



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

17, rue de l'Amiral Hamelin, 75116 PARIS  
Tél : 01 56 90 37 17  
site web : [www.see.asso.fr](http://www.see.asso.fr)

**La Revue 3EI**  
publication trimestrielle  
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'Electrotechnique et l'Electronique Industrielle

<p><b>La Revue 3EI, Édition SEE,</b> 17 rue de l'Amiral Hamelin 75116 PARIS</p> <p><b>Directeur de la publication</b> François GERIN Président de la SEE</p> <p><b>Rédacteur en Chef</b> Franck LE GALL</p> <p><b>Adresser les propositions d'article à :</b> <a href="mailto:revue3ei@gmail.com">revue3ei@gmail.com</a> ou sur le site <a href="https://www.see.asso.fr/3ei">https://www.see.asso.fr/3ei</a> rubrique "soumettre un article"</p> <p><b>Communication :</b> Mme. Mélisande DE LASSENCE <a href="mailto:Communication1@see.asso.fr">Communication1@see.asso.fr</a> 01 56 90 37 17</p> <p><b>Promotion et Abonnements :</b> (4 numéros par an) Janvier, Avril, Juillet, Octobre 2020. Tél : 01 56 90 37 17 <a href="mailto:abo@see.asso.fr">abo@see.asso.fr</a></p> <p><b>Tarifs 2020 :</b></p> <p>Version PAPIER :</p> <p>France et UE (TTC).....40 € Pays hors UE (HT)..... 49,18 €</p> <p>Version NUMERIQUE :</p> <p>France et UE (TTC).....30 € Pays hors UE (HT)..... 29,38 €</p> <p>Version DUO (Papier+Num.) :</p> <p>France et UE (TTC).....50 € Pays hors UE (HT) ..... 58,97 €</p> <p><b>Impression :</b> JOUVE 53100 Mayenne 11 bd de Sébastopol - 75027 Paris Cédex 1 - Tel : 01 44 76 54 40 Couv :O.P. : All. – TFR :0 – C. : PEFC Corp. :O.P. :Esp.– TFR :0 – C. : PEFC</p> <p>Dépôt Légal : Juillet 2021 Commission Paritaire 1222 G 78028 ISSN 1252-770X</p>	<p style="text-align: right;">Sommaire du n° 105</p> <p><b>Numéro spécial : Avion et électricité, vers une baisse des émissions de gaz à effet de serre ?</b></p> <p>p. 2 Éditorial,</p> <p><b>Thème : Avion et électricité, vers une baisse des émissions de gaz à effet de serre ?</b></p> <p>p.3 Conception intégrée par optimisation de chaînes de propulsion : de l'hybride à l'électrique Xavier Roboam, Bruno Sareni, Matthieu Pettes-Duler</p> <p>p.14 Nouvelles briques technologiques pour l'amélioration de la fiabilité des futurs systèmes de conversion d'énergie pour L'avions plus électriques (MEA) et la propulsion plus électrique (MEP) Bertrand Revol, Yann Fefermann, Stéphane Azzopardi, Toni Yousef, Jean Sylvio Ngoua Teu, Cyrille Gauthier, Rabih Khazaka, Sara Roggia.</p> <p>p.25 Étude d'un actionneur électroactif pour la déformation de surface portante pour optimiser la configuration aérodynamique d'un avion Gurvan Jodin</p> <p>p.34 Aviation légère et propulsion électrique Pascal Varoqui</p> <p>p.38 Les transports du futur, prospectives et illusions Michel Kieffer</p> <p><b>Hors Thème :</b></p> <p>p.49 L'ampère et les unités électriques : de l'électrodynamique à la mécanique quantique Wilfrid Poirier</p> <p>p.59 Théorème de Boucherot : Démonstration algébrique et compléments Antoine Ballet</p> <p>p.62 Traitement numérique du signal pour ECG (petit processeur open source atmega 328) Arnaud Sivert, Abdel Faqir, Franck.Betin</p>
--	---

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'œuvre 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).

Numéro 105 de la revue 3EI

« **L'Europe annonce la fin des véhicules thermiques pour 2035** » peut-on lire dans les journaux de ce début d'été 2021 alors qu'il y a encore très peu de temps, cette éventualité d'une conversion massive de la motorisation thermique vers l'électrique rendait sceptique l'immense majorité de la population et même des experts du domaine. Le secteur aéronautique est également concerné puisque le plan climat de la commission européenne fixe aussi des objectifs très ambitieux : taxe sur le kérosène dès 2023 avec une augmentation progressive sur dix ans, perte progressive des quotas gratuits d'émissions dont les compagnies aériennes bénéficient pour les vols intra-européens, .... La question de l'avion électrique revient donc de façon prégnante. Déjà en **septembre 2020, Airbus annonçait vouloir développer un avion 100 % hydrogène d'ici à 2035**. Pour faire le point sur ces perspectives, nous proposons dans ce numéro de faire un tour d'horizon sur l'apport de l'électricité dans l'aviation dans le contexte de l'objectif de baisse des émissions de gaz à effet de serre.

« **Thème : Avion et électricité, vers une baisse des émissions de gaz à effet de serre ?** »

En introduction du thème, Xavier Roboam et son équipe exposent les principaux tenants de l'électrification (de l'hybride à l'électrique) de la propulsion des aéronefs. Ils détaillent un exemple de conception multiphysique par optimisation (MDO) se basant sur le projet européen 'HASTECS', qui traite de la conception technologique des principaux constituants de la chaîne de propulsion.

De leurs côtés, Bertrand Revol et ses co-auteurs nous donnent un aperçu général des principales briques technologiques proposées pour les convertisseurs de puissance. Elles permettent de faire face aux défis dans le domaine aérospatial, apparus récemment du fait des concepts d'avions plus électriques (MEA) et de propulsion plus électrique (MEP). Cette étude vise à dresser un panorama de l'état de l'art des technologies déjà disponibles pouvant être mises en œuvre dans les futures architectures aérospatiales, ainsi qu'à donner de nouvelles perspectives pour repousser davantage les limites actuelles.

L'article que nous propose Gurvan Jodin se concentre sur un autre aspect de l'apport de l'électricité dans l'aviation : la possibilité de déformation des ailes afin d'optimiser les performances aérodynamiques. L'approche consiste en l'intégration d'actionneurs directement dans la structure avec utilisation de matériaux électroactifs. La maquette de plaque déformable actionnée par un alliage à mémoire de forme présentée dans cet article peut servir d'application pédagogique en modélisation, simulation, manipulations expérimentales, ou encore en asservissements et instrumentation.

Alors que les avions de ligne tout électrique mettront encore quelques années avant d'être mis en service, la version pour aviation légère est maintenant une réalité. Pascal Varoqui présente le Velis Electro de la société Pipistrel Aircraft, avion électrique certifié EASA dont le silence de fonctionnement permet une exploitation en zone urbaine sans soucis de nuisances sonores vis à vis des riverains des aérodromes.

Pour clore ce thème, nous reprenons la présentation de Michel Kieffer au colloque GEII 2021, dans laquelle il aborde la problématique de la consommation énergétique dans les transports de voyageurs et les solutions envisageables pour la réduction des coûts.

« **Hors Thème :** »

La section hors-thème s'ouvre par un article passionnant sur l'histoire de la définition de l'ampère. Cette aventure contée par Wilfrid Poirier nous fait voyager de la Révolution française, caractérisée par la volonté de fournir des références universelles pour les grandeurs physiques, à l'année 2019, date de la révision historique du Système International d'unités (SI), qui est désormais fondé sur les constantes de la nature. La nouvelle définition de l'ampère établie à partir de la charge élémentaire permet désormais d'exploiter au mieux certains phénomènes quantiques ainsi que les découvertes scientifiques les plus récentes, ce qui permet d'améliorer la mesure des grandeurs électriques et de celles qui en dépendent, et ce, au profit des utilisateurs.

L'article d'Antoine Ballet qui traite du théorème de Boucherot nous permet de revisiter cet incontournable des enseignements de Génie Electrique en exposant une démonstration par la méthode de la représentation complexe des grandeurs électriques, très commune dans l'enseignement supérieur en physique mais boudée au profit de la représentation vectorielle en génie électrique. Cet exposé d'une grande clarté permettra aux enseignants qui le souhaitent de faire le pont entre deux approches complémentaires des circuits électriques.

Enfin, Arnaud Sivert et ses co-auteurs présentent une application pratique sur le traitement numérique, susceptible de motiver les étudiants : le monitoring d'un électrocardiogramme. Cette application peut être réalisée avec des microprocesseurs « low tech » et des compilateurs open source peuvent être utilisés. Encore une idée de projet à tester avec vos étudiants !

Le Comité de Publication de la Revue 3EI

Faites connaître notre revue  
Vous en assurez la pérennité

**La Revue 3EI**

**Comité de publication**

Morgan ALMANZA

Hamid BEN AHMED

Arnaud BRUGIER

Jacques COURAULT

Jean FAUCHER

Gilles FELD

Jean Michel GAY

Jean-Philippe ILARY

Anthony JUTON

Chérif LAROUCI

Marie-Michèle LE BIHAN

Franck LE GALL

Denis LABROUSSE

Pascal LOOS

Marc PETIT

Sylvain PIETRANICO

Oviglio SALA

Jean-François SERGENT

Jean-Claude VANNIER