Document de support de la présentation :

**Développement d’un produit en aluminium :**

***De l’idée à la fabrication en série***

**Et étude de cas**

Contenu développé par :

Petrino Buzatu, ing.

Centre d’expertise et d’innovation sur l’aluminium d’AluQuébec

# Introduction

Ce document sert de complément d’information à la présentation : « Développement d’un produit en aluminium : de l’idée à la fabrication en série » d’Alu-Compétences. Les informations vous seront fournies pour chaque diapositive de la présentation, incluant un rappel de référence au besoin.

Ce module de formation est fourni dans le cadre du projet Alu-Compétences d’AluQuébec, la grappe industrielle de l’aluminium du Québec, et ses partenaires. Le projet Alu-Compétences vise à produire et à diffuser des contenus techniques et scientifiques pour l’enseignement de l’aluminium aux niveaux collégial et universitaire, notamment pour les programmes de design industriel, d’architecture et de métallurgie ainsi que pour les facultés de génie civil, mécanique et aérospatial. Alu-Compétences souhaite enrichir la formation des futurs professionnels sur les notions entourant l’aluminium. Il vise également à encourager les institutions d’enseignement à utiliser leur capacité d’adaptation des programmes de formation pour mieux répondre aux besoins des entreprises de l’industrie de l’aluminium en assurant un bassin de main-d’œuvre qualifiée.

Les partenaires du projet Alu-Compétences vous souhaitent bonne lecture.

# Diapositive 4

En résumé, le but de ce matériel est d’encourager le réflexe de penser aluminium. Cette démarche est soutenue par ces points saillants :

* L’aluminium est une ressource abondante;
* Propre du point de vue de l’environnement - possibilité de recyclage à l’infini sans perte de propriétés, le recyclage de l’aluminium requiert peu d’énergie;
* On réduira la consommation d’énergie en utilisant l’aluminium dans les produits (par exemple les véhicules);
* Faible empreinte carbone avec une production locale (Québec) alimentée d’énergie renouvelable;
* Dans le futur proche, on va assister à une transition vers une empreinte carbone nulle au Québec grâce à de nouvelles technologies ;
* Encourager l’économie locale.

# Diapositive 5 et 6

Une des plus abondantes ressources minérales sur la terre, l’aluminium, est une découverte relativement récente en comparaison avec d’autres métaux : cuivre, fer, etc.

On a eu besoin de 80 ans pour découvrir un procédé industriel d’extraction par électrolyse à partir du minerai de bauxite, le premier procédé par voie chimique faisait de l’aluminium un métal cher comme l’or.

Quelques bornes temporelles dans l’histoire du développement et de l’utilisation de l’aluminium :

* Après la découverte de l’électrolyse par Martin Hall, ce dernier a fondé la première compagnie de production d’aluminium primaire : *Pittsburgh Reduction Company*
* 1893 : première statue en aluminium au *Piccadilly Circus*, London, encore aujourd’hui en bon état, démontrant la bonne résistance à la corrosion de l’aluminium.
* La *Pittsburgh Reduction Company* ouvre une aluminerie à Shawinigan en 1901 et une première production des lingots se fait au Canada.
* En 1926, la *Northern Aluminum Company Limited* commence à bâtir la ville industrielle Arvida où se trouve l’aluminerie Arvida. En 1966, la *Aluminum Company of Canada* changera de nom pour Alcan.
* La production du Québec atteint le niveau de 2,9 millions de tonnes aluminium primaire dans neuf alumineries, il est le 4ème producteur au monde.

# Diapositive 7

* **Première transformation d’aluminium**

À partir du minerai (bauxite), on extrait par procédé chimique l’alumine (oxyde d’aluminium) et par le procédé d’électrolyse, on obtient un important apport d’énergie et de consommation d’anode (carbone).

* **Deuxième transformation d’aluminium**

Les lingots obtenus à la première étape sont transformés pour créer des produits semi-fabriqués : feuilles, plaques, billettes et gueuses seront utilisées dans diverses industries.

# Diapositive 8

* À partir des produits semi-fabriqués obtenus lors de la deuxième transformation par différents procédés, on obtient des composantes qui permettront de fabriquer des produits divers.
* Les procédés se différencient par la complexité de la forme que la composante finale a besoin et aussi par la grandeur du lot de production (productivité nécessaire).
* On a deux types de procédés : un nécessaire pour produire les composantes et un autre pour obtenir les assemblages et/ou sous-assemblages.

# Diapositive 9

* Au début du développement du produit, la compagnie devait réaliser une étude sur la durée de vie et sur le cycle de vie économique, dans le but d’estimer les coûts et les investissements nécessaires, en plus d’évaluer le besoin du produit sur le marché.
* L’estimation du cycle de vie du produit positionne la compagnie dans l’échelle d’écoresponsabilité, qui devient de plus en plus un avantage du point de vue marketing.
* Toutes ces estimations font partie des données de départ pour enclencher le processus de développement du produit.

# Diapositive 10

* La vie d’un produit peut se diviser en 5 étapes principales : lancement, conception, mise en œuvre, exploitation et fin de vie.
* L’entreprise est impliquée directement dans les étapes de lancement jusqu’aux ventes et services. L’étape de conception du produit détermine directement les étapes d’exploitation et de fin de vie.
* Chaque département de l’entreprise a une contribution spécifique au développement, à la production et aux ventes et services.
* Dans cette étude, nous nous intéressons aux activités du département Recherche & Développement (ingénierie/industriel) sans oublier la collaboration nécessaire des autres départements dans les étapes de développement.

# Diapositive 11

* Le processus de conception en ingénierie a plusieurs étapes nécessaires qui s’enchaînent. Brûler certaines étapes pour avoir un développement et une sortie plus rapides du produit sur le marché, va générer un produit qui manque de compétitivité, avec des coûts de fabrication plus grands que les compétiteurs, des dépenses engendrées pour le support aux clients (service après-vente, maintenance, une réputation endommagée sur les marchés, etc.) et des produits potentiellement dangereux pour le client.

# Diapositive 12

* Pour chaque étape de la conception en ingénierie, on dispose d’outils hautement évolués au fait avec les derniers avancements des diverses technologies, surtout les technologies numériques.
* À partir du cahier des charges, qui définit toutes les caractéristiques du produit et les idées conceptuelles produites par l’équipe de conception, on passera à la numérisation des concepts préliminaires, c’est-à-dire, de construire la maquette virtuelle avec l’aide des outils informatiques, soit les logiciels DAO.
* La maquette virtuelle est la base de données qui partage toutes les informations sur le produit : géométrie, tests et simulations, maquettes, documentation pour certification, fabrication, matériel visuel pour le département de marketing, documentation pour les ventes et services, etc.

# Diapositive 13

L’étude de cas présenté dans ce matériel est un bon exemple de réussite de développement d’un produit à partir d’une idée originale jusqu’à la version prototype, version grande série.

# Diapositive 14

À partir de l’idée du designer et le marché ciblé, on va concevoir le cahier des charges où toutes les fonctionnalités sont envisagées : géométrie, esthétique, type de production (petite/grande série), délais et budget.

# Diapositive 15

Une fois le cahier des charges bien défini, on passe à l’étape de trouver des concepts à développer. Dans cette étape, le designer utilise des méthodes classiques : esquisses, maquettes, etc., surtout pour définir l’enveloppe géométrique et les fonctionnalités principales.

# Diapositive 16

Dans la prochaine étape de développement du produit, le concept-design a besoin d’une maquette virtuelle préliminaire pour avoir un point de départ pour les autres étapes. Cette première base de données facilite aussi le calcul préliminaire de coût de fabrication pour estimer le prix de vente, pour évaluer la position sur le marché, les délais et le budget.

Dans le but d’effectuer ce calcul, il faut avoir un premier choix des matériaux pour les composantes principales. Dans notre cas d’étude, les sous-assemblages principaux sont les cadres de la structure, choisis par défaut en aluminium à cause de la première contrainte de design : la légèreté, une caractéristique critique que ce produit devait avoir.

Les autres composantes sont choisies par le designer dans une approche fonctionnelle/esthétique et pour une production de grande série, c’est-à-dire pour des produits de grande consommation.

Le démarche et le choix de matériaux sera confirmé ou infirmé dans les prochaines étapes qui vont se dérouler au département d’ingénierie. Ce processus d’industrialisation (qui est en fait une optimisation du concept du point de vue coûts et fonctionnalité) se fait toujours en équipe design/ingénierie avec des échanges et itérations.

# Diapositive 17

La maquette virtuelle préliminaire réalisée par l’équipe design a le rôle de définir l’enveloppe géométrique et de montrer les fonctionnalités du produit.

L’organisation de cette base de données n’est pas toujours efficiente à utiliser dans les étapes suivantes au moment où le département d’ingénierie commence à être impliquée.

La plupart des logiciels CAO/DAO utilisés ont l’approche de type *arbre de construction* : les composantes seront groupées dans des assemblages et sous-assemblages, idéalement selon une composition que le produit physique aura.

Souvent, l’approche initiale du designer est de créer une liste de composantes uniques, sans aucune organisation, ce qui résulte en un modèle 3D pêle-mêle. Celui-ci est difficile à utiliser, que ce soit dans des simulations, dans la production de dessins de fabrication avec la liste des matériels (BOM), dans la production de documentation nécessaire aux méthodes de fabrication, manuels d’utilisation et entretien, etc.

Pour la modélisation 3D des composantes, il faut suivre une méthode qui simule le futur type de processus de fabrication, par exemple les pièces de type métal en feuille modélisées pour avoir une possibilité d’extraire le patron numérique déplié pour l’utiliser au découpage par l’outillage spécialisé.

# Diapositive 18

Le choix des matériaux fait préliminairement par le designer est plus général et se base davantage sur l’expérience et les connaissances générales. L’équipe d’ingénierie doit aller plus loin et préciser le matériau des pièces, leur donner une forme et des dimensions spécifiques qui sont commercialement disponibles et ce à un coût qui respecte le budget établi. Ce choix parfois complexe doit être confirmé par calculs et simulation et requiert souvent de procéder par itérations.

Dans le cas de l’étude présentée, l’aluminium a été choisi pour sa légèreté et disponibilité commerciale et la forme de tube circulaire choisi pour son esthétique. Du point de vue ingénierie, dans la famille large des alliages, il faut prendre celui avec les caractéristiques les plus proches de nos contraintes pour le produit : un alliage à bas coût, disponible au commercial, bonne résistance mécanique (matériau principal pour la structure), bonne résistance à la corrosion (éliminer le besoin d’un traitement de surface), facile à fabriquer (le cintrage de tubes d’aluminium et la soudure, des opérations dépendant de plusieurs paramètres).

Une fois les dimensions du tube choisies (dépendantes de certaines fonctionnalités du produit), des calculs analytiques de résistance des matériaux et des simulations confirmeront le choix.

# Diapositive 19

Dans l’étape d’optimisation du point de vue de la fabrication, on cherche les méthodes optimales de fabrication du produit.

Dans notre cas d’étude, les tubes de la structure ont besoin d’opération de cintrage avec un minimum de composantes et idéalement pour éviter la soudure (coût élevé, baisse de propriétés mécaniques du matériau dans la zone soudée).

Une alternative à la soudure sera l’assemblage mécanique (par exemple, l’utilisation de *brackets* et de rivets), mais il faut rester soucieux des coûts de fabrication.

Pour vérifier l’application du cintrage des tubes en aluminium, il faut tenir compte de l’état final des alliages (par exemple T4 versus T6) et des paramètres de cintrage (le diamètre de la section, l’épaisseur de la paroi et le rayon de cintrage).

# Diapositive 20

Les autres composantes du produit présentées dans cette étude ont subi un processus d’optimisation, soit de trouver les matériaux et les méthodes de fabrication moins coûteux sans affecter la fonctionnalité, la durabilité et l’esthétique demandées par le cahier de charges.

Tous les choix ont été vérifiés par calculs et simulations.

# Diapositive 21

Pour fabriquer le produit, nous avons besoin d’un fournisseur pour la composante et un fabriquant qui fournira le produit final. Idéalement, nous chercherons des fournisseurs locaux avec la capacité nécessaire de production (notamment, minimiser les coûts de transport).

L’évaluation des fournisseurs se fait à l’aide des soumissions qui vont donner l’information sur le prix des composantes, sur les délais de livraison et sur la capacité de production.

L’information sur le produit dont les fournisseurs ont besoin pour faire leurs soumissions, et plus tard pour commencer la fabrication, sera en principal contenu dans les dessins de fabrication, les modelés 3D et les patrons numériques de dépliage, tous obtenus à partir de la maquette virtuelle du produit. Les systèmes modernes de conception en ingénierie (logiciels CAO/DAO) sont conçus de façon à garder le lien entre la maquette virtuelle et la documentation envoyée au fournisseurs (dessins, etc.). De manière quasi automatique, chaque modification est transférée d’une à l’autre, augmentant la productivité du processus de conception, coupant les délais et en conséquence les coûts de développement.

# Diapositive 22

Une étape du développement du produit qui confirmera les démarches d’ingénierie et permettra de donner une image rapprochée de la réalité sur les coûts de fabrication sera la fabrication du prototype, suivi des tests. Cette étape donne l’opportunité de résoudre d’éventuels problèmes de fabrication et de faire des modifications nécessaires dans le processus de fabrication en série. Les tests vont confirmer les calculs et les simulations, éliminer les incertitudes, et certains tests pourraient estimer la durée de vie du produit.

# Diapositive 23

Le prototype dans la plupart des cas se fabriquera en quantité réduite.

Dans le cas présenté, le prototype a été réalisé en condition d’atelier et seulement une unité a été construite vu le budget limité. Certaines composantes spécifiques ont été commandées et fabriquées en condition de petite série (les joints, la découpe au laser et le plié manuel), la quincaillerie était standard (rivets, boulons, etc.), alors que d’autres outils ont été achetés « off-the-shelf » (par exemple les roues). L’équipement utilisé pour réaliser le cintrage des tubes était manuel et l’assemblage final a été également été fait manuellement par un opérateur (rivetage et soudage). Seuls des tests de fonctionnement avec charge maximale et d’inspection visuelle ont été réalisés dans le cadre de ce projet.