

## L'analyse des phénomènes physiques, éléments essentiels vers la résolution de problèmes industriels

Jean- Pierre Nadeau & Jérôme Pailhès

ENSAM

TREFLE UMR CNRS 8508

Esplanade des Arts et Métiers 33405 Talence France

[jean-pierre.nadeau@bordeaux.ensam.fr](mailto:jean-pierre.nadeau@bordeaux.ensam.fr)

### Résumé :

*Nous présentons ici les éléments de la prise en compte de la liaison entre les besoins utilisateurs et les phénomènes physiques mis en jeu lors de l'utilisation du produit.*

*Nous proposons une démarche structurée qui va de l'analyse des moments significatifs jusqu'à l'identification des critères d'appréciation de l'utilisateur et des variables de conception indispensables à la définition du produit. La décomposition de la phase d'utilisation du produit en moments significatifs permet de recenser les actions exécutées par l'utilisateur, d'extraire les effets physiques présents et de les qualifier en terme de pertinence.*

*L'exhaustivité de l'analyse s'appuie sur des outils méthodologiques et permet de définir les grandeurs physiques impliquées associées aux critères et aux variables de conception ainsi que les relations les liant. On peut ainsi impliquer les attentes utilisateur dès la conception préliminaire.*

*Cette démarche est appliquée à l'intégration des besoins « utilisateur » lors de l'ouverture d'un téléphone « foldable ».*

**Mots-clefs : attentes utilisateurs, moments significatifs, variables de conception.**

### Abstract :

*In this paper, we present the different elements of connection between users requirements and physical phenomena created during the use of products. We propose a structured methodology which goes from the analysis of the significant moments until the identification of the appreciation criteria of the user and design variables necessary to the product definition. The time decomposition of the product use in significant moments makes it possible to identify all actions realized by the user, to extract the physical effects and to qualify them in term of relevance. The methodological tools ensure the exhaustiveness of the analysis, to define the physical sizes associated with the criteria and the design variables as well as the relations between the criteria and design variables. Then we can take into account users requirements during preliminary design phase. This methodology is applied to the integration of the user requirements at the time of the opening for a telephone foldable.*

**Key words : users requirements, significant moments, design variables.**

## 1 Introduction

L'objet de la conception des produits et des systèmes est de satisfaire les besoins des utilisateurs. Nous proposons de mettre en place une méthodologie permettant d'intégrer les sensations utilisateurs en conception. Nous présentons ici les éléments prépondérants de la prise en compte de la liaison entre les besoins perçus et les phénomènes physiques mis en jeu lors de l'utilisation du produit. Nous réduirons les grandeurs physiques mises en jeu aux variables de conception et aux critères d'appréciation des utilisateurs pour obtenir un modèle parcimonieux. Le synoptique proposé sur la figure 1 récapitule la totalité de la démarche (Doré 2004). Ces attentes peuvent être exprimés sous forme de caractéristiques sensorielles (Doré *et al.* 2007) ou, dans le cas du téléphone, sous forme de critères particuliers.

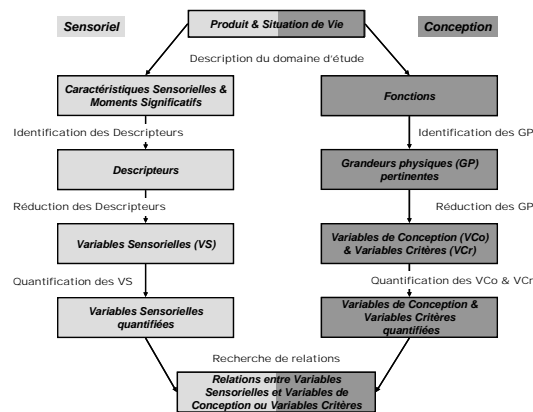


FIG. 1 – Synoptique de la démarche parallèle.

Nous appliquerons cette méthode au cas de la fermeture du téléphone « foldable ». La figure 2 définit les composants actifs du téléphone lors de sa fermeture.

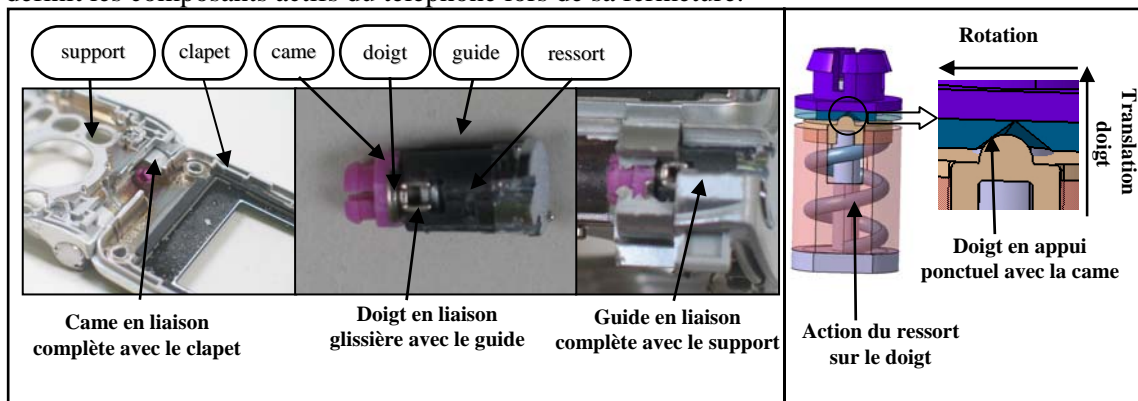


FIG. 2 – Composants impliqués dans la fermeture du téléphone.

Des tests auprès d'utilisateurs de téléphone ont permis de définir des critères d'appréciation. L'effort de fermeture ou d'ouverture (récepteurs somesthésiques) n'est pas pris en compte car il n'intervient pas lorsque le téléphone se ferme automatiquement. Le tableau 1 précise les critères d'appréciation (Cr) pris en compte : Angle et vitesse de rotation de l'unité d'écran.

Critère d'appréciation Cr	Ouverture	Fermeture
Angle position écran/support $\psi$	$\psi_o$	$\psi_f$
Vitesse de rotation à un angle donné $\theta$	$d\theta_o / dt$	$d\theta_f / dt$

TAB. 1 – Critères d'appréciation.

## 2 Moments significatifs et Situations de Vie

La notion de situation de vie (fermeture) a un défaut, elle ne peut, à cause de la faiblesse de la sémantique liée à sa description, que décrire une phase statique. Cela ne suffit pas car, le plus souvent, le problème, fruit de successions d'événements élémentaires, est dynamique. A l'instar de l'analyse sensorielle, nous nommons ces événements : moments significatifs (Doré et al. 2005). Le GRAFCET est un outil facile d'utilisation pour représenter la séquentialité de ces

moments (figure 2). Il permet, à la fois, d'exprimer la succession des moments et de définir les paramètres qui conditionnent les passages de l'un à l'autre.

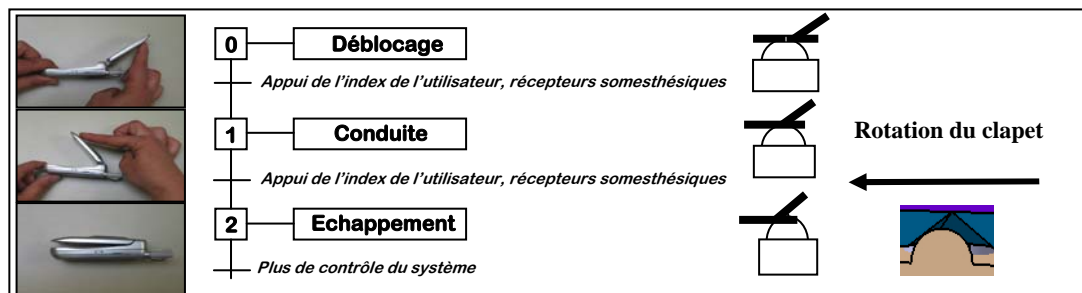


FIG. 3 – GRAFCET des moments significatifs pour la fonction « fermer le téléphone ».

L'unité écran manœuvrée par la main de l'utilisateur (déblocage et conduite) permet au ressort de se détendre (échappement) et de déplacer le doigt qui assure alors la rotation du clapet (donc de l'unité d'écran) via la came.

### 3 Phénomènes physiques mis en jeu et grandeurs physiques pertinentes

Afin de définir les grandeurs physiques que l'on peut associer aux critères émis par les utilisateurs, il est nécessaire d'identifier les flux fonctionnels utiles et induits par la satisfaction des fonctions de premier niveau. A cette fin, plusieurs outils sont à notre disposition, la redondance d'une partie de ces outils assure l'exhaustivité de l'analyse. Les outils que nous préconisons regroupent :

- l'organigramme technique du produit étendu aux milieux extérieurs (figure 4) (Pailhès *et al.* (2005))
- la première loi d'évolution des systèmes techniques (figure 5) (Savransky (2000))
- le bloc diagramme fonctionnel impliqué dans l'analyse (figure 6) (Scaravetti *et al.* (2006))
- des tableaux d'analyse physique (Nadeau *et al.* (2006))
- les lois physiques
  - lois de conservation (masse, énergie, quantité de mouvement, moment cinétique)
  - lois de comportement liées aux composants

Un système fait intervenir plusieurs composants regroupés dans l'organigramme technique étendu aux milieux extérieurs. Pour préciser le fonctionnement du téléphone nous exprimons l'organigramme technique jusqu'au niveau 2 (figure 4).

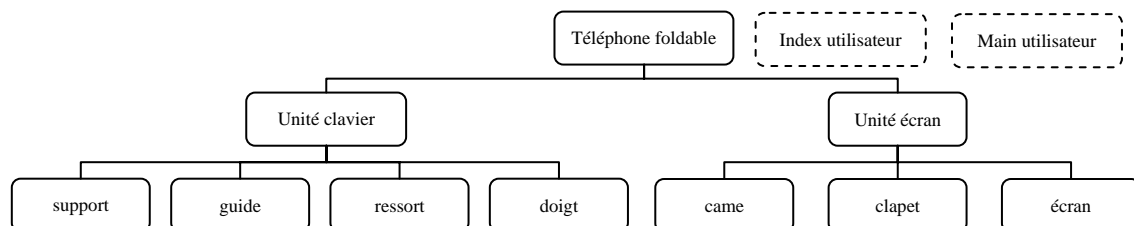


FIG. 4 – Organigramme technique étendu du téléphone foldable.

La réalisation d'une fonction implique la transformation d'une énergie. La première loi d'évolution des systèmes techniques (Savransky (2000)) permet de définir un composant moteur, un transmetteur et l'opérateur qui réalise l'action. La figure 5 met en évidence le moteur (ressort), le transmetteur (doigt) et l'opérateur (came) concernant la satisfaction de la fonction de service « fermer le téléphone » lors du moment significatif « échappement ». Le contrôle,

dans la phase « échappement », ne se fait pas par l'utilisateur mais est dû au concepteur du système qui doit maîtriser l'angle d'échappement par des choix de variables de conception.

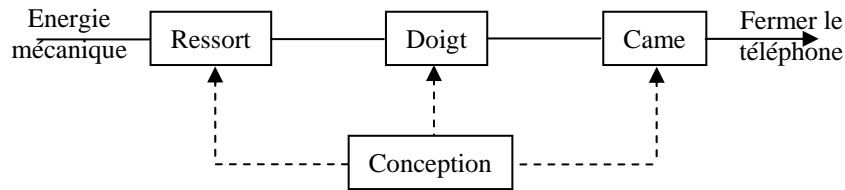


FIG. 5 – Loi d'intégralité des parties pour la fonction « fermer le téléphone ».

Le bloc diagramme fonctionnel permet de traduire l'évolution des flux fonctionnels à travers les composants en contact (trait fin) au niveau considéré. La figure 6 précise le cheminement du flux d'énergie mécanique (trait pointillé) entre certains composants pour la fonction étudiée.

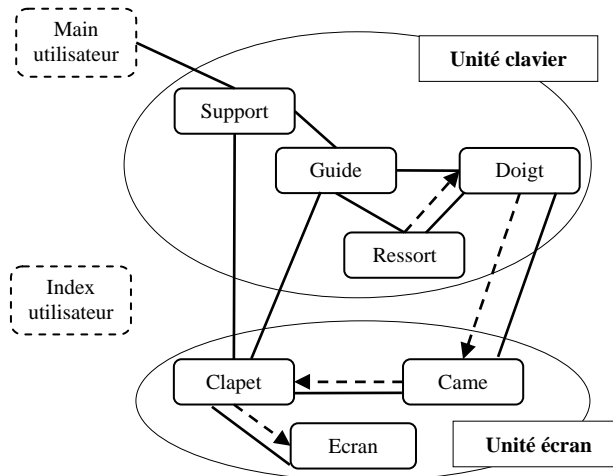
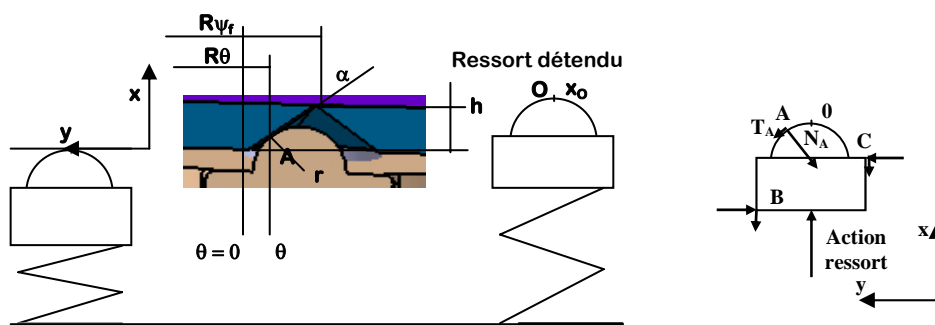


FIG. 6 – Bloc diagramme fonctionnel pour la fonction « fermer le téléphone »



**R** : rayon de la came      **α** : angle de la came      **θ<sub>0</sub>** : position de la came  
**r** : rayon du doigt      **k** : raideur du ressort      **x<sub>0</sub>** : position à vide du ressort

FIG. 7 – Evolution du doigt durant la fermeture et actions de contact.

La figure 7 présente les variables de conception de cette partie du téléphone. Les variables de conception (VCo) définissent le produit au stade de la conception préliminaire, elles permettent de différencier 2 solutions.

Il s'agit maintenant de mettre en place les lois physiques qui permettent d'exprimer les critères d'appréciation en fonction des variables de conception et de grandeurs physiques pertinentes.

Le premier critère, l'angle de fermeture s'exprime simplement par une équation de fermeture géométrique soit :  $\psi_f \cong \frac{h \sin \alpha - r \cos \alpha}{R}$  (1)

Le second critère (vitesse de rotation de l'unité écran), critère dynamique, impose d'exprimer les lois de conservation de la quantité de mouvement (moteur, transmetteur, opérateur).

Loi de conservation de la quantité de mouvement du moteur : équilibre du ressort

Exprimer l'équilibre du ressort impose de descendre à un niveau systémique inférieur. Nous supposons connaître la raideur du ressort, d'où :  $F_{ressort} = k \cdot flèche$  (2)

La flèche est une grandeur physique pertinente de la géométrie globale.

Loi de conservation de la quantité de mouvement du transmetteur : équilibre du doigt (somme des forces en projection sur l'axe x)

On l'a vu précédemment, le contact entre la came et le doigt est un contact réel, le tableau 2 récapitule les effets produit lors d'un contact réel.

La loi de comportement des contacts réels, pour une hypothèse de contact ponctuel, s'exprime ici par l'action tangentielle :  $|T_A| = |N_A| \cdot f$  (3)

L'équilibre du doigt s'écrit :  $k \cdot flèche - 2|N_A| \sin \alpha - 2|T_A| \cos \alpha - |T_B| - |T_C| = 0$  (4)

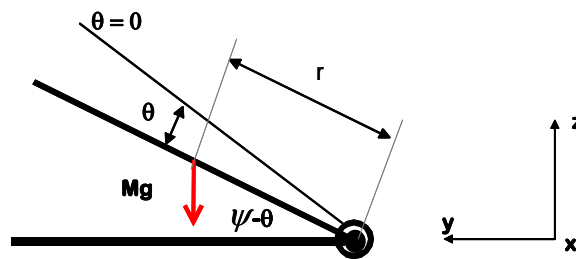


FIG. 8 – Unité écran

Loi de conservation de la quantité de mouvement de l'opérateur : équilibre de l'unité d'écran (somme des moments en projection sur l'axe x)

La came (opérateur) est liée complètement au clapet et à l'écran, on doit donc traduire l'équilibre de l'unité d'écran. Les grandeurs physiques liées à l'unité d'écran sont sa masse, la position de son centre de gravité et son moment d'inertie quadratique par rapport à l'axe.

$$2|N_A|R \cos \alpha - 2|T_A|R \sin \alpha \pm Mgr_G \cos(\psi - \theta) = I \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (5)$$

En conception préliminaire, on peut négliger le frottement. Les effets de la gravité ne sont pas du même ordre que les effets du ressort. Il vient alors :  $2|N_A|R \cos \alpha = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$  (6)

#### 4 Réduction des grandeurs physiques pertinentes aux variables de conception VCo et aux critères Cr

Nous cherchons à réduire le nombre de grandeurs physiques, pour cela nous allons les exprimer en fonction des variables de conception et des critères de qualification et d'appréciation des

fonctions. Si une grandeur physique s'exprime en fonction de critères et de variables de conception, c'est une variable auxiliaire et elle n'est pas pertinente.

La flèche est dans ce cas, en effet on peut l'exprimer en fonction des variables de conception, elle est le fruit d'une équation de fermeture géométrique.

$$\text{flèche} = x_0 - \frac{R\theta}{\text{tg}\alpha} + r \sin \alpha - r \quad (7)$$

On l'a vu, la raideur  $k$  pourrait s'exprimer en fonction des variables de conception du ressort (diamètre du fil, nombre de spires, diamètre d'enroulement, module d'élasticité transversale, limite élastiques) mais nous ne sommes pas à ce niveau systémique.

Le moment quadratique  $I$  de l'unité écran est aussi lié à la définition de l'écran, les variables de conception de l'écran n'interviennent pas dans la fonction « fermer le téléphone ».

En regroupant les équations 1, 4, 5, 6 et 7 et par intégration, la solution analytique est alors évidente :

$$\frac{d\theta_f}{dt} = \frac{B}{A} \sin \left[ \text{Arc} \cos \left( 1 - \frac{A\psi_f}{B} \right) \right] \text{ avec } A = \frac{kR}{I(\text{tg}\alpha)^2} \text{ et } B = \frac{k}{I\text{tg}\alpha} (x_0 + r \sin \alpha - r) \quad (8)$$

Ainsi, nous avons exprimé les deux critères (équations 1 et 8) en fonction, exclusivement, des variables de conception. Les attentes utilisateurs peuvent rapidement donner lieu à la définition de téléphones différents.

## 5 Conclusion

Il est indispensable d'intégrer les attentes utilisateurs dès la conception préliminaire. A cette fin, nous devons les exprimer sous forme de critères à intégrer dans les cahiers des charges.

Nous avons présenté une démarche structurée pour lier ces critères aux variables de conception et ainsi faciliter leur prise en compte. Cette démarche s'appuie sur des outils d'analyse (organigramme technique étendu aux milieux extérieurs, première loi d'analyse des systèmes techniques, bloc diagramme fonctionnel, tableau d'analyse des phénomènes physiques). Enfin, l'expression des critères et des lois physiques concernées en fonction des grandeurs physiques pertinentes et des variables de conception nous donne les relations qui décrivent la situation réelle. Puis on réduit chaque grandeur physique en les exprimant, si possible, en fonction des variables de conception. Les relations obtenues sont utilisées pour la définition du système en adéquation avec les attentes utilisateurs.

## Références

- Doré R., 2004, Intégration des sensations utilisateurs en conception préliminaire, application au ski parabolique et au virage de base, Thèse de doctorat, ENSAM.
- Doré R., Pailhès J., Fischer X., Nadeau J.-P., 2005, Integration of user's requirements in preliminary design : application to parabolic ski in basic turn, PLM05, International conference on product lifecycle management, Lyon, 11-13/07/05.
- Doré R., Pailhès J., Fischer X., Nadeau J.-P., 2007, Identification of Sensory Variables towards the integration of User Requirements into Preliminary Design, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 37, Issue 1, January 2007, 1-11, Elsevier.
- Nadeau JP., Pailhès J., 2006, Intégration de l'innovation et des sensations utilisateur en conception préliminaire par le biais de l'analyse fonctionnelle, Ingénierie de la conception et cycle de vie du produit, Chapitre 2, 43-62, Traité IC2, ISBN : 2-7462-1214-5, Hermès, Paris.
- Savransky S.D., 2000, « Engineering of creativity, Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving », Florida, Boca Raton, CRC Press, Boca Raton.
- Scaravetti D., Nadeau J.-P., Pailhès J., Sébastien P., 2005, « Structuring of embodiment design problem based on the product lifecycle », *International Journal of Product Lifecycle Management*, Genève, Indersciences Ed., Vol. 2, 47-70.

Pailhès J., Nadeau J.-P., Scaravetti D., 2005, Intégration des flux fonctionnels pour l'aide à la décision en conception préliminaire, CFM 2007, Troyes, 29/08/05-01/09/05.