeurs moyennes, maximales et minimales des principaux paramètres et ratios de la production PV en juin 2012 : puissance maximale **Pmax** moyenne sur un pas de 15 minutes ; ratio de cette puissance maximale à la dernière valeur connue de la somme des puissances crêtes PV enregistrées par l'agence Allemande de gestion des réseaux [6] (soit environ 27 GWc en fin avril 2012, cette valeur étant assimilée ici à la puissance nominale du parc PV Allemand en fonctionnement) ; productivité journalière **Ej** en MWh/jour ; ratio de productivité journalière **Nh** en Wh/(Wc.jour), identique au nombre équivalent d'heures par jour de production à la puissance nominale installée; facteur de charge journalier **FCj**, ratio entre Nh et les 24 heures de la journée.

Tableau 1 : paramètres de la production PV en juin 2012

Jun 2012	Pmax (MW)	Pmax/Pc	Ej (MWh/j)	Nh (Wh/Wc.j)	FCj (%)
Maxi	19 739	73,1%	165 813	6,14	25,60%
Moyenne	14 585	54,0%	124 026	4,60	19,15%
Mini	8 067	29,9%	64 323	2,38	9,93%

La figure 18 détaille la production PV moyenne mesurée au pas de 15 minutes en juin 2012 :

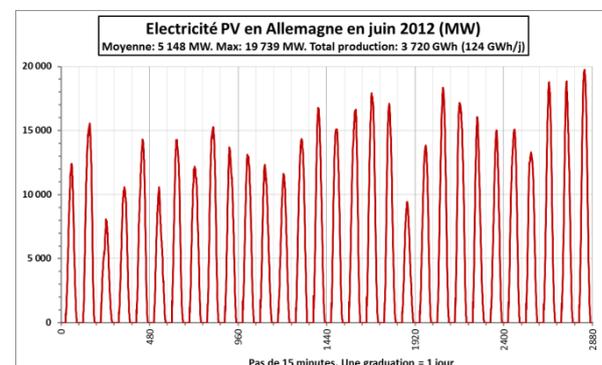


Figure 18 : Profil PV (moyenne au pas de 15 min, MW) en juin 2012

La figure 19 détaille à titre d'exemple les variations de puissance moyenne par pas de 15 minutes le samedi 30 juin qui a été la journée la plus productive. Les productions avant 6 heures et après 21 heures ont été

regroupées aux premiers et derniers quarts d'heure du graphique, ce qui explique la légère remontée à 6h du matin.

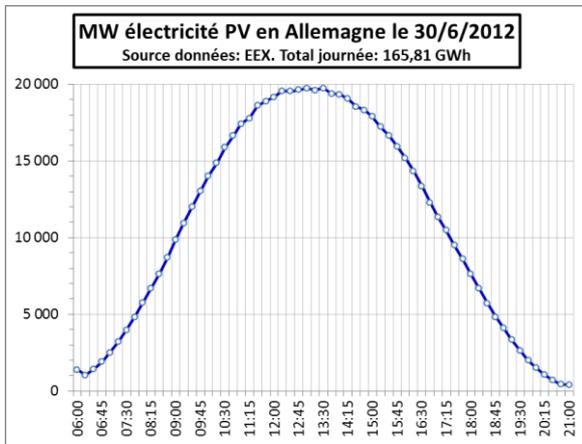


Figure 19 : Profil du parc PV allemand le 30 juin 2012

Le maximum de 19,73 GW à 13 heures représente 73 % des 27 GWh, dernière valeur connue de la puissance cumulée PV enregistrée en Allemagne et supposée opérationnelle en fin avril 2012.

## 7) Conclusions

Cette analyse montre l'impact important et toujours croissant que les productions éoliennes et photovoltaïques ont déjà sur la production d'électricité en Allemagne. Elle montre nettement l'intérêt d'analyser la combinaison entre elles de ces deux types de productions qui se complètent utilement au long des saisons tout en « lissant » leurs extrêmes, ce qui est un puissant facteur pour faciliter l'intégration au système électrique de leur part rapidement croissante dans la production d'électricité en Allemagne.

Cette analyse pourra être utilement complétée par celles des variations et des complémentarités des productivités journalières et mensuelles de ces filières sur une année entière et d'années en années.

Enfin, l'impact à la baisse que la production éolienne et PV ont déjà sur les prix de l'électricité sur le marché Allemand et Européen, notamment pendant les heures de pointe de mi-journée, mérite à lui seul une analyse séparée et détaillée qui n'a pas été abordée ici.

Par ailleurs, dans le cadre du suivi de la directive Européenne sur les énergies renouvelables et la préparation d'objectifs nationaux et communautaires plus ambitieux dans le domaine aux horizons 2030 et 2050, il serait bon que la politique de transparence qui a permis de mettre à disposition du public les données détaillées qui ont été utilisées ici soit étendue aux autres

filières d'E-SER (hydroélectricité, bioénergies, géothermie, énergies des mers), à la demande intérieure et aussi à d'autres pays. C'est déjà le cas pour la France via le site du RTE [7] pour l'hydroélectricité, l'énergie éolienne et la demande intérieure d'électricité, mais pas encore pour l'électricité photovoltaïque et les bioénergies. Cette extension pourrait se faire d'abord sur la base du volontariat et de la coopération entre acteurs des systèmes électriques Européens, puis par le biais de directives spécifiques à venir. Cela permettrait de pouvoir procéder aisément à des comparaisons de productivité et de complémentarités de production entre filières et entre pays et ainsi de donner des bases fiables à des études d'optimisation à terme des parcs d'E-SER dans les Etats membres et au niveau de l'Union Européenne.

A ce titre, l'auteur tient à remercier les institutions et sociétés répertoriées dans les références ci-après et qui ont permis cette première analyse à partir des statistiques et données mises gracieusement à la disposition du public. Toute erreur de traitement ou d'interprétation de ces données serait de sa seule responsabilité et non de celle de ces institutions et sociétés.

## 8. Bibliographie et références

- [1] Directive 2009/28/CE du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, Journal Officiel de l'Union Européenne du 5 juin 2009.
- [2] Directive 2009/28/CE du 27 septembre 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, Journal Officiel de l'Union Européenne du 27 octobre 2009.
- [3] « Renewable Energy Sources 2011 », BMU, Mars 2012. Téléchargeable à : [http://www.erneuerbare-energien.de/files/bilder/allgemein/application/pdf/ee\\_in\\_zahlen\\_2011\\_en\\_bf.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/bilder/allgemein/application/pdf/ee_in_zahlen_2011_en_bf.pdf)
- [4] Site internet de la bourse de l'électricité de Leipzig : <http://www.transparency.eex.com>
- [5] Rapport du projet ANEMOS: «The State-Of-The-Art in Short-Term Prediction of Wind Power : A Literature Overview, 2nd edition», Téléchargeable à : [http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:83397/datastreams/file\\_5277161/content](http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:83397/datastreams/file_5277161/content)
- [6] Site internet de la Bundesnetzagentur : <http://www.bundesnetzagentur.de>
- [7] Site internet du RTE : <http://www.rte-france.com>

## Et demain ... ?

### Petite revue de presse des avancées technologiques

*Pour ce numéro de la revue 3EI, nous vous proposons de relever quelques nouveautés concernant les matériaux. En effet, bien que ce thème soit peu enseigné comme tel dans les premières années du cursus des électrotechniciens, il est incontournable pour comprendre les innovations futures dans les domaines aussi variés que les batteries, l'énergie éolienne ou encore les panneaux photovoltaïques pour ne citer que quelques exemples.*

**Des matériaux innovants pour la conception des électrodes des batteries du futur ([www.bulletins-Electroniques.com](http://www.bulletins-Electroniques.com), 27 juin et 5 juillet 2012)**

*Des anodes de batteries lithium-ions à base de silicium nanostructuré :*

Des matériaux composites à base de silicium nanostructuré et de carbone pour les anodes de batteries lithium-ions, et pouvant stocker trois fois plus d'énergie que les technologies conventionnelles, ont été développés par le centre des techniques de NanoEnergie de l'Université de Duisbourg-Essen (UDE, Rhénanie du Nord-Westphalie).

Outre leur capacité de stockage remarquable, il est important de noter que leur matière première à base de silice, est non toxique et d'un coût d'exploitation peu élevé.

Le pas suivant permettant d'espérer une industrialisation sera de multiplier par dix le nombre de cycles de recharge possible des anodes à base de silicium nanostructuré, tout en diminuant leur poids, les dimensions, le temps de recharge ainsi que leur coût.

*Recharge de batteries en quelques secondes grâce à des électrodes en titanate de lithium :*

Des chercheurs de l'Université Ludwig-Maximilian de Munich (LMU), ont développé une structure de titanate de lithium mésoporeuse nanostructurée qui, appliquée aux électrodes de batteries, permet une recharge à 73% de ces dernières en l'espace de 4,5s.

D'une capacité massique de 175 mAh/g, la structure n'est pas détériorée après 1.000 cycles de recharge-décharge.

Ces électrodes permettraient ainsi de développer des applications dans les domaines situés entre les supercondensateurs et les batteries classiques.

**Un liquide de refroidissement efficace pour batteries de véhicules électriques ([www.bulletins-Electroniques.com](http://www.bulletins-Electroniques.com), 7 juillet 2012)**

Des chercheurs de l'Institut Fraunhofer des technologies de l'environnement, de la sécurité et de l'énergie d'Oberhausen (Rhénanie du Nord-Westphalie) ont développé un matériau à changement de phase aux propriétés réfrigérantes dénommé "CryoSolplus". Ce dernier, constitué d'un mélange d'eau et de paraffine, de tensioactifs stabilisants et d'un produit antigel, le glycol, permet d'absorber trois fois plus de chaleur que l'eau, réduisant la quantité de liquide nécessaire dans le circuit de refroidissement des batteries des voitures électriques. Lorsque le liquide absorbe de la chaleur, les boulettes de paraffine contenues dans ce dernier fondent. Une fois le liquide refroidi, les boulettes de paraffine reprennent leur forme solide initiale. Les coûts supplémentaires par rapport à un système de refroidissement par eau sont de l'ordre de 50 à 100 euros.

La principale difficulté rencontrée consistait à stabiliser la dispersion afin que les boulettes de paraffine ne s'agglomèrent ni ne se concentrent à la surface du liquide. Cette question a été résolue par l'ajout de tensioactifs.

La prochaine étape consistera en une série d'essais du CryoSolplus en conditions réelles sur un véhicule-test.

**Des piles à combustible les plus performantes au monde ([www.bulletins-Electroniques.com](http://www.bulletins-Electroniques.com), 5 octobre 2012)**

Le dernier modèle de pile à combustible (PAC) pour automobile du constructeur automobile Toyota Motor, a été dévoilé le 24 septembre dernier. Grâce à l'utilisation

d'électrodes spécifiques, le rendement énergétique de cette PAC atteint le record mondial de 3kW/l.

Toyota a communiqué son intention de fixer un prix pour le dispositif qui serait "acceptable pour ses clients".

### **Du plastique pour limiter la corrosion des installations éoliennes en mer (www.bulletins-Electronics.com, 5 juil 2012)**

L'Institut Fraunhofer pour l'énergie éolienne et de génie des systèmes énergétiques de Bremerhaven (Basse-Saxe) vient de démarrer un projet de recherche permettant de protéger les éoliennes en mer de la corrosion. Ce projet vise à envelopper les tuyaux et autres matériaux nécessaires à la construction des fondations, d'une seule couche thermoplastique permettant une protection anticorrosion de plus de 25 ans. Cela permettrait d'allonger la durée de vie des trépieds et autres structures porteuses, aujourd'hui mais également de gagner du temps à la construction. En effet, la résine époxy actuellement utilisée s'applique en plusieurs couches qui nécessitent des phases intermédiaires de séchage permettant le durcissement des couches. De plus, celles-ci peuvent être endommagées lors du transport des éoliennes du site de construction vers la mer, ce qui nécessite une nouvelle application de résine sur le site en mer.

Le projet dit KOWIND [2], a débuté en mai 2012 et durera trois ans. Une installation test permettra d'évaluer la robustesse et la résistance au vieillissement de la couche anticorrosion.

### **Un nouveau record pour les cellules photovoltaïques (Actualité EPFL, 28 sept 2012)**

L'Institut de microtechnique de l'EPFL a présenté à Francfort des cellules photovoltaïques «hybrides» affichant un rendement de 21,4% sur des plaquettes de silicium standard, une première pour ce type de capteurs (les meilleures cellules monocristallines actuelles n'affichent au maximum qu'une efficacité de 18-19%). Cette percée contribuera à faire baisser le coût des installations.

Pour obtenir ces performances les chercheurs ont appliqué une couche infinitésimale – un centième de micron – de silicium amorphe sur les deux faces d'une plaquette de silicium cristallin courante (donc peu coûteuse). En soignant la préparation et en améliorant le processus d'application du silicium amorphe, les chercheurs ont obtenu le rendement de 21,4%.

La tension en circuit ouvert qu'ils ont mesurée – 726 mV – constitue elle aussi une première.

### **Les atouts de l'or pour la technologie de pointe enfin révélés (www.bulletins-Electronics.com, 7 sept 2012)**

Avec l'essor des nanotechnologies de ces dernières décennies, la recherche s'intéresse aux nouvelles propriétés qu'acquiert les matériaux lorsqu'ils passent d'une structure macroscopique à une structure nanométrique. Dans le cas de l'or, ce passage engendre un changement frappant de ses caractéristiques. Ainsi la forme nanoporeuse de l'or révèle de nouvelles propriétés qui pourraient trouver des applications dans les capteurs, la catalyse, l'optique, le captage et le stockage d'énergie, l'électrochimie, etc..

L'or nanoporeux est un matériau nanostructuré obtenu par corrosion d'un alliage macroscopique constitué d'or et d'un métal moins noble tel que l'argent ou le cuivre. Par suppression chimique du métal moins noble, l'or restant subit un processus de réorganisation : il se forme alors un réseau poreux bi-continu à trois dimensions de ligaments interconnectés. Lors de cette réorganisation, la taille caractéristique du matériau diminue fortement tandis que son rapport surface/volume augmente significativement : ce sont alors les propriétés physicochimiques des surfaces qui gouvernent son comportement.

Plusieurs effets entrent en jeu, dus au fait que les atomes à la surface ont moins d'atomes voisins que des atomes dans un volume (diminution du nombre de coordination). Ces différents effets sont à l'origine des nouvelles propriétés présentées par le matériau. Par ailleurs, en jouant sur les conditions de préparation ainsi que sur la concentration du métal le moins noble dans l'alliage initial, il est possible de varier la taille des pores et ligaments ainsi que la proportion de pores dans le matériau obtenu. De plus, la surface du matériau peut être modifiée chimiquement par des métaux, entités organiques ou oxydes métalliques. Cette flexibilité à la fois structurelle et chimique de l'or nanoporeux ouvre d'autant plus le champ des applications industrielles dans lesquelles il pourrait être utilisé.

La diminution du nombre de coordinations lorsqu'un matériau passe d'une structure macroscopique à nanométrique entraîne une redistribution des charges en excès à la surface. La distance entre les atomes de surface est alors modifiée, ce qui entraîne l'apparition d'une contrainte de surface et une reconstitution de celle-ci. Dans le cas de l'or, cette reconstruction peut conduire à une déformation macroscopique du matériau (effet bien connu dans les céramiques piézoélectriques). Cet effet peut être utilisé pour réaliser un "actionneur" pour des applications scientifiques et industrielles variées

telles que les capteurs et sondes, le nanositionnement (paliers XYZ, construction de machines de contrôle précises, etc.), les valves microfluidiques, les dispositifs médicaux (pompe à insuline, pâte à moulage siliconée, etc.), les muscles artificiels, la biomécanique (prothèses, robotiques), les antennes, ceintures et autres déploiements mécaniques.

La diminution du nombre de coordination augmente aussi la rugosité des surfaces du matériau, ce qui modifie la réactivité de celles-ci.

Dans le cas de l'or, sa surface inerte chimiquement acquiert ainsi une activité chimique lorsqu'il devient nanoporeux. Il devient alors possible de donner une fonction à sa surface afin de lui procurer un intérêt chimique et catalytique dans différentes applications. Par exemple, l'ajout d'oxydes métalliques augmente l'activité et la stabilité de l'or nanoporeux lors de l'oxydation CO à des températures de plusieurs centaines de degrés).

L'or perd sa couleur jaune lorsqu'il passe à l'état nanoporeux et acquiert une teinte cuivrée. Les propriétés optiques des métaux sont déterminées par les oscillations cohérentes des électrons de conduction le long de leur surface ("plasmons de surface"). Dans le cas des nanomatériaux, l'or nanoporeux en particulier, un type de résonance de plasmon de surface, appelé "plasmon de surface localisé (LSPR)" est particulièrement prononcé et peut entraîner l'apparition d'un fort champ électromagnétique induit. Cette propriété optique dans le cas de l'or nanoporeux, pourrait être utilisée pour une nouvelle forme de stockage optique des données et pourrait dépasser la limite de stockage des médias actuels de plusieurs ordres de grandeur. En utilisant des nanobâtonnets d'or présentant différents rapports d'aspects (c'est à dire différents rapports de longueur sur diamètre) et orientés sur une surface plane dans différentes directions, les LSPR de chaque bâtonnet peuvent être traités pour générer un bit de forte densité correspondant à une capacité de stockage de données comparable à celle d'un DVD classique.

Finalement, l'or nanoporeux cumule bon nombre d'avantages qui en font un excellent candidat pour la technologie de pointe. Outre ses excellentes propriétés décrites brièvement ci-dessus, il est un matériau léger, robuste et stable, de fabrication peu coûteuse. Sa flexibilité structurelle et chimique promet un fort développement industriel. Enfin, le fait que l'or ait beaucoup de valeur en tant que métal précieux d'une part, et qu'il soit inerte chimiquement (sous sa forme macroscopique) d'autre part, encourage fortement son recyclage. En 2010 par exemple, on sait que le volume

d'or recyclé a été supérieur à celui effectivement utilisé aux Etats-Unis. Il pourrait donc constituer une ressource durable et écologique, non toxique pour l'homme et l'environnement.

### **Un nouveau matériau pourrait rendre réutilisable la chaleur par thermoélectricité (Technology Review, 19 sept 2012)**

Un composant de faible coût et d'utilisation aisée pourrait permettre de transformer l'énergie thermique issue des voitures et des centrales de production d'énergie. Les chercheurs ont gagné 20% de rendement dans la conversion chaleur électricité en comparaison des matériaux actuels. De plus ces nouveaux matériaux ne nécessitent pas de fabrication ou de matières premières coûteuses.

Bien que les déperditions de chaleur soient présentes dans de nombreux secteurs de l'activité humaine, les matériaux thermoélectriques ont jusqu'à présent été trop onéreux et peu efficaces pour être utilisés.

Contrairement à ces prédécesseurs, ce matériau décrit dans la revue *Nature*, pourrait être suffisamment efficace pour faire un générateur d'électricité pratique. Il est plus efficace pour les hautes températures de l'ordre de 650 °C (qui correspond à la température des gaz d'échappement pour une voiture circulant à 100 km/h). A cette température, il peut convertir 20 % de la chaleur en électricité pouvant ainsi recharger la batterie d'un véhicule hybride ou diminuer la charge d'un alternateur et réduire ainsi la consommation de carburant.

Ce nouveau matériau est très performant pour piéger la chaleur par l'utilisation de petites structures microscopiques.

A la taille la plus fine, les chercheurs ont ajouté des impuretés pour créer des irrégularités dans la structure cristalline du matériau. A l'échelle un peu plus grande, nanoscopique, ils ont mélangé des structures de 10 nm. Enfin en contrôlant le refroidissement de la cristallisation, ils ont créé des grains de quelques centaines de nanomètres. C'est la première fois que ces trois méthodes sont utilisées sur le même matériau.

Cette avancée est très importante mais il reste un pas à franchir avant la commercialisation. En effet, ces résultats ont été obtenus sur des matériaux de type p et il est nécessaire de réaliser la même prouesse sur des matériaux de type n. Bien que les régulateurs européens et américains voient d'un mauvais œil l'utilisation du plomb, ils s'agiraient d'en utiliser des quantités beaucoup plus faibles que dans les batteries.



# Le DVD « archives » est disponible !!!



Voici regroupés tous les articles des numéros 0 à 59, de Mai 1994 à Décembre 2003, sous forme numérique au format pdf (pdf scannés pour les plus anciens et pdf vectoriel pour les plus récents), sur le DVD que vous pouvez commander en remplissant le bulletin de commande suivant. Vous pouvez consulter les thèmes abordés sur la page ci-contre de la revue.

## BULLETIN DE COMMANDE

A envoyer accompagné d'un chèque à l'ordre de la SEE - Revue 3EI  
à SEE - la Revue 3EI 17 rue de l'amiral Hamelin 75783 Cedex 16

<b>DVD archives Revue 3EI</b>	<b>France et pays de la CEE</b>	<b>pays hors CEE</b>
<b>Tarif individuel</b>	<b>60 €</b>	<b>70€</b>
<b>Tarif collectivité (CDI , laboratoire...)</b>	<b>100 €</b>	<b>110 €</b>

Nom .....Prénom .....

Adresse d'expédition.....

.....

