

AUF - CITEF 2018

**RAPPORT NARRATIF ET
FINANCIER**

**PROJET : MOOCs POUR LES
LABORATOIRES**

PLAN :

1 – RAPPEL ET CONTEXTE ORIGINAL DU PROJET

2 – DESCRIPTIVE DES TACHES REALISEES

3 – RESULTATS OBTENUS

4 – COMPTE RENDU FINANCIER

OCTOBER 11 - 2019

**RAFIC YOUNES
MAAROUF SAAD
KODJO OGBOSSO**



Lebanese University
Faculty of Engineering

ÉTS

Le génie pour l'industrie

UQTR



Université du Québec
à Trois-Rivières

1. Rappel et Contexte Original du Projet

1.1 Contexte et justification du projet

Les MOOC sont définis comme étant des cours en ligne ouverts et massifs. Ils revêtent actuellement une importance stratégique pour les Etats, décideurs et médias. Plusieurs plateformes de MOOCs en anglais ou en français existent actuellement.

Pour les pays francophones il s'agit d'une part de prendre le train pour éviter de se retrouver à la traîne en cas d'évolution importante dans ce domaine et d'autre part promouvoir l'enseignement à la française de haut niveau, face à la prédominance anglo-saxonne, notamment pour l'international francophone de l'enseignement d'élite.

Ce projet vise à transmettre les valeurs ajoutées des MOOCs dans les universités des Sud en mettant en relief deux points essentiels :

- 1- Donner de l'importance aux MOOCs en Technologie et Ingénierie,
- 2- Ajouter une composante toujours non présente : l'enseignement des laboratoires et des essais expérimentaux qui sont indispensables pour les formations techniques.

1.2 Brève description du projet

Il semble non intéressant de refaire le débat sur l'importance des MOOCs actuellement (avantages, inconvénients, perspectives). Plusieurs plateformes sont dédiées pour ce type d'enseignement (OpenClassrooms, Coursera, Eco-Learning, edX, Unow, moodle, Claco, IONISx ...). Une plateforme entièrement française « Université Numérique » est consacrée à ce type d'activités :

<https://www.fun-mooc.fr>

En septembre 2014, la plateforme référençait 36 cours. En novembre 2014 la plateforme proposait 53 cours en ligne. Fin 2015, la plateforme revendique 155 cours, provenant de 62 établissements d'enseignement supérieur. En février 2017, 283 MOOCs sont déjà implémentés.

Il est important de souligner que les inscriptions ont dépassés deux millions en 2017. L'étendue des utilisateurs s'étale sur 10 pays (France, Maroc, Belgique, Cote-D'Ivoire, Algérie, Cameroun, Tunisie, Sénégal, Brésil & Haïti).

En Ingénierie, la restriction majeure des MOOCs est :

- 1- le nombre de cours est toujours très limité (tout niveau confondu).
- 2- les cours ne sont pas coordonnés pour une formation entière en Ingénierie.
- 3- l'utilisation est limitée à un étudiant en soutien de cours ou à un ingénieur en complément de formation.
- 4- les laboratoires d'essais (composante principale pour la formation d'ingénieur) sont totalement absents.

Les efforts sont considérables pour faire évoluer l'expérience de l'université numérique et surtout en Technologie et en Ingénierie. Cependant, le 4ème point (MOOC pour les laboratoires) reste loin de ces efforts. Ce projet vise à compléter ce manque en faisant améliorer les expériences précédentes (mutualisation des équipements expérimentaux, laboratoires à distance, ...) vers cette nouvelle tendance de plus en plus imposante dans le monde universitaire.

Deux méthodes sont envisageables :

- 1- Montage des vidéos tutoriels dans le style de film documentaire qui décrit suffisamment l'expérience en mode réel de fonctionnement. Quelques essais simple et modeste à titre personnel existent déjà sur YouTube.
- 2- Réalisation d'un soft d'une machine virtuelle donnant le même comportement de la machine réelle. Ceci ressemble au soft de pilotage d'un avion déjà existant sous forme de jeu.

1.3 Résultats attendus et impact souhaité

Il s'agit de finaliser au moins deux MOOC dans trois spécialités d'ingénieurs différentes. La réussite de ce projet permet de :

- 1- réduire les frais d'achats de matériels très chers pour les laboratoires. Notons qu'avec la tendance actuelle de définir chaque cours d'ingénierie en trois parties (cours, TD, TP) ces frais risquent de devenir extrêmement coûteux.

2- Combler le manque de Laboratoires dans les universités de Sud. L'expérience de laboratoire à distance reste très limitée pour cette université vu le mauvais débit de l'Internet. La mutualisation l'est moins vu l'esprit de concurrence entre les établissements de Sud.

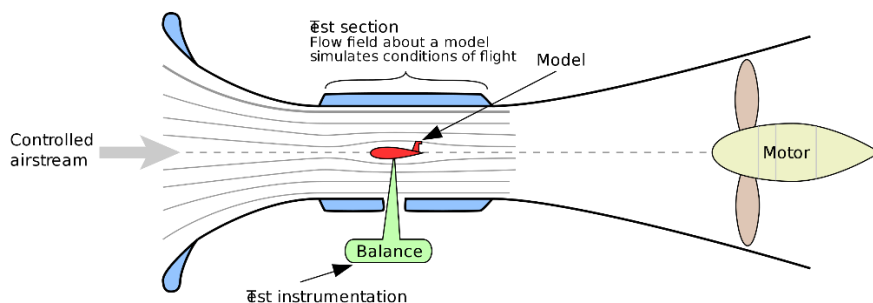
1.4 Caractère innovant et valeur ajoutée

Les cours en ligne proposés ne relèvent pour le moment d'aucune plateforme dédiée au MOOC. L'Évolution de cet enseignement en Ingénierie vers des Formations entières en ligne est conditionnée par quelques restrictions dont la question d'aborder les essais dans des labos en ligne. Ce projet doit initier la solution à cette problématique et prétend pouvoir l'aborder correctement.

2. Descriptive des Taches réalisées

2.1 Wind Tunnel

Une soufflerie (en anglais wind tunnel) est une installation d'essais utilisée en aérodynamique pour étudier les effets d'un écoulement d'air sur un corps, généralement un modèle de dimension réduite par rapport au réel. On peut effectuer dans une soufflerie des mesures, par exemple d'efforts, et des visualisations d'écoulement le plus souvent impossibles à faire dans les conditions réelles de déplacement.



Une soufflerie se compose d'un circuit aérodynamique comportant :

- Arrivée d'air ou collecteur prenant l'air soit à l'extérieur.
- Chambre de tranquillisation de grande dimensions.
- Tuyère convergente servant à accélérer l'air vers la veine d'essais.
- Veine d'essais avec les équipements de mesure.

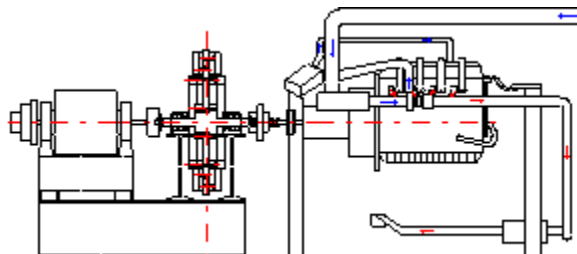
- Diffuseur ou l'air est progressivement ralenti.
- Ventilateur ou compresseur.
- Sortie d'air.

Exemples d'équipements de mesure :

- Balance 6 composantes
- Anémomètres (Laser Doppler Anemométrie , anémométrie par fil chaud...)
- Tubes Pitot
- Traitement acoustique de la veine d'essais pour effectuer des mesures de bruit
- Caméra
- Stioscopie

2.2 Engines Laboratory

Ce type de de banc d'essais permet d'examiner plusieurs typologies de moteurs et obtenir les résultat demandés en opérant après d'avoir acquis toutes les variables : Couple moteur ; Régime de tours ; Puissance mécanique ; Pressions ; Températures ; Consommation de carburant ; Débit du carburant ; Rendement mécanique ; Débit des gaz d'échappement ; Alpha stœchiométrique ; Lambda mélange carburant.



Chaque grandeur physique est enregistrée en permanence et leurs données, grâce à l'instrumentation, sont comparées avec des valeurs de référence imposées ou avec valeurs relevées pendant des essais précédents faits sur moteurs analogues. Pendant l'essai il est possible de contrôler que la combustion soit correcte dans les cylindres à travers la lecture des respectives température d'exercice.

Il sera important de donner des notions de base sur les différents types de moteurs existants fonctionnant avec différents carburants.

Moteurs Diesel (à allumage par compression)

Il s'agit d'un moteur à 4-temps dont le combustible est injecté, par le biais d'un système d'injection, directement à forte pression dans la chambre de combustion. Ce type de

moteur, dont le taux de compression est élevé, a connu une expansion rapide dans le domaine de l'automobile depuis sa création.

Avantages du diesel :

- Le rendement est supérieur à celui d'un moteur à essence: une proportion plus grande de la chaleur est convertie en travail.
- Le carburant Diesel coûte environ 10 % moins cher que l'essence.
- La consommation moyenne est moins élevée que le moteur essence.

Inconvénients du diesel :

- De fortes contraintes thermiques et mécaniques sont exercées sur les composants mécaniques du moteur, d'où la nécessité de les sur-dimensionner.
- Le coût d'entretien est environ 20 % plus élevé que celui d'un moteur à essence.
- L'étanchéité entre le cylindre et le piston est plus difficile à réaliser.
- Le moteur est plus bruyant.

Les moteurs diesel émettent un certain nombre de polluants parmi lesquels : Le dioxyde de carbone CO₂, L'oxyde d'azote NO_x, Les hydrocarbures HC, Les fines particules (dont le diamètre est inférieur à 2.5 micromètres), Le dioxyde de soufre SO₂.

2.3 Moteurs à essence (à allumage commandé)

Le moteur à allumage commandé est relativement plus léger et plus vif dans les bas régimes et lorsqu'il est froid, car l'allumage se fait par l'intermédiaire d'une bougie. Il est relativement plus silencieux, puisque l'explosion du mélange air-carburant dans un moteur Diesel, à la suite de l'auto-inflammation, provoque une onde de choc importante dont le bruit ressemble à une sorte de claquement. Généralement, la mise en marche du moteur à allumage commandé est plus rapide aux bas régimes, car l'allumage est réalisé par une étincelle produite par la bougie. Les régimes moteurs étant de surcroît plus élevés, les véhicules de sport et les voitures de luxe sont généralement munis de moteurs à allumage commandé.

Il est cependant plus facile d'obtenir une puissance plus importante, mais à haut régime seulement à cause d'un faible couple à bas régime.

Néanmoins, le rendement thermodynamique théorique du moteur à essence est sensiblement inférieur que celui du moteur Diesel, elle dépasse rarement 30 %. La différence tient essentiellement aux taux de compression : plus le taux de compression est élevé, meilleur est le rendement, car le carburant est brûlé plus complètement.

La consommation de carburant est plus élevée dans les moteurs à allumage commandé, non seulement à cause de la question du rendement déjà évoquée, mais aussi à cause de la valeur énergétique plus faible de l'essence. À puissance égale, un moteur à essence aura un régime de rotation supérieur et, en contrepartie, un couple inférieur à bas régime. Les voitures à essence, même dotées d'un pot catalytique produisent beaucoup plus de CO₂ que les diesels.

Moteurs à gaz naturel

Les avantages du gaz naturel par rapport aux carburants traditionnels :

- Les moteurs fonctionnant avec ce type de carburant émettent beaucoup moins de polluants que ceux qui utilisent les combustibles traditionnels tels que l'essence, le carburant Diesel ou le gaz du pétrole liquéfié (GPL). Le gaz naturel est composé principalement de méthane.
- Les véhicules alimentés au gaz naturel sont moins bruyants que ceux roulant au carburant Diesel. De plus, le moteur s'use moins et les frais d'entretien sont moins élevés.
- Le gaz naturel étant plus léger que l'air, il se disperse et se dilue rapidement dans l'air ambiant. Contrairement à l'essence et au gaz du pétrole liquéfié, il s'enflamme uniquement quand sa concentration dans l'air se situe entre 5 et 15 %. Le gaz naturel prend donc moins facilement feu que le diesel et l'essence.
- Le gaz naturel est transporté en toute sécurité par gazoducs souterrains. Ceci permet aussi de distribuer du gaz naturel dans les stations-service des zones à forte densité de population. Un réservoir de gaz naturel résiste mieux à une collision qu'un réservoir à essence traditionnel.
- Le gaz naturel véhicule est significativement moins cher que les carburants classiques tels que l'essence ou le diesel : 1 kg de gaz naturel comprimé coûte à la pompe de 30 à 40 % moins cher qu'un litre de diesel.
- Grâce à la combustion plus propre du gaz naturel, il y aura moins de frais d'entretien et la durée de vie du moteur est nettement plus longue que celle d'un moteur essence ou diesel.

En plus, le gaz naturel possède d'autres avantages tels que:

- Couple disponible à bas régime plus élevé qu'à l'essence.
- Stabilité de fonctionnement accrue.

-
- Bruits de fonctionnement atténués.
 - Démarrages en richesse stœchiométrique possibles.
 - Indice d'octane élevé.

Les inconvénients sont les suivants :

Pour stocker le gaz naturel comprimé, il faut plus d'espace que pour stocker un même poids d'essence. Cependant, il est possible d'installer le réservoir sous la carrosserie, grâce à une disposition plus rationnelle des composants.

En outre de cet inconvénient majeur, on peut citer d'autres tels que :

- Le couple du moteur au gaz naturel est moins élevé que celui du moteur à essence.
- Le réseau de distribution du gaz naturel est peu développé.

Moteurs à hydrogène

Le moteur à combustion interne à hydrogène pourrait contribuer à relever les deux principaux défis qui nous préoccupent : réduire les émissions de gaz à effet de serre et remédier à l'épuisement des hydrocarbures. L'utilisation de l'hydrogène en tant que carburant dans les moteurs à combustion interne présente, à l'évidence, plusieurs avantages conséquents :

- À bas régime, le moteur à hydrogène est plus efficace et à haut régime, c'est le moteur thermique qui prend le dessus.
- L'hydrogène est le plus petit de tous les éléments de la classification périodique, faisant seulement 10-15 mètre, il peut se diffuser rapidement dans l'air, ce qui est un facteur positif pour la sécurité.
- L'hydrogène qui est incolore, inodore, insipide et non corrosif à l'avantage d'être particulièrement énergétique: 1kg d'hydrogène libère environ trois fois plus d'énergie qu'un Kg d'essence.
- Lorsqu'il est brûlé, son principal produit de combustion est l'eau, de ce fait il ne génère pas de produits toxiques.
- Le domaine d'inflammabilité de l'hydrogène dans l'air est très étendu (de 4 à 75 % en volume), ce qui rend possible son inflammation avec large gamme de mélanges air-carburant.

Toutefois, l'utilisation de l'hydrogène comme combustible dans le domaine automobile a des inconvénients :

-
- L'hydrogène peut s'enflammer ou exploser au contact de l'air. Il doit donc être utilisé avec précaution, de ce fait, il faut éviter tout risque de fuite, et toute situation confinée peut s'avérer dangereuse.
 - La synthèse d'hydrogène nécessite plus d'énergie que celui-ci peut en produire. La production d'hydrogène nécessite de l'énergie produite par les centrales thermiques fonctionnant avec du charbon, du pétrole ou avec du gaz naturel, libérant ainsi du dioxyde de carbone ainsi que d'autres gaz à effet de serre, ce qui ne ferait que déplacer le problème de la non-utilisation des énergies fossiles et augmenterait leur consommation par rapport à une utilisation directe de ces énergies dans le domaine automobile.
 - Il sera très difficile de concevoir un réservoir sûr, compact, léger et moins dispendieux tout en gardant une autonomie relativement élevée. Il occupe trop de place sur un véhicule ; sous forme de gaz très comprimé, il y aura une augmentation du risque d'auto-inflammation spontanée ; les différentes techniques d'absorption restent à améliorer et elles sont dispendieuses.
 - La faible énergie d'allumage de l'hydrogène contribue à l'apparition des gaz chauds et des points chauds dans le cylindre, qui peuvent servir de sources d'allumages prématurés au cours de la course d'admission (vibrations des parois de la chambre de combustion) et de retour de flamme (ou backfire).
 - Puisque sa température d'auto-inflammation est trop élevée, l'hydrogène ne peut être utilisé directement dans un moteur diesel.
 - Puisque l'hydrogène possède une courte distance de propagation de la flamme, ses flammes se propagent près de la paroi du cylindre et de l'injecteur. Ce qui favorise l'augmentation de la tendance de retour de flamme et par conséquent, une flamme du mélange hydrogène-air se propage plus facilement à travers la soupape d'admission presque fermée que les flammes des hydrocarbures/air.

Toutes ces anomalies de combustion de l'hydrogène restent un obstacle dans le développement des moteurs fonctionnant avec ce type de carburant. Les mesures qui doivent être prises afin d'éviter ce phénomène ont une influence directe et considérable sur la conception des moteurs, le contrôle de charge et la formation du mélange.

Moteur à mélange gazole/gaz naturel (GNV)

Le remplacement des carburants automobiles à forte teneur en carbone comme le gazole par des carburants automobiles à faible teneur en carbone comme le gaz naturel peut s'avérer plus difficile, par exemple dans le cas des moteurs diesel. Le gaz naturel comme carburant automobile n'explose pas par le seul fait de compression, même en le comprimant à plusieurs centaines de bars. La seule solution envisageable consiste à les mélanger. On fait démarrer le moteur au gazole, et une fois atteint sa température normale de fonctionnement, le système d'alimentation en gaz naturel entre en action, pour fournir jusqu'à 60/70 % des besoins en carburant. Les émissions de CO₂ et des NO_x seront considérablement réduites et les rejets de particules diminuent également.

Moteurs à mélanges hydrogène/hydrocarbures

L'amélioration de la combustion du mélange hydrogène/hydrocarbures est due essentiellement à la faible limite d'énergie d'allumage et à la grande vitesse de combustion de l'hydrogène. Cela contribue à la réduction de l'effet des anomalies de la combustion tout en améliorant les performances et l'économie du carburant et en réduisant aussi les émissions polluantes. Pour ce qui de la puissance du moteur, l'hydrogène augmente la densité énergétique du mélange aux limites pauvres avec l'augmentation du rapport hydrogène-carbone et augmente ainsi le couple à pleine charge.

Néanmoins, puisque l'hydrogène gazeux possède une faible densité, son stockage concomitant avec un combustible liquide dans un même réservoir est impossible. L'hydrogène se concentre bien sûr au-dessus du carburant liquide, ce qui rend impossible formation du mélange. En plus, les combustibles liquides sont stockés sous des pressions assez faibles laissant peu de place à l'ajout d'hydrogène. En outre, le point d'ébullition de l'hydrogène liquide est de -258 °C (20.35 K), ce qui provoquerait le gel des autres carburants, donc toute possibilité de stockage dans un même réservoir est exclue.

Cependant, l'hydrogène peut être utilisé en combinaison avec d'autres combustibles liquides denses tels que l'essence, le diesel ou l'alcool à condition que chacun d'eux soit stocké séparément et mélangé à l'état gazeux immédiatement avant l'allumage.

Toutefois, il est aussi difficile d'utiliser l'hydrogène en conjonction avec d'autres combustibles qui nécessitent un système de stockage volumineux, par exemple le propane.

Le moteur à allumage commandé est moins efficace que le moteur à allumage par compression, mais en rendant le mélange air-essence plus détonant, cette différence sera comblée. En effet, puisque l'hydrogène est un gaz facilement explosif, il suffit d'ajouter une faible proportion, pour faire fonctionner le moteur avec un mélange air-essence au-dessous du rapport stœchiométrique normal. La consommation d'essence sera alors réduite et les émissions de CO₂ baissent de même.

Le HGNC est un nouveau carburant constitué du mélange Gaz naturel carburant enrichi par de l'hydrogène. En théorie, les deux peuvent être mélangés dans n'importe quelle proportion, mais en général, le HGNC avec 10 % à 20 % (en volume) d'hydrogène représente l'option la plus prometteuse à court terme. Avec de telles concentrations, la technologie du HGNC est généralement compatible avec celle utilisée actuellement dans les moteurs fonctionnant avec du gaz naturel carburant (GNC). De plus, l'utilisation du carburant GNC, qui est une technologie parfaitement maîtrisée et qui dispose d'une importante infrastructure de distribution et de transport, compatible avec celle de l'hydrogène, permettrait à la technologie du mélange des deux carburants d'en bénéficier. En plus, le GNC étant déjà plus propre que les autres carburants conventionnels, il le sera proportionnellement plus si l'on ajoute certains pourcentages d'hydrogène.

L'injection de l'hydrogène rend la combustion plus complète, ce qui diminue la consommation et l'encrassement du moteur ainsi qu'une réduction d'émission de polluants notamment les gaz (NO_x, CO, HC)

Un mélange H₂/GNC à 8% de volume d'hydrogène peut être utilisé directement dans les véhicules GNC actuels sans avoir recours à la modification du système d'injection de carburant ou des points de réglage du moteur.

Un mélange de H₂/GNC à 20% de volume d'hydrogène contribue à la réduction des émissions de plus de 20% par rapport au GNC pur. Cependant, pour faire fonctionner le moteur avec un tel mélange, il sera nécessaire d'apporter des modifications du moteur, de l'allumage et de l'injection de carburant.

Un ajout d'une quantité d'hydrogène supérieure à 20% en volume au gaz naturel peut réduire davantage les émissions, mais il nécessite des adaptations importantes à la

technologie GNC existante. En effet, pour des pourcentages d'hydrogène supérieur à 30-40% du volume, une corrosion intensive peut apparaître. D'où la nécessité de modifier la configuration du système de contrôle existant et de changer les matériaux en contact direct avec l'hydrogène par d'autres plus résistants à la corrosion.

Il y a eu beaucoup de publications sur les différents mélanges utilisés dans les moteurs à combustion interne, y compris ceux de l'hydrogène et des hydrocarbures

Les chercheurs ont démontré que la vitesse de flamme élevée de l'hydrogène est en mesure d'étendre la plage de fonctionnement en mélange pauvre du moteur à essence. Ils ont réussi aussi à réaliser avec succès un reformage de vapeur de méthanol pour la production in situ d'hydrogène.

On mentionne que l'hydrogène peut être utilisé comme carburant automobile. Soit pour remplacer directement l'essence ou le carburant diesel dans les moteurs à combustion interne, soit comme supplément aux combustibles conventionnels. Le dopage en hydrogène du carburant diesel a été promu pour une utilisation avec des camions diesel.

Vu leur complexité, un grand nombre de ces technologies sont désormais développées sous forme de prototypes expérimentaux. Leur mise en œuvre nécessite des ressources financières et humaines importantes et conséquentes. Néanmoins, le mélange essence/éthanol est évalué en ce moment par Ford et d'autres constructeurs automobiles, tandis qu'une entreprise anglaise s'est lancée dans la conversion de camions au gazole GNV.

2.3 Composite Materials Laboratory

Un matériau composite est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles (mais ayant une forte capacité d'adhésion). Le nouveau matériau ainsi élaboré possède des performances supérieures à celles des éléments pris séparément.

Il est généralement constitué de deux composants, une ossature appelée renfort qui assure la tenue mécanique et d'une protection appelée matrice qui assure la cohésion de la structure et le transfert de charges entre les renforts. A ces deux composants principaux peuvent s'ajouter des additifs qui permettent de modifier l'aspect, ou les caractéristiques du matériau.

Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites que l'on classe généralement en trois familles en fonction de la nature de la matrice :

- les composites à matrices organiques (CMO) qui constituent, de loin, les volumes les plus importants aujourd'hui à l'échelle industrielle ;
- les composites à matrices céramiques (CMC) réservés aux applications de très haute technicité et travaillant à haute température comme le spatial, le nucléaire et le militaire, ainsi que le freinage (freins carbone) ;
- les composites à matrices métalliques (CMM).

Actuellement, les composites à matrice organique représentent 99% des matériaux composites. Ils sont constitués d'une matrice thermodurcissable ou thermoplastique et d'une structure de renforts qui peut être en fibre de carbone, de verre, d'aramide ou encore naturelle.

Les matériaux composites sont en général scindés en deux catégories ; les composites de Grande Diffusion (GD) qui sont peu coûteux avec des caractéristiques moyennes et qui s'emploient largement pour des applications de grandes séries (automobile, . . .) et les composites Hautes Performances (HP) assez onéreux mais dont les propriétés de la structure sont importantes et qui sont principalement employés pour des applications de pointes (aéronautique, spatial).

Les composites « Grande Diffusion » représentent 95 % des matériaux composites utilisés. Ils possèdent des caractéristiques mécaniques souvent inférieures à celles des matériaux de références tels que l'acier. Les principaux constituants de base des composites GD sont les fibres de verre avec des résines polyesters, ils conviennent donc aux applications de grandes séries pour l'industrie des transports.

Les composites « Hautes Performances » sont principalement utilisés dans l'aéronautique, l'aérospatial et les sports de pointe (Formule 1,..). Les renforts utilisés sont plutôt des fibres longues principalement en carbone avec des taux de renfort supérieur à 50 %. Contrairement aux composites GD, les composites HP se caractérisent par des propriétés mécaniques plus élevées que celles des métaux.

L'un des principaux avantages des matériaux composites est leur aptitude à être conçus à la carte. Ainsi, nous pouvons concevoir des matériaux avec une forte anisotropie. Cet avantage permet de concevoir la pièce en tenant compte des sollicitations mécaniques qu'elle va subir. L'autre principal avantage des matériaux composites est leur masse volumique très faibles, ils permettent ainsi un allègement des structures en industrie aéronautique et spatiale.

Les matériaux composites structuraux se sont développés suivant deux voies technologiques principales : les procédés par voie humide pour lesquels le mélange entre les renforts et la matrice est réalisé dans le semi-produit (pré-imprégné) avant la phase de mise en forme, et les procédés par voie sèche pour lesquels le mélange est réalisé par injection ou infusion pendant la phase de réalisation et de mise en forme de la pièce finie. Cette dernière voie permet une réduction de façon conséquente des coûts de stockage et une augmentation des épaisseurs des renforts utilisés.

Les principaux essais normalisés permettant de caractériser le comportement mécanique des composites sont associés à une métrologie ne pouvant fournir que des observables macroscopiques.

La caractérisation des composites unidirectionnels par essai de traction uni-axiale dans le sens des fibres ou par essai de flexion avec les fibres orientés dans le sens de la longueur d'éprouvette (0°) fournit des informations sur les propriétés élastiques et ultimes du matériau (module de Young et résistance à la rupture en traction et en flexion). Les grandeurs obtenues pour ces deux configurations d'essais sont peu sensibles au niveau d'adhésion fibre-matrice et dépendent principalement du facteur fibre. L'évaluation des propriétés d'adhésion fibre-matrice est plus facile à mettre en évidence dans le cas de chargements perpendiculaires aux fibres (90°).

L'essai de traction par cisaillement plan est couramment utilisé pour caractériser la qualité d'adhésion fibre-matrice de composites à plis UD ou à renforts. Ce test est réalisé sur des éprouvettes rectangulaires renforcées par des fibres orientées à par rapport à l'axe de traction.

L'essai de flexion sur poutre courte (en anglais, Short Beam Shear : SBS) est certainement l'essai macroscopique le plus utilisé pour caractériser la qualité de

l'adhésion fibre-matrice pour les composites unidirectionnels. Il s'agit d'un essai de flexion 3 points réalisé entre deux appuis inférieurs rapprochés.

2.4 Energy Laboratory

2.4.1 PRODUCTION DU FROID

La production proprement dite de froid ne remonte qu'au xix^e siècle, avec l'avancement des connaissances en matière de thermodynamique et d'électricité. On peut mettre en œuvre plusieurs principes :

I - La réfrigération passive par rayonnement : c'est le rayonnement permanent de tout corps, plus chaud que son environnement, qui provoque la baisse de sa température. Cela suppose une bonne isolation du corps à refroidir tout en permettant que la chaleur puisse être transféré au milieu extérieur ;

II - L'évaporation d'un liquide : ce procédé, utilisé par le corps humain pour le rafraichir grâce à l'évapotranspiration, est aujourd'hui à la base de la plupart des installations frigorifiques. Un fluide frigorigène à basse température d'ébullition subit un cycle de transformations (en sachant que l'énergie thermique va du milieu le plus chaud vers celui le moins chaud) :

- Compression donc échauffement du fluide frigorigène : transfert de la chaleur (l'énergie thermique) du condenseur à l'air extérieur,**
- Détente donc refroidissement du fluide frigorigène,**
- Transfert de la chaleur (l'énergie thermique), de l'évaporateur du réfrigérateur, vers le fluide frigorigène.**

III - L'absorption d'un gaz par un liquide : ce phénomène endothermique peut être réalisé à l'aide d'ammoniac et d'eau. C'est ainsi qu'ont été réalisés les premiers réfrigérateurs par absorption (« appareil Carré », avant 1860. Ce système existe encore de nos jours dans de petits réfrigérateurs sans pièces mobiles, par exemple pour les camping-car.

IV - La réfrigération thermochimique : ce procédé met en œuvre une réaction chimique endothermique pour "faire du froid" ;

V - L'effet Peltier : du nom de son inventeur qui découvrit qu'il était possible de produire du froid avec de l'électricité. Le rendement de ce procédé est très faible, ce qui le réserve à des applications particulières où ne peuvent être mis en œuvre les autres procédés (par exemple dans les "rafraichisseurs" portables).

Les différences dans les systèmes de production d'eau chaude sanitaire se trouvent essentiellement dans la ressource énergétique utilisée. Ainsi, il est possible de trouver des mécanismes de réchauffement de l'eau basés sur l'électricité comme le chauffe-eau. Il est également possible de trouver des chauffe-eaux basés sur une ressource renouvelable, comme un panneau solaire, par exemple. Enfin, les chaudières au gaz peuvent également assurer la production d'eau chaude sanitaire grâce à différentes méthodes.

2.4.2 PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE

Aujourd'hui, les trois principales énergies utilisées pour produire de l'eau chaude sanitaire sont le gaz, l'électricité et les énergies renouvelables. Faisons le tour des principaux équipements disponibles pour chacune de ces énergies.

I- Chauffe-eau au gaz :

Si vous choisissez le gaz pour produire votre eau chaude sanitaire, deux solutions s'offrent à vous : le chauffe-eau instantané ou le chauffe-eau à accumulation. Avec un chauffe-eau instantané, l'eau est chauffée à la demande. Il ne nécessite pas de cuve de stockage et est donc moins encombrant qu'un chauffe-eau à accumulation. Il est indépendant du système de chauffage. Au contraire, le chauffe-eau à accumulation est plus encombrant. Mais, il permet de stocker un volume important d'eau chaude. Il est associé au système de chauffage central et, avec un chauffe-eau à accumulation, l'eau est chauffée indépendamment du puisage.

II- Chauffe-eau électrique :

Comme pour les chauffe-eau au gaz, vous avez la possibilité de choisir entre chauffe-eau instantané et chauffe-eau à accumulation. Les chauffe-eau électriques instantanés sont très faciles à installer et peu encombrants. Cependant, ils offrent un débit très faible et servent plutôt comme système d'appoint. Au contraire, les chauffe-eau électriques à accumulation proposent des réservoirs importants qui permettent d'utiliser de l'eau chaude en continue. De plus, avec un chauffe-eau électrique à accumulation, la température de l'eau reste constante.

III- Chauffe-eau énergie renouvelable

Aujourd'hui, les fabricants ont également mis au point des chauffe-eau qui utilisent des énergies renouvelables pour chauffer l'eau.

IV- Chauffe-eau thermodynamique

Le ballon thermodynamique fonctionne comme une pompe à chaleur. Il absorbe les calories de la pièce dans laquelle il se trouve (dans l'idéal, une buanderie) pour chauffer l'eau. Il permet ainsi de faire des économies d'énergie et offre une alternative écologique pour la production d'eau chaude sanitaire. Il s'installe très facilement, sans nécessiter de gros travaux.

2.4.3 PRODUCTION DE L'ELECTRICITE

L'électricité est la forme d'énergie la plus utilisée dans quasiment tous les secteurs de l'économie mondiale.

I- La centrale thermique

La centrale thermique à flammes produit de l'électricité grâce à l'exploitation des sources d'énergie fossile. Ces centrales se servent d'une grande chaudière, équipée de brûleurs, où se consumeront les combustibles tels que le charbon, le fioul ou le gaz. La chaudière est recouverte des conduits d'eau froide qui se transformera en vapeur grâce à la chaleur produite par la combustion de ces matières. Cette vapeur actionnera la turbine qui fera fonctionner l'alternateur afin d'obtenir au final, une électricité alternative. La distribution du courant vers les lignes à haute tension sera ensuite assurée par un transformateur.

II- La centrale hydroélectrique

La centrale hydroélectrique s'alimente en eau pour produire de l'électricité renouvelable. La centrale doit ainsi être installée à proximité d'un cours d'eau ou de la mer pour profiter des flux et des courants marins. Le système d'activation de sa turbine repose sur l'énergie cinétique qui est produite par le passage des flots. Ces derniers activeront à leur tour l'alternateur qui générera de l'électricité.

La centrale hydroélectrique se décline en 3 types : la centrale gravitaire, la station de transfert d'énergie par pompage (STEP) et l'usine marémotrice.

III- Les centrales à énergie solaire

Les centrales solaires utilisent les rayons du soleil comme source d'énergie. Ce système puise son énergie grâce à la concentration du rayonnement solaire. Celui-ci

est collecté à l'aide de plusieurs dispositifs adaptés tels que les capteurs solaires et les panneaux photovoltaïques. L'avantage de la technologie solaire est qu'elle permet de pratiquer des prix d'électricité peu élevés. Les installations des centrales sont déployées sur plusieurs hectares pour générer en retour une quantité d'électricité suffisante pour alimenter un territoire donné.

Il existe 3 types de centrales solaires : la centrale solaire thermique, la centrale photovoltaïque et la centrale thermodynamique.

Une centrale solaire thermique concerne plus l'exploitation des chauffe-eau solaires (individuels ou combinés) ainsi que les systèmes solaires collectifs.

IV- La centrale d'énergie éolienne

La centrale éolienne s'appuie sur l'énergie cinétique du vent. Les éoliennes s'apparentent à de très hauts piliers munis de pales que le vent fait tourner et qui alimentent des turbines reliées à un alternateur. Une centrale électrique exploite des centaines d'éoliennes afin de fournir suffisamment d'électricité renouvelable pour une localité.

2.5 Control Laboratory

La majorité des processus industriels nécessitent le contrôle d'un certain nombre de grandeurs physiques telles que la température, la pression, le niveau, le débit, le pH, la concentration, etc. Il appartient à la chaîne de régulation (et plus généralement à la chaîne d'asservissement) de maintenir ces grandeurs à des niveaux prédéterminés.

Toute chaîne de régulation comprend trois éléments indispensables :

L'organe de mesure (transmetteur) ;

L'organe de régulation (régulateur) ;

L'organe de contrôle (actionneur).

Il faut commencer par mesurer les grandeurs à contrôler. L'organe de régulation récupère ces mesures et les compare aux valeurs souhaitées, plus communément appelées valeurs de consigne. En cas de non concordance des valeurs de mesure et des valeurs de consigne, l'organe de régulation envoie une commande à l'organe de contrôle (vanne, moteur, etc.), afin que celui-ci agisse sur le processus. Les

para-mètres qui régissent le processus sont ainsi stabilisés en permanence à des niveaux souhaités.

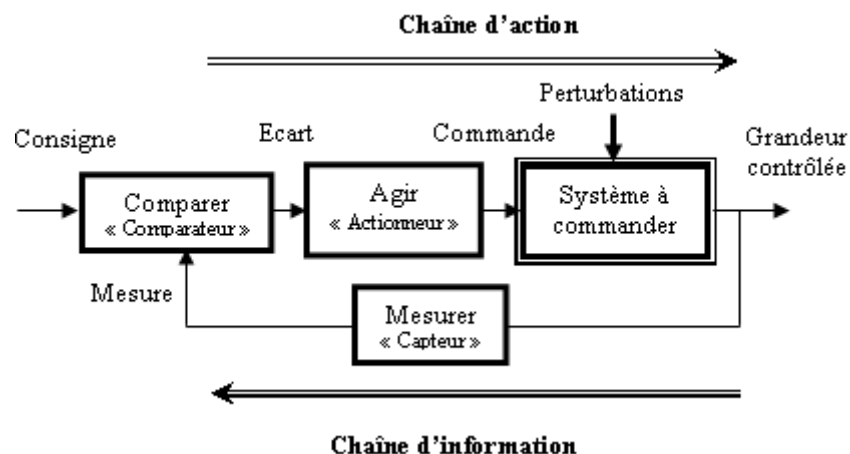
L'objectif d'une boucle de régulation est donc de maintenir constant la grandeur contrôlée conformément à la consigne (constante) indépendamment des perturbations. S'il n'y a pas de perturbations, on n'a pas besoin de faire la régulation.

Dans une boucle dite d'asservissement, on retrouve les mêmes organes que dans une boucle de régulation ; cependant la grandeur contrôlée est tenue à suivre le plus fidèlement possible les variations de la consigne.

Les différentes fonctions assurées par l'homme ou par des organes. En effet, pour le dernier système on a les fonctions suivantes :

- La fonction de mesure : le niveau est mesuré à l'aide d'un tube dérivateur ;
- La fonction de transmission de l'information : l'information est lue sur le tube et transmise visuellement ;
- La fonction de comparaison : le niveau instantané est comparé avec le niveau désiré ; celui-ci étant repéré par le trait R ;
- La fonction de régulation : en fonction de l'écart observé entre le niveau atteint et le niveau désiré, il y'a ouverture de la vanne plus ou moins grand ;
- La fonction d'action : selon l'écart observé, il y'a action sur la vanne manuelle.

On peut présenter la structure de la commande par le schéma fonctionnel suivant :



Cette organisation fonctionnelle représente la structure de base qu'on trouve dans tous les systèmes asservis ou régulés. Elle fait intervenir deux chaînes : une chaîne d'action et une chaîne d'information.

Ce type de système est appelé aussi système bouclé ou système de commande en boucle fermée. Une chaîne de commande en boucle fermée comprend :

- Un comparateur : Il élabore le signal d'écart entre la consigne et la mesure.
- Un régulateur : c'est le constituant ²intelligent² dans une boucle de régulation. Doté principalement de trois actions communément appelées Proportionnelle, Intégrale et Dérivée, le régulateur élabore à partir du signal d'erreur l'ordre de commande pour agir sur l'actionneur.
- Un actionneur : C'est l'organe d'action qui apporte l'énergie au système pour produire l'effet souhaité.
- Un capteur (transmetteur) : Le capteur prélève une information physique sur la grandeur contrôlée et la transforme en un signal compréhensible par le régulateur. La précision et la rapidité sont deux caractéristiques importantes du capteur.

Les principaux signaux dans une chaîne de commande en boucle fermée sont :

- Consigne : La consigne ou référence est la grandeur d'entrée d'une boucle d'asservissement ou de régulation que la grandeur contrôlée doit suivre. Elle doit impérativement être de même nature physique que la mesure pour pouvoir lui être comparée.
- Sortie : La sortie contrôlée représente le phénomène physique qu'il faut contrôler. C'est la raison d'être d'une boucle de contrôle.
- Mesure : Cette grandeur est fournie par la chaîne de retour. C'est l'image de la grandeur contrôlée.
- Perturbation : Une perturbation est tout phénomène physique intervenant sur le système qui modifie l'état de la sortie. Un système régulé doit pouvoir maintenir la sortie à son état désiré et ce, indépendamment, des perturbations.
- Ecart (Erreur) : C'est la différence à chaque instant entre la consigne et la mesure. Cette comparaison ne peut être réalisée que sur des grandeurs de même nature.
- Commande : C'est le signal élaboré par le régulateur pour agir c'est l'organe de réglage.

L'ordre donné en entrée est comparé avec l'image de la sortie fournie par le capteur. Le signal obtenu en sortie du comparateur va permettre de commander la chaîne d'action composée de deux éléments principaux, le correcteur et l'actionneur.

Le rôle du correcteur est d'adapter le signal d'erreur afin d'obtenir une réponse optimale de l'actionneur. Les critères choisis peuvent être divers mais essentiellement basés sur la précision, la rapidité, et la stabilité.

L'actionneur est chargé de réaliser l'action demandée par l'ordre d'entrée, à partir du signal de sortie du correcteur. C'est en général l'élément qui apporte la puissance pour l'action.

En cas de phénomènes perturbateurs agissant sur la grandeur de sortie l'obligeant à s'écarter de sa valeur désirée, le capteur rend compte au régulateur de l'état de la sortie et le processus de correction est déclenché par le régulateur afin de ramener la grandeur de sortie à sa valeur désirée.

Plusieurs types des régulateurs sont utilisées pour les systèmes linéaires : ON/OFF, PID, LQ, LQR, LQG, H-infini, Placement des pôles, MPC, Commande Optimale, séquençement des gains, ...

3. Résultats Obtenus

Ces applications présentent des expériences animées montrant les résultats de différents paramètres utilisés pour les moteurs à soufflerie et à combustion interne.

3.1 Wind Tunnel

Des expériences sur différentes souffleries peuvent être visualisées (subsonique, transsonique et supersonique). L'expérience est commandée par la vitesse du flux d'air et l'angle d'attaque ; les forces mesurées sont la force exercée sur la surface portante dans les directions X et Y.

Wind Tunnel Labs

Virtual Labs

Choose the airfoil and type of wind tunnel

Subsonic

Ogee Wing

E387

NACA0012

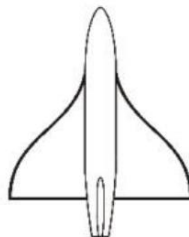
Transonic

Ogee Wing

Supersonic

Ogee Wing

Low Speed Subsonic Wind Tunnel

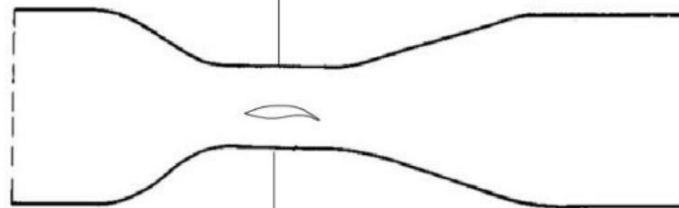


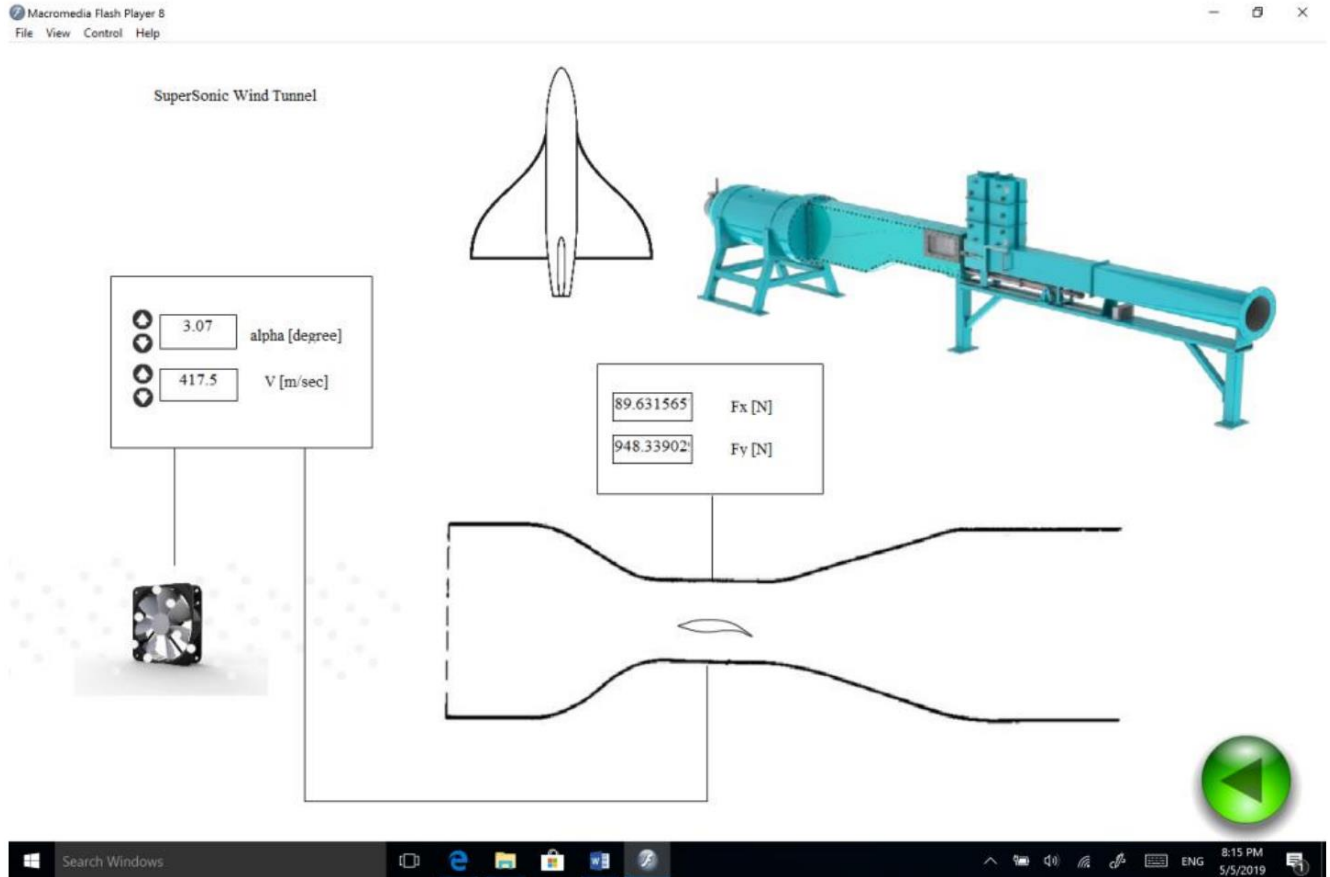
alpha [degree]
-1.99

V [m/sec]
133.6

Fx [N]
7.2963511

Fy [N]
-43.43446





3.2 Engines Laboratory

Des expériences sur différents moteurs peuvent être visionnées (moteur à compression, moteur à allumage commandé, turbine à gaz et turbo-réacteur). L'expérience est commandée par différents paramètres tels que charge, vitesse du vilebrequin, poussée... les paramètres mesurés sont les émissions, l'efficacité, la vitesse de rotation et autres.

Internal Combustion Engine Labs

Virtual Labs

Choose the type of engine

CI engine

4 Cyl NA

6 Cyl NA

6 Cyl TA

SI engine

GX390

Gas Turbine

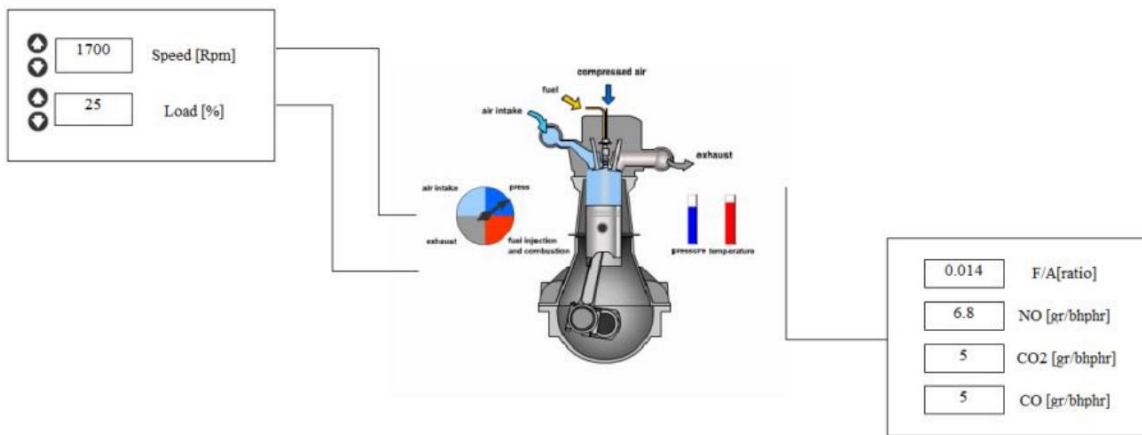
SGT5-4000F

Turbojet

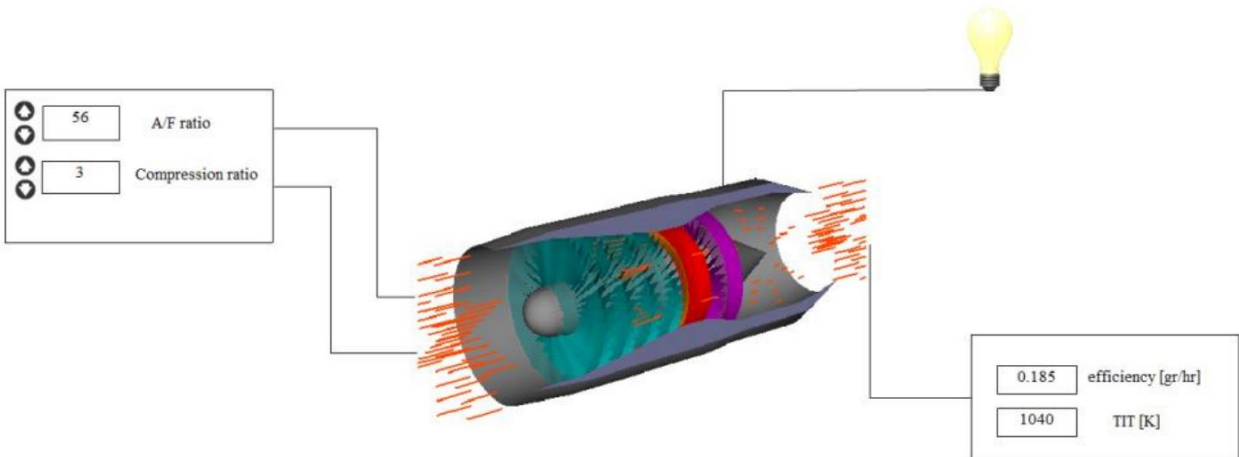
J85



CI engine 4 Cylinder

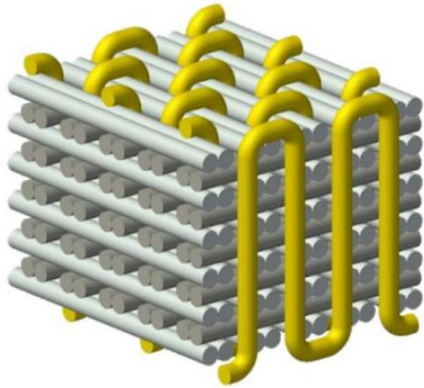


Gas Turbine - SGT5-4000F



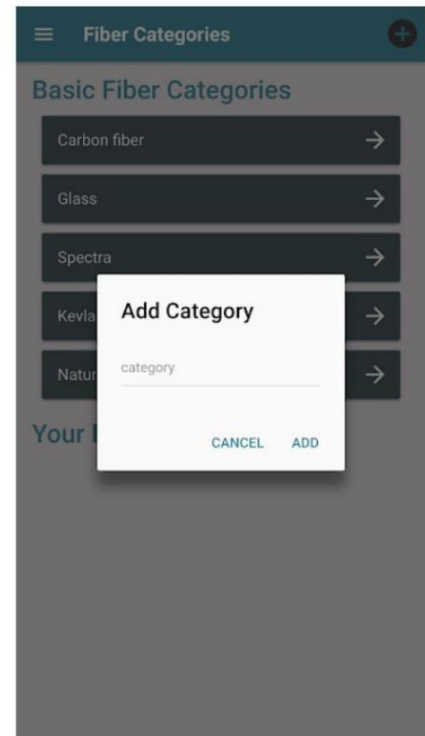
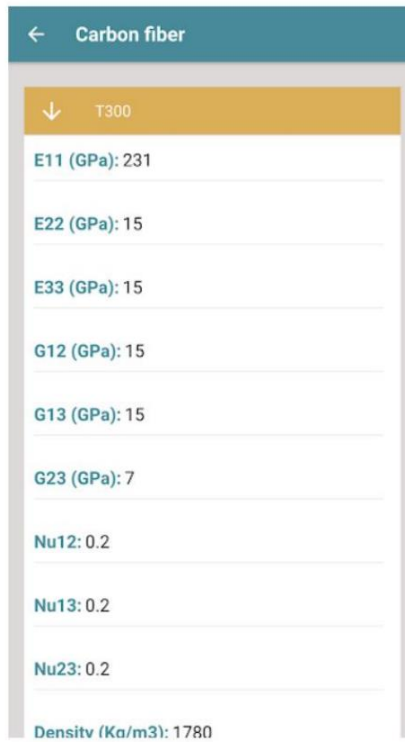
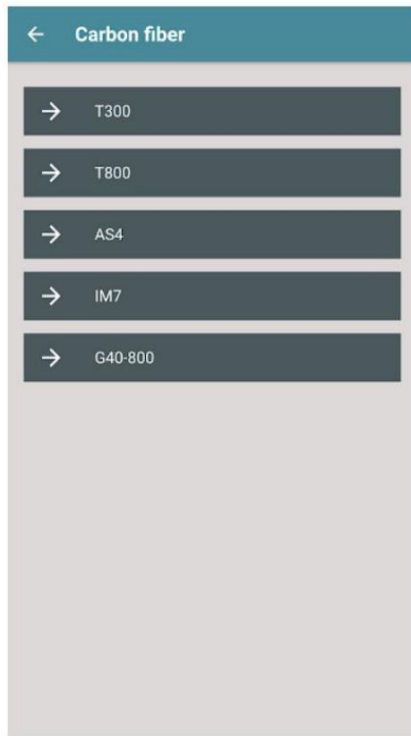
3.3 Composite Materials Laboratory

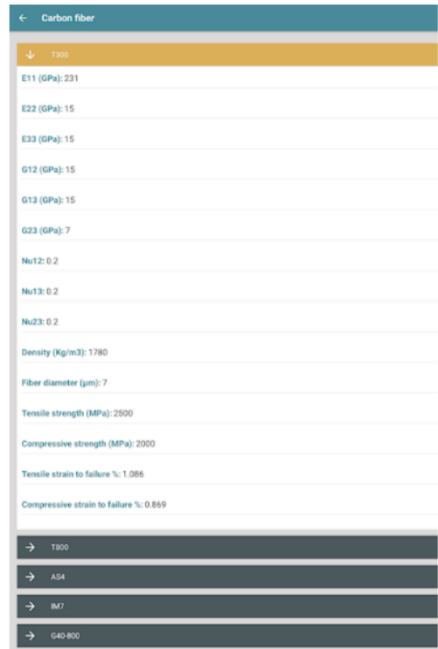
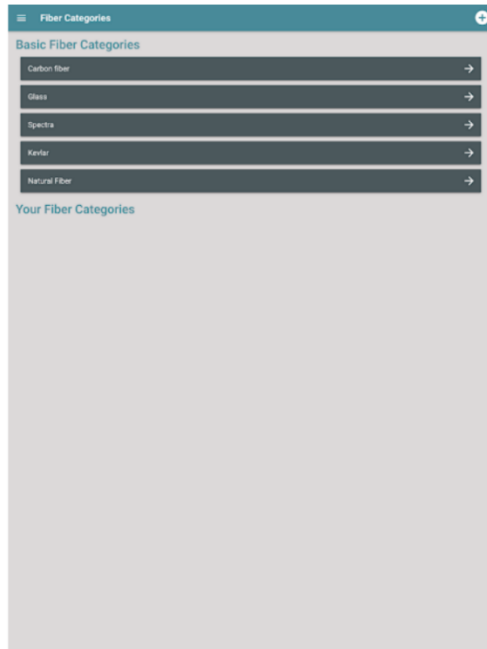
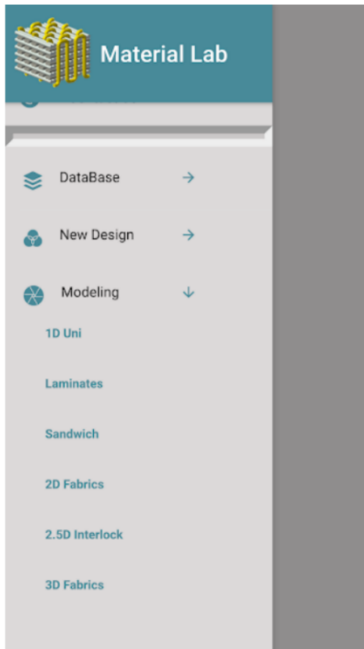
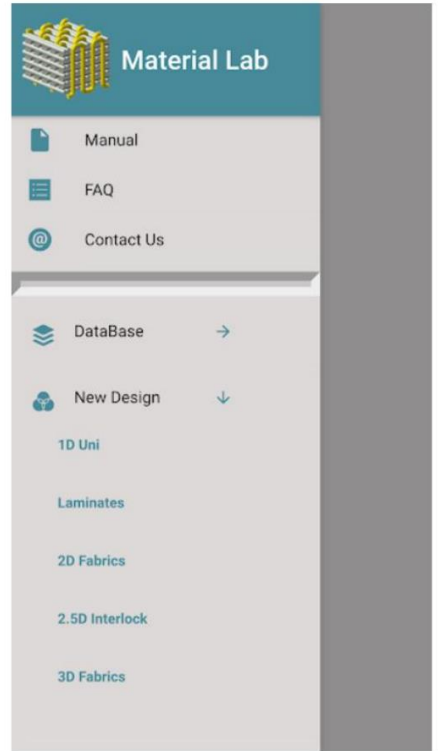
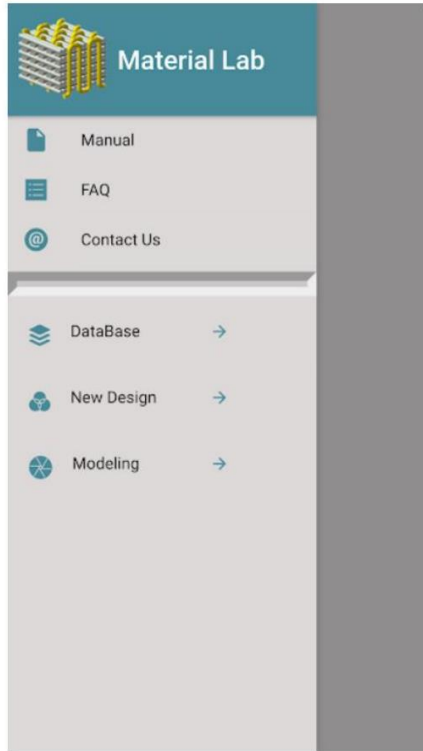
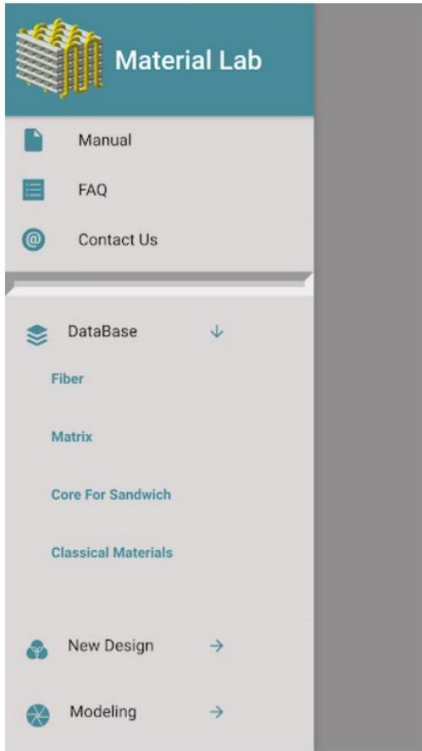
Il s'agit de laboratoire sur les matériaux composites faite sous forme d'une application Android. L'étudiant pourra combiner divers types de fibres et de résines puis d'expérimenter sous forme de calcul toutes les propriétés mécaniques élastiques et ultimes.



Material Lab

RAFIC YOUNES Education





Carbon fiber	
↓	T300
E11 (GPa):	231
E22 (GPa):	15
E33 (GPa):	15
G12 (GPa):	15
G13 (GPa):	15
G23 (GPa):	7
Nu12:	0.2
Nu13:	0.2
Nu23:	0.2
Density (Kg/m3):	1780
Fiber diameter (µm):	7
Tensile strength (MPa):	2500
Compressive strength (MPa):	2000
Tensile strain to failure %:	1.086
Compressive strain to failure %:	0.859
→	T800
→	AS4
→	IM7
→	G40-800

Carbon fiber	
↓	T300
E11 (GPa):	231
E22 (GPa):	15
E33 (GPa):	15
G12 (GPa):	15
G13 (GPa):	15
G23 (GPa):	7
Nu12:	0.2
Nu13:	0.2
Nu23:	0.2
Density (Kg/m3):	1780
Fiber diameter (µm):	7
Tensile strength (MPa):	2500
Compressive strength (MPa):	2000
Tensile strain to failure %:	1.086

3.4 Energy Laboratory

La version finale propose des générateurs d'électricité classique ou renouvelable. Une simulation dans une météo donne avec une charge résistive peuvent aussi être appliquée. Ce laboratoire est finalisé sous forme d'une application Android.

The image shows three panels of a software interface. The first panel, titled 'METEO', features a world map with color-coded regions and buttons for 'User Input', 'Macro', and 'Micro'. The second panel, titled 'ELECTRICITY', shows a calculator for a 'wind turbine 3 blades' with input fields for wind speed and power, and output fields for generated and effective wind power. The third panel, also titled 'ELECTRICITY', displays a file browser with folders for 'wind turbine list', 'diesel generator list', 'pv solar list', and 'Grid'. All panels have a common bottom navigation bar with icons for Power, Load, Meteo, Storage, and Project.

3.5 Control Laboratory

Ce Laboratoire est composé de deux parties : la première est consacré à la réalisation d'un contrôle linéaire avec un régulateur on/off ou un PID. La deuxième permet de retrouver les paramètres d'un modèle AR, ARX, ARMA, ARMAX d'un système linéaire.

The banner for 'CONTROL LAB' is titled 'LINEAR DYNAMIC SYSTEMS & MODELS'. It is divided into two main sections. The left section, 'MODELLING AND ANALYSIS', includes an image of a glowing circuit board and text describing the operation of a linear dynamic system with a controller. The right section, 'INDEPENDENT SYSTEM STUDY', includes a line graph showing a signal over time and text describing the study of a system as an independent device. The background of the banner is dark with a grid pattern.

Linear model

CONTROL
LAB

In this section, the linear model is generated by modifying the input and parameters of the system, controller, noise and sensor.

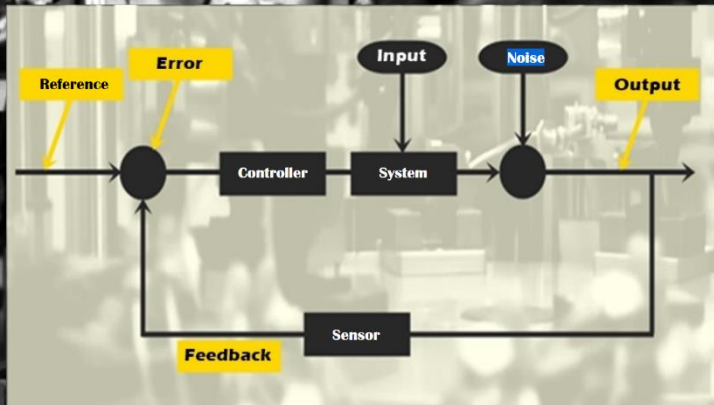
Before continuing the rest of the design, start by selecting the type of controller in the model.

PID ▾

The controller will optimize the system's input.

Before proceeding, confirm the selection of the type of controller.

Confirm



Reset model

Generate Output

ARMAX DATA GENERATION

CONTROL
LAB

Input data: No file chosen

Order of parameters of output: 1 ▾

Parameters of output:

Order of parameters of input: 1 ▾

Parameters of input:

MOVING AVERAGE: Parameter order: 1 ▾

Parameters:

Noise variance:

Time between iterations(in seconds)=

Generate graph

Reset

Back

ARMAX MODEL IDENTIFICATION

CONTROL
LAB

Data input: No file chosen

Data output: No file chosen

Parameter order: 1 ▾

Moving Average Parameter order: 1 ▾

Generate model

Reset

Back

Bilan Financier

<p align="center"> Rapport financier (tableau récapitulatif) CITEF: MOOC sur les laboratoires d'essai en ingenierie Organisme responsable : Faculté de génie- université Libanaise Le responsable de l'organisme : Pr. Rafic YOUNES , Doyen de la Faculté de Génie Date du convention : le 19 Novembre 2018 </p>						
N° pièce	produits	Fournisseur	Nature	Montant des dépenses payé par CITEF (USD)	Montant des dépenses payé par CITEF (€)	Montant des dépenses payé par UL (€)
1	Energy.Lab	BARMAJAGROUP	Estabilishing Application Agreement Energy -Lab -first payement	1,100	973	0
2		BARMAJAGROUP	Estabilishing Application Agreement Energy -Lab 2nd payement	1,100	973	0
3		BARMAJAGROUP	Estabilishing Application Agreement Energy -Lab 3rd payement	1,100	973	0
4		BARMAJAGROUP	Estabilishing Application Agreement Energy -Lab 4th payement	1,100	973	0
5		BARMAJAGROUP	Estabilishing Application Agreement Energy -Lab 5th payement	1,000	885	0
6		oussama ibrahim	Stage -Convention		2275	2000
7	Material.Lab	SOBUSINESS	composite Lab mobile app first payement	1375	1233	0
8		SOBUSINESS	composite Lab mobile app 2nd payement	1375	1215	0
9		SOBUSINESS	composite Lab mobile app 3rd payement	1384	1226	0
10		SOBUSINESS	composite Lab mobile app 4th payement	1375	1252	0
11	windtunel.lab	Hassan Naim	Stage -Convention	2275	2000	2000

12	Engines.lab	Hassan Naim	Stage -Convention	2275	2000	2000
13	Control.Lab	Anthony khouy	Stage -Convention	1138	1000	2000
14	Tickets	Hind Travel	ticket paris -yul- paris	509.61	448	0
15		Hind Travel	ticket beirut- paris	550.87	484.5	0
16		Hind Travel	ticket paris - beirut	386	339.5	0
		Sejour Hotel		0	0	400
Total				19,418	17,975	8400
Date :9/10/2019						