

## Une démarche de conception en sept étapes 1<sup>re</sup> partie : la conception

par Patrik Doucet, Ève Langelier et Ghislain Samson, professeurs  
Université de Sherbrooke

### Résumé

Dans son nouveau programme au 2<sup>e</sup> cycle du secondaire, le ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS) a identifié sept démarches à faire apprendre aux élèves. Il s'agit des démarches : 1) de modélisation ; 2) d'observation ; 3) expérimentale ; 4) empirique ; 5) de conception ; 6) de construction d'opinion ; 7) technologique d'analyse. Le présent texte s'attardera principalement sur les démarches 5 et 7 et est tiré de la trousse *Le Génie, c'est génial!* présentée lors du dernier congrès de l'APSQ. La première partie tente de décrire un exemple de démarche de conception. La seconde partie fera l'objet d'un autre article et exposera deux démarches ; la démarche de « *reverse engineering* » ou rétro-conception et la démarche de dissection mécanique.

### Contexte

Cet article a été préparé à la suite de la présentation de l'atelier 810, *Un vélo... pour apprendre la démarche de conception technologique*, dans le cadre du 41<sup>e</sup> Congrès de l'APSQ, en octobre dernier. Il présente, de manière brève et simplifiée, la démarche générale de conception d'objets technologiques. Chacune des étapes de conception est présentée succinctement et exemplifiée. Aussi, quelques considérations pour en faciliter l'enseignement sont exposées.

### Démarche de conception

La conception est un art ; son apprentissage se fait surtout par son expérimentation. Toutefois, des travaux de recherche dans le domaine scientifique du *génie de la conception* ont permis d'expliquer certaines pratiques de concepteurs réputés excellents : des outils, des méthodes et des démarches de conception résultent de ces recherches. De manière très vulgarisée, on peut dire que pour la conception d'une automobile, d'un avion, d'un ordinateur, d'un logiciel ou de n'importe quel autre produit, la démarche qu'emprunte l'ingénieur ou le concepteur peut se ramener à trois étapes simples :

- déterminer **quoi** faire ;
- déterminer **comment** le faire ;
- le **faire**.

Cette démarche est itérative et la boucle se referme finalement en validant que ce qui a été fait répond bien à ce qui devait être fait. Certes, ces trois étapes

ne sont pas suffisamment détaillées pour concevoir des produits élaborés. Dans l'industrie, celles-ci sont décomposées en plusieurs autres étapes : quelques dizaines, voire plus d'une centaine ! Pour les besoins de l'article, une démarche de conception en sept étapes est proposée à la figure 1.

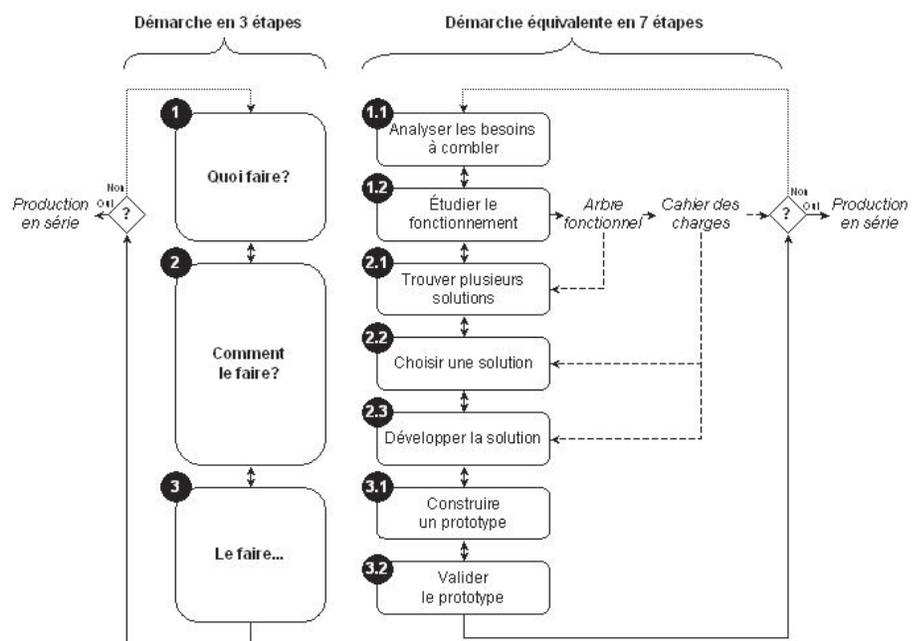


Figure 1 : Mise en parallèle de démarches de conception à 3 et à 7 étapes



Figure 2 : Exemples de distributeurs de soie dentaire (DSD)

Chacune des sept étapes est décrite sommairement dans les paragraphes suivants. Aussi, un exemple d'application est donné : la conception d'un nouveau distributeur de soie dentaire (DSD). Évidemment, ce produit n'est pas nouveau. Il en existe plusieurs modèles, des plus traditionnels aux plus amusants, en passant par ceux destinés aux professionnels de la santé (voir figure 2). L'innovation proposée dans le cas présent consiste à développer un DSD qui se fixerait à un tube de dentifrice.

### 1.1 - Analyser les besoins à combler

Si l'on veut garantir le succès d'un produit, il faut que celui-ci plaise à ses futurs utilisateurs. C'est pourquoi la première étape de conception, relevant du marketing, vise à découvrir et analyser ce que les utilisateurs veulent :

- Qu'est-ce qui est important que le produit fasse ? Qu'est-ce qui n'est pas nécessaire ?

- Qu'est-ce qu'ils n'aiment pas des produits existants ? Qu'est-ce qu'ils en apprécient ?
- Quel prix veulent-ils payer ?
- Quelle est la durée de vie espérée ?

À l'issue de cette étape, on obtient la liste des besoins assortis de l'importance (pondération) que leur accordent les utilisateurs. La pondération des besoins est importante, car elle permet d'établir des priorités dans la conception visant à accroître la satisfaction des utilisateurs. Typiquement, elle varie de 1 (peu important) à 5 (très important). Par exemple, voici celle des futurs utilisateurs du DSD.

### 1.2 - Étudier le fonctionnement

Généralement, l'utilisateur n'exprime que ce qu'il souhaite retrouver dans le futur produit ; les besoins les plus élémentaires ne sont donc pas exprimés. Par exemple, l'utilisateur n'a pas spécifié que le DSD devait pouvoir couper le fil, ou guider le fil lorsqu'il

se déroule. Imaginez son insatisfaction si le futur DSD ne comblait pas ces besoins implicites ! Il importe donc de faire ressortir ces besoins cachés. Aussi, l'utilisateur s'exprime souvent par le biais de solutions : que le DSD soit en plastique, qu'il soit carré et assez gros, qu'il soit construit avec un couvercle transparent. Ce faisant, la liberté du concepteur est diminuée, ce qui nuit à l'innovation technologique.

La technique alors utilisée pour faire ressortir les besoins implicites et éviter de les exprimer sous forme de solutions consiste à étudier les fonctions que doit accomplir le produit. Les fonctions doivent faire abstraction des solutions et être formulées par un verbe d'action et un nom. Autant que possible, les fonctions doivent exprimer ce que fait le produit ou ce que font ses composantes. En transposant les besoins pondérés (tableau 1) en fonctions et en réfléchissant au fonctionnement d'un DSD et de ses diverses composantes, on obtient la liste des fonctions de ce produit (tableau 2).

Tableau 1 : Liste des besoins pondérés pour le nouveau DSD

|   | Besoins  | Pondération<br>1 à 5 |
|---|--|----------------------|
| 1 | Bas prix   | 3                    |
| 2 | Belle apparence  | 2                    |
| 3 | Bout de fil toujours accessible                              | 5                    |
| 4 | Contient une bonne réserve de fil                            | 4                    |
| 5 | Recyclable, fait uniquement de plastique                     | 5                    |
| 6 | Couvercle transparent pour voir la quantité de fil qui reste | 2                    |
| 7 | Se fixe à un tube de dentifrice                              | 4                    |
| 8 | Forme carrée et grosse (éviter d'être avalé par des bébés)   | 5                    |

Tableau 2 : Liste des fonctions pondérées du DSD

|    | Besoins                                 | Pondération | Fonctions                     |
|----|---|-------------|-------------------------------|
| 1  | Bas prix                                | 3           | Être abordable                |
| 2  | Belle apparence                         | 2           | Être esthétique               |
| 3  | Bout de fil toujours accessible         | 5           | Accéder au fil                |
| 4  | Contient une bonne réserve de fil       | 4           | Contenir du fil               |
| 5  | Recyclable                              | 5           | Être recyclable               |
| 6  | Indique la quantité de fil qui reste    | 2           | Indiquer la quantité de fil   |
| 7  | Se fixe à un tube de dentifrice         | 4           | Se fixer à un tube dentifrice |
| 8  | Utilisable sans danger pour les enfants | 5           | Empêcher d'être avalé         |
| 9  |   | —           | Couper le fil (sans danger)   |
| 10 | —                                       | —           | Fournir du fil                |
| 11 | —                                       | —           | Guider le fil                 |
| 12 | —                                       | —           | Faciliter la fabrication      |
| 13 | —                                       | —           | Favoriser la propreté         |
| 14 | —                                       | —           | Distribuer des bouts de fil   |

Fonctions résultant de besoins non exprimés...

Aussi, il est pratique d'organiser ces fonctions sous forme d'une arborescence, appelée *arbre fonctionnel*. La figure 3 présente celui du DSD. On y remarque qu'à gauche se trouve la fonction la plus générale du produit alors que vers la droite, ce sont des fonctions plus spécifiques, plus détaillées. Dans le bas (dans l'encadré), ce sont des fonctions dites *d'estime* : elles renseignent davantage sur ce que doit être le produit plutôt que sur ce qu'il doit *faire*.

Enfin, la dernière étape importante de l'étude du fonctionnement consiste à établir les *spécifications techniques* du produit, soit l'expression des fonctions en langage d'ingénierie. Par exemple, la fonction *Contenir du fil* sera spécifiée en terme de *Longueur de fil*, avec un objectif mesurable, 60 mètres. Les spécifications techniques sont consignées dans un *cahier des charges*. Il s'agit d'un document très important en conception, qui contient plusieurs informations techniques et scientifiques, nécessaires pour les étapes subséquentes. En effet et tel que l'indique la figure 1, le cahier des charges sert aux étapes 2.2 – Choisir une solution, 2.3 – Développer la solution et 3.2 – Valider le

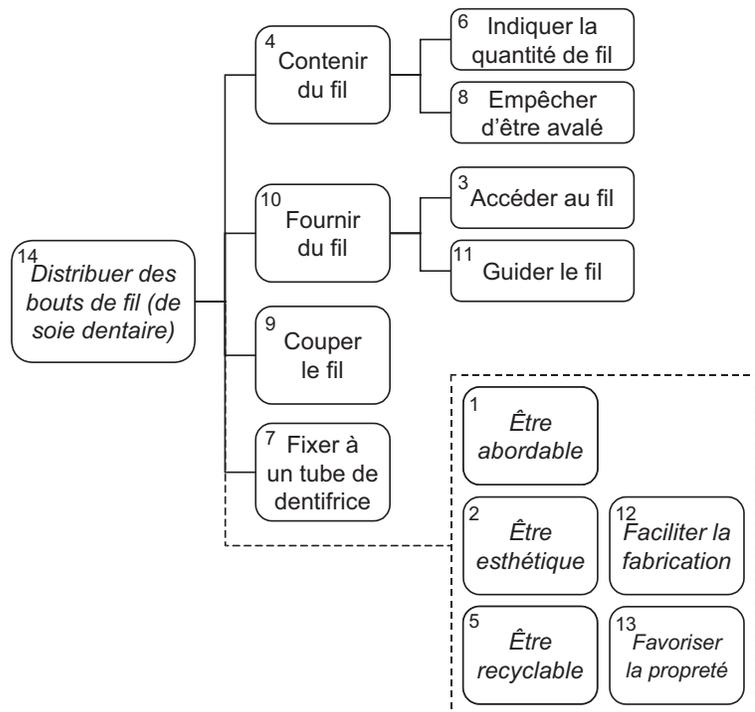


Figure 3 : Arbre fonctionnel du DSD

prototype. Bien qu'on puisse y préciser plusieurs informations (système de coordonnées, système d'unités, logiciels utilisés, etc.), voici ce que doit contenir minimalement un cahier des charges :

- un rappel de la fonction (et de sa pondération) ;
- une spécification technique (assortie de sa définition) ;
- un objectif à atteindre (parfois assorti d'une marge de manœuvre, appelée *flexibilité*).

Tableau 3 : Cahier des charges du DSD

Spécifications techniques du DSD

| Fonction                         | Pond. | Spécification                   | Définition  | Niveau                                    | Flexibilité |
|----------------------------------|-------|---------------------------------|---|---|-------------|
| 1- Être abordable                | 3     | 1.1- Coût                       | Le coût total unitaire (incluant fabrication et assemblage) pour la production de 100 000 DSD.            | 0.285\$                                   | ± 0.015\$   |
| 3- Accéder au fil                | 5     | 3.1- Longueur de fil accessible | Longueur de fil accessible après l'avoir coupé.   | 1 cm                                      | Minimum     |
| 4- Contenir du fil               | 4     | 4.1- Longueur de fil            | La longueur de fil dans le DSD pour assurer 60 utilisations (durée de vie d'un tube de dentifrice).       | 60 m                                      | Minimum     |
| 5- Être recyclable               | 5     | 5.1- Matière recyclable         | Pourcentage de matière recyclable dont est fabriqué le DSD (excluant la soie).                            | 100%                                      | Aucune      |
|                                  |       | 5.2- Nombre de matériaux        | Nombre de matériaux différents dont est fabriqué le DSD (excluant la soie).                               | 1   | Aucune      |
| 7- Fixer à un tube de dentifrice | 4     | 7.1- Force de retenue           | Le DSD doit demeurer attaché au tube de dentifrice sous l'effet d'un impact équivalent à sa chute au sol. | 10 N                                      | Minimum     |
| 8- Empêcher d'être avalé         | 5     | 8.1- Dimensions du DSD          | Les dimensions minimales pour empêcher que le DSD ne soit avalé par de jeunes enfants.                    | L = 0.025 m<br>I = 0.025 m<br>H = 0.025 m | Minimum     |
| 9- Couper le fil                 | 4     | 9.1- Dureté du matériau         | La dureté du matériau (plastique LDPE) permettant de couper le fil.                                       | 77 Rr                                     | Minimum     |
| 13- Favoriser la propreté        | n.a.  | 13.1- Fini de surface           | La surface doit être très lisse afin d'éviter que les saletés n'y adhèrent.                               | 10 mm                                     | + 5 mm      |

Notes à la conception du DSD

| Fonction                     | Pond. | Note   |
|------------------------------|-------|--|
| 2- Être esthétique           | 2     | 2.1- Comme tout produit de consommation, prendre en compte l'esthétisme, malgré la faible pondération de ce besoin.                          |
| 6- Indiquer quantité de fil  | 2     | 6.1- Utiliser un matériau qui permet de voir la quantité de fil restant dans le DSD.   |
| 9- Couper le fil             | 4     | 9.1- Le fil de soie dentaire devra pouvoir être coupé, de manière franche, au moins 60 fois. Prévoir la résistance à l'usure nécessaire.     |
| 11- Guider le fil            |       | 11.1- Prévoir un orifice ou autre forme servant à guider le déroulement du fil de soie dentaire.   |
| 12- Faciliter la fabrication | n.a.  | 12.1- Prendre en compte, dans les phases détaillées de la conception, les concepts du DFMA ( <i>Design for Manufacturing and Assembly</i> ). |
| 13- Favoriser la propreté    | n.a.  | 13.1- Utiliser des matériaux non toxiques et stables (ne se dégradant pas).  |
|                              |       | 13.2- Éviter les racoins et autres formes susceptibles d'accumuler de la saleté.   |

Aussi, il arrive que certaines fonctions soient plus difficiles à caractériser que d'autres (par exemple, la fonction *être esthétique*). On peut alors les exprimer sous forme de *notes à la conception*. Le tableau 3 présente le cahier des charges du DSD.

**2.1 - Trouver plusieurs solutions**

Les étapes précédentes ont permis de définir précisément ce que devait faire le produit ; il est maintenant temps de trouver des solutions. Tel que l'indique la figure 1, l'arbre fonctionnel est utilisé afin d'orienter cette étape. En effet, celui-ci contient l'ensemble des fonctions du produit, regroupées en constituantes. À cette étape, on recherche un maximum d'idées : toutes les solutions sont acceptées, même les plus farfelues (l'étape suivante se chargera d'éliminer ces dernières).

Dans l'exemple du DSD, l'arbre fonctionnel (figure 3) présente quatre branches principales : *contenir du fil* ; *fournir du fil* ; *couper le fil* ; *fixer le DSD au tube de dentifrice*. Des solutions doivent être trouvées pour ces quatre fonctions. Par ailleurs, les branches *contenir du fil* et *fournir du fil* possèdent chacune deux autres fonctions, des sous-fonctions. Bien qu'il aurait été possible de trouver des solutions spécifiques à ces sous-fonctions, il a été décidé de simplement les prendre en compte dans la recherche de solutions pour leur fonction principale. Enfin, concernant les cinq fonctions qui se trouvent dans l'encadré, il y a peu ou pas de solutions qui peuvent en émerger. Elles seront toutefois utiles à la prochaine étape (2.2 – *Choisir une solution*). Le tableau 4 présente quelques exemples de solutions pour deux des quatre fonctions principales du DSD. Notez d'ailleurs la présence de quelques solutions farfelues

(pour *contenir du fil*, utiliser des cheveux plutôt que de la soie dentaire, pour *fixer le DSD au tube de dentifrice*, s'inspirer du lasso du cowboy). À cette étape, ces solutions farfelues doivent être acceptées, car elles permettent de stimuler la créativité.

**2.2 - Choisir une solution**

Maintenant que plusieurs idées ont été trouvées pour répondre aux différentes fonctions du produit, il est temps de choisir la solution globale la plus satisfaisante et qui sera développée plus tard. Comme le montre la figure 1, le cahier des charges est ici utilisé, car il précise les objectifs à atteindre pour chacune des fonctions. Évidemment, les spécifications liées à des fonctions importantes pour l'utilisateur (pondération élevée) doivent être utilisées en premier choix comme critère de sélection.

Par exemple, pour la fonction *fixer le DSD au tube de dentifrice*, les spécifications liées à des fonctions ayant une pondération élevée et qui sont pertinentes pour le choix du système de fixation du DSD au tube de dentifrice, sont les suivantes (tirés du cahier des charges, tableau 3) :

- 1.1 Coût ;
- 5.2 Nombre de matériaux différents ;
- 7.1 Force de retenue ;
- 2.1 Esthétisme (note) ;
- 12.1 Facilité de fabrication et d'assemblage (note).

Ainsi, parmi les solutions pour cette fonction (tableau 4, ci-contre), celle qui s'est le plus démarquée est la sphère que l'on visse sur le tube. En procédant de la même manière pour les trois autres fonctions principales et en veillant à considérer les sous-fonctions et les fonctions d'estime, on obtient le concept global du futur DSD (figure suivante).

### 2.3 - Développer la solution

Cette étape vise à développer en détails la solution. Il s'agit d'un processus graduel, où l'on fait des calculs d'ingénierie, on pense à des matériaux possibles, on raffine les dessins... puis on approfondi les calculs, revisite le choix des matériaux, détaille davantage les dessins, et ainsi de suite. Ici, le concepteur capable d'utiliser les sciences du génie gagnera beaucoup en efficacité et en qualité. On procède ainsi jusqu'à ce qu'on ait pleinement confiance que la solution développée fonctionnera bien et que les exigences du cahier des charges ont toutes été respectées.

Par exemple, la figure 5 présente le résultat final du développement de la solution retenue pour le DSD. Il s'agit d'un plan détaillé indiquant toutes les dimensions à respecter, les matériaux à utiliser, leur dureté, etc.

### 3.1 - Construire un prototype

Avant de se lancer dans la production en série d'un nouveau produit, il est primordial de construire un prototype pour le tester. D'ailleurs, il est fréquent

Tableau 4 : Exemple de solutions pour les quatre principales fonctions [1]

|   |  |
|---|--|
| <p>Contenir du fil</p>                    |  |
| <p>Fixer le DSD au tube de dentifrice</p> |  |

en entreprise de fabriquer différents prototypes, pour valider des aspects précis. À titre d'exemple, certains véhicules présentés dans les *Salons de l'automobile* ont des allures futuristes, des lignes soignées, mais ils ne fonction-

nent même pas! Ils sont exposés uniquement pour valider auprès du public leur esthétisme. On peut donc fabriquer des prototypes pour tester leur robustesse, leur durée de vie, leur fonctionnalité, etc.

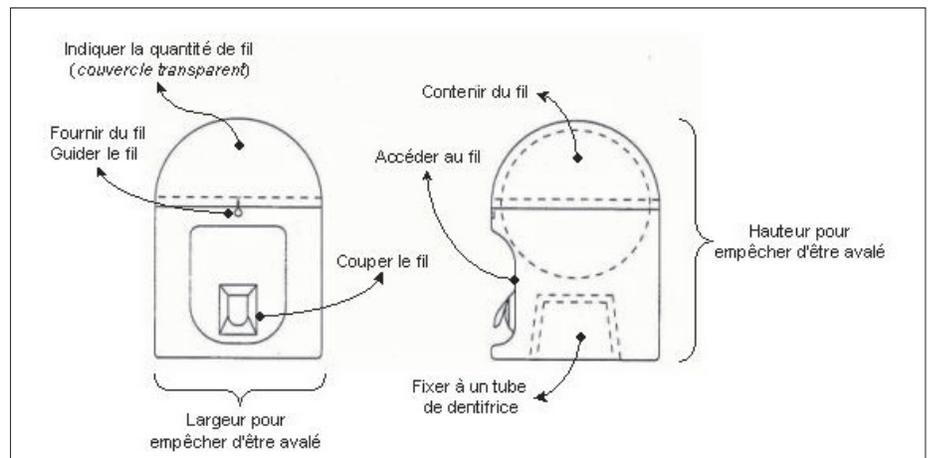


Figure 4 : Concept global du futur DSD [1]

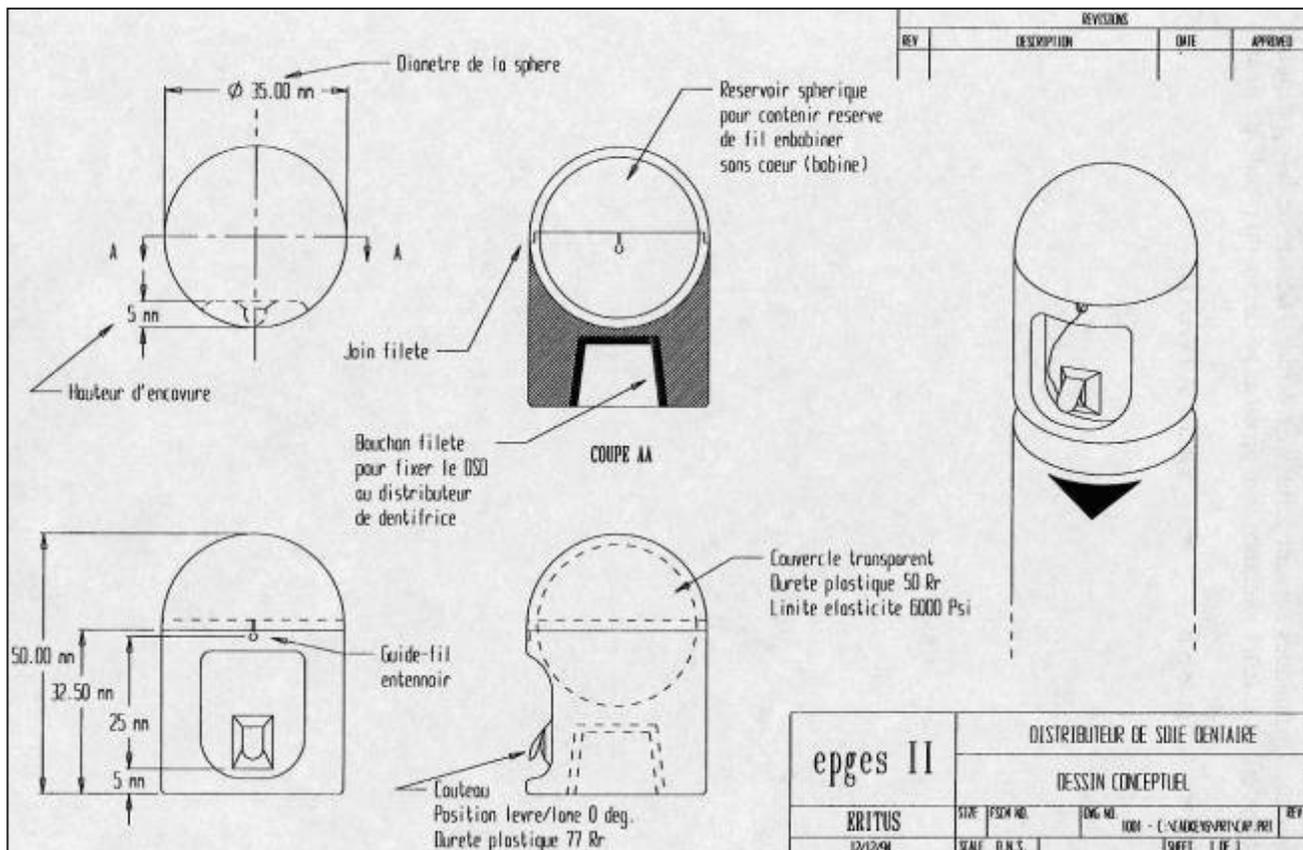


Figure 5 : Plan détaillé pour la fabrication du DSD [1]

Pour l'exemple du DSD, l'étude de cas s'est terminée avant la fabrication d'un prototype.

### 3.2 - Valider le prototype

Une fois le prototype construit, il faut vérifier si celui-ci répond aux besoins exprimés par l'utilisateur. Pour ce faire (et comme l'indique la figure 1), on utilise le cahier des charges. On procède alors aux différents essais et mesures qui permettent de valider chacune des spécifications techniques et chacune des notes à la conception : la masse, les dimensions, la résistance aux efforts, la durée de vie, l'esthétisme, la facilité de fabrication, etc. Ici, une démarche expérimentale rigoureuse, scientifique, est de mise.

Pour l'exemple du DSD, il n'y a pas eu de fabrication de prototype, donc pas de validation de celui-ci ! Quoiqu'il en soit, un produit très similaire à celui qu'aurait pu devenir le DSD est actuellement disponible sur le marché américain : le *Aquafresh Floss'n Cap*® (voir

figure 6). Il s'agit d'un tube de dentifrice comportant un bouchon auquel a été ajouté un distributeur de soie dentaire. Il existe plusieurs similitudes entre ce produit et notre DSD (figures 4 et 5) :

- couvercle transparent pour voir la quantité de fil qui reste ;
- quantité de fil qui semble correspondre à la durée de vie du tube ;
- légère cavité facilitant l'accès au bout du fil ;

- orifice servant à guider le fil ;
- suffisamment abordable pour être vendu avec un tube de dentifrice.

Un point intéressant de ce produit est que le distributeur ne se visse pas au tube (il est inséré de force dans un bouchon qui bascule). Le fait de ne pas avoir à toucher la soie pour dévisser le bouchon du tube favorise sa propreté. Toutefois, notre DSD se démarque quant à sa facilité de recyclage (très importante aux yeux des utilisateurs), avec son couteau innovateur fait entièrement de plastique.



Figure 6 : Produit mis en marché similaire au DSD conçu

## Considérations pour l'enseignement de cette démarche

L'enseignement de toute la démarche de conception permet de faire vivre une expérience très riche : partir d'une idée plus ou moins claire pour arriver à un prototype complet et fonctionnel est en effet très stimulant. Plusieurs apprentissages secondaires sont aussi réalisés : sonder les gens ; analyser un problème en faisant abstraction des solutions ; rechercher des solutions novatrices ; recourir aux sciences pour développer la solution ; construire un prototype (avec des outils appropriés) et le tester ; travailler en équipe ; rechercher de l'information sur Internet ; etc.

Un élément très motivant de cette démarche est la fabrication d'un prototype réel (pas juste une maquette) que l'on peut ensuite tester. Il importe donc de prendre en compte cet aspect lorsque vient le temps de choisir le projet à soumettre aux élèves. Notamment, il faut privilégier des projets qui :

- sont d'une envergure raisonnable (qui se réalisent dans un laps de temps acceptable) ;
- se fabriquent avec des matériaux abordables et faciles à mettre en forme ;
- répondent à un besoin réel (ou un besoin qui semble crédible).

Le projet peut aussi s'inscrire dans le cadre d'un concours. Il en existe plusieurs, comme le *Concours génie civilisé* (construction de ponts en bâtons de « Pop-sicle »), le *Défi génie inventif* (différents défis à chaque année, demandant une bonne étude du fonctionnement et beaucoup de créativité) et l'*Expo-sciences Bell* pour ne nommer que ceux-là.

Les projets peuvent être présentés de différentes manières. Par exemple, cela peut être un projet passablement bien défini, où les étapes de l'*analyse des besoins* et de l'*étude du fonctionnement* sont déjà réalisées ; il reste alors à trouver des solutions. On peut aussi énoncer le projet de manière très floue (exemple : construire un engin capable de propulser une masse de 100 g à plus de dix mètres).

## Conclusion

Ce premier article d'une série de deux visait à présenter la démarche générale de conception d'une manière qui se voulait à la fois simple et complète. L'étude de cas, la conception d'un distributeur de soie dentaire qui se fixe à un tube de dentifrice, permet de comprendre l'opérationnalisation de chacune des sept étapes de la démarche de conception ; il peut être utile pour l'enseignement de celle-ci.

Enfin, le second article traitera de deux sujets : d'abord, la rétro-conception (*reverse engineering*), une variante fort

populaire de la démarche de conception ; ensuite, la dissection mécanique, une activité pédagogique simple à mettre en œuvre et qui connaît généralement un bon succès auprès des élèves. ■

## Remerciements

La réalisation de cet article a été facilitée par l'obtention d'une subvention du CRSH (Conseil de recherches en sciences humaines du Canada) et de la Chaire CRSNG/Alcan. Nous ne pouvons passer sous silence, la contribution financière du CREAS de l'Université de Sherbrooke (Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences), également financé par le CRSNG (Conseil de recherche en sciences et en génie du Canada). Nous remercions sincèrement ces organismes pour leur encouragement à la promotion des sciences et du génie.

## Bibliographie

Charron, F., Proulx, D., Gauthier, F., Lemay, É., Murray, A., St-Amant, R. (1995). *Projet de conception — Distributeur de soie dentaire R2-D2*. Département de génie mécanique, Université de Sherbrooke.



## Note

L'article a été préparé à partir de la Trousse pédagogique, *Le génie, c'est génial!* et pouvant être consultée à l'adresse URL suivante : [www.eureka.gme.usherb.ca/genie-decouverte](http://www.eureka.gme.usherb.ca/genie-decouverte).

***Le génie, c'est génial!***

**[www.eureka.gme.usherb.ca/genie-decouverte](http://www.eureka.gme.usherb.ca/genie-decouverte)**