

Développement de systèmes plus intelligents : Etude technique de systèmes d'aide à des programmes écologiques basés sur la modélisation.

*Dr. Graham John Bleakley, Rational Software,
IBM Software Group*

Sommaire

- 2 Introduction**
- 4 Identifier les fonctions essentielles du système**
- 7 Définir des solutions possibles**
- 7 Définir des critères d'évaluation**
- 9 Pondérer les critères**
- 10 Définir des courbes utilitaires**
- 13 Définir des indicateurs d'efficacité**
- 19 Définir une solution**
- 23 Conclusion**

Introduction

Nous savons qu'elles sont une partie essentielle du processus d'ingénierie des systèmes. Les études techniques nous permettent d'explorer complètement l'environnement conceptuel pour faire en sorte qu'une solution proposée réponde au mieux aux deux exigences – antagonistes – de performance et de coûts. Nous sommes pourtant nombreux à ignorer que l'on peut mener par l'analyse et de façon objective vos études techniques bien avant que vous n'étudiez quoi que ce soit. Une méthode axée sur la modélisation à l'aide du logiciel IBM Rational® Rhapsody® vous permet de définir la meilleure solution permettant de mieux saisir les exigences des intéressés tout en justifiant vos choix techniques.

Ce Livre blanc traite d'un problème de décision à variables multiples, qui repose sur le choix d'une source d'énergie pour un véhicule familial, écologique mais performant, destiné au marché européen / britannique. Les exigences de base des parties intéressées par ce véhicule portent sur les références écologiques et la faible consommation d'énergie, qui sont affichés en Euros (Livres anglaises - £). La figure 1 présente les deux exigences essentielles, ainsi que d'autres exigences.

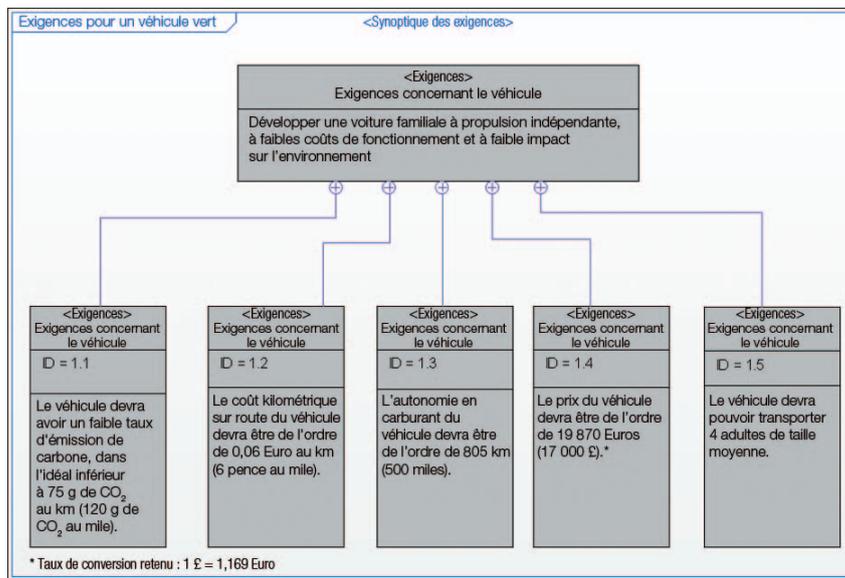


Figure 1 : Synoptique des exigences de haut niveau

Points clés

Méthode de pondération des objectifs : Un moyen d'évaluer de façon rationnelle un certain nombre de solutions possibles à un problème.

Nous étudierions dans ce livre blanc chaque étape de la méthode par pondération des objectifs et nous utiliserons le logiciel Rational Rhapsody pour définir le type de véhicule le mieux adapté à nos exigences.

Le mode opératoire que nous allons suivre repose sur le schéma de principe décrit dans la troisième version de *The Harmony Deskbook*¹ (un guide très utile à l'élaboration duquel ce même auteur a également contribué). Pour évaluer les solutions possibles, nous utiliserons une technique connue sous le nom de *Méthode par pondération des objectifs*,² et nous automatiserons le processus à l'aide du logiciel Rational Rhapsody (tel qu'il a été mis en oeuvre par A. Lapping, un collègue auquel l'auteur adresse de vifs remerciements). Chaque étape du processus, à l'exception de la tâche de « fusion des solutions pour constituer l'architecture du système », sera détaillée dans un exemple étudié, et nous traiterons brièvement de la mise en oeuvre dans le logiciel Rhapsody. Notre exemple de véhicule vert ne traite précisément que d'une seule fonction essentielle du système, la dernière étape indiquée dans la figure 2 ne sera donc pas débattue.

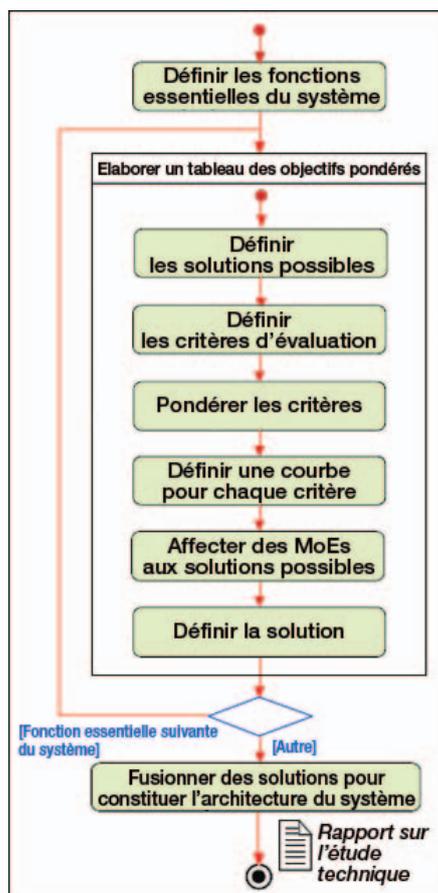


Figure 2 : Synoptique de l'étude technique

Points clés

Les fonctions essentielles du système : Regroupement des fonctions du système.

Nous utilisons des schémas de cas pratiques et des schémas d'activité pour Définir les fonctions essentielles du système.

Il est utile de faire observer que, bien que les données chiffrées utilisées dans cet exemple proviennent d'informations publiées, les résultats ne doivent pas être considérés comme définitifs. Nous nous proposons de donner un exemple sur la façon d'utiliser la méthode de modélisation et l'outil Rational Rhapsody ; cela n'implique pas que les véhicules électriques sauveront la planète dans un proche avenir.

Identifier les fonctions essentielles du système

La première étape de notre étude technique consiste à *identifier les fonctions essentielles du système*, qui découlent du synoptique des activités décrivant le schéma de principe du système. Nous nous sommes intéressés dans notre exemple au schéma de principe aboutissant au déplacement du véhicule (selon le schéma pratique « Conduire le véhicule », présenté dans la figure 3).

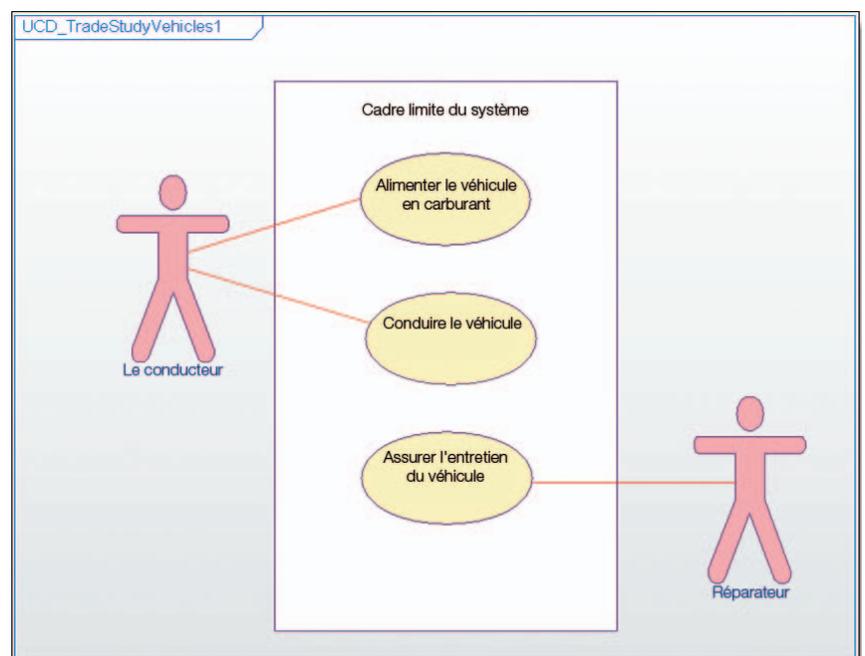


Figure 3 : Schéma pratique pour un véhicule vert

Points clés

Le scénario décrit une voiture en marche qui explique les informations spécifiques de la fonction du système clé de la force d'entraînement.

Le cas pratique « Conduire le véhicule » se décompose dans le simple synoptique présenté dans la figure 4.

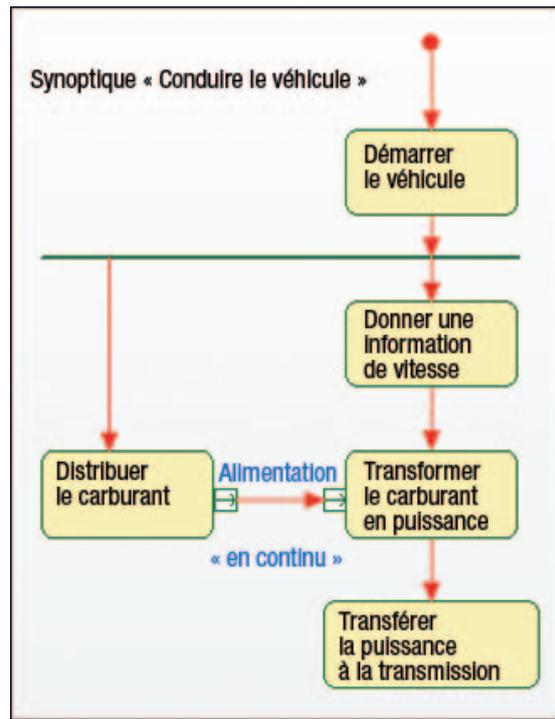


Figure 4 : Synoptique « Conduire le véhicule »

Lorsque le conducteur donne une information de vitesse – autrement dit, lorsque il accélère – le moteur du véhicule est alimenté en carburant par le circuit de distribution. Il convertit ensuite le carburant en puissance et le transfère à la transmission. La fonction essentielle du système dans le cas présent est saisie dans les actions « distribuer le carburant » et « transformer le carburant en puissance », que l'on peut combiner pour constituer la fonction essentielle du système « fournir la force motrice » (figure 5).

Points clés

Dans la figure 5, nous ajoutons la fonction essentielle du système « fournir la force motrice » au synoptique « conduire le véhicule ».

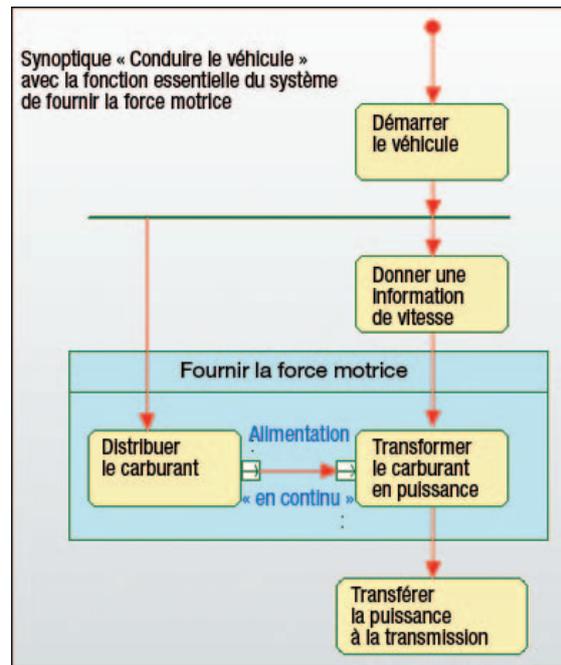


Figure 5 : Synoptique avec fonction essentielle du système identifiée (Remarque : On ne présente pas normalement le regroupement sur le synoptique. Il ne figure qu'à titre indicatif).

Nous créons des fonctions essentielles du système car, si des études techniques indépendantes étaient menées sur les fonctions « distribuer le carburant » et « transformer le carburant en puissance », il est possible :

- que l'on trouve des solutions incompatibles (par ex. combiner un circuit d'alimentation électrique à un moteur diesel propre)
- que l'on ignore des solutions possibles à la fonction essentielle du système car les fonctions à assurer sont trop imprécises. Si l'on adopte cette démarche, on finit par étudier des solutions partielles

Définition du problème à solution neutre : décrire un problème de telle façon que les solutions potentielles ne soient pas indiquées dans la définition.

Nous avons nommé la fonction essentielle du système « fournir la force motrice » de façon à obtenir ce qu'on appelle une *définition de problème à solution neutre*, autrement dit cette définition ne détermine pas une solution et limite de ce fait sa portée. Une fonction essentielle du système mal définie serait, par exemple, « fournir un moteur diesel ».

Points clés

Définir des solutions possibles

Une fois identifiée la fonction essentielle du système, il nous faut trouver des solutions possibles pour assurer cette fonction. Nous allons pour cela étudier trois solutions possibles :

- *Système d'alimentation au GPL*
- *Système hybride*
- *Système électrique*

Schéma de définition de bloc :
Schéma SysML affichant des blocs SysML, leur relation structurelle et leur interrelations.

Avec Rational Rhapsody, ces solutions sont présentées dans un *schéma de définition de blocs*, dans lequel un bloc représente la fonction essentielle du système et les trois solutions possibles lui sont rattachées via des relations générales (figure 6).

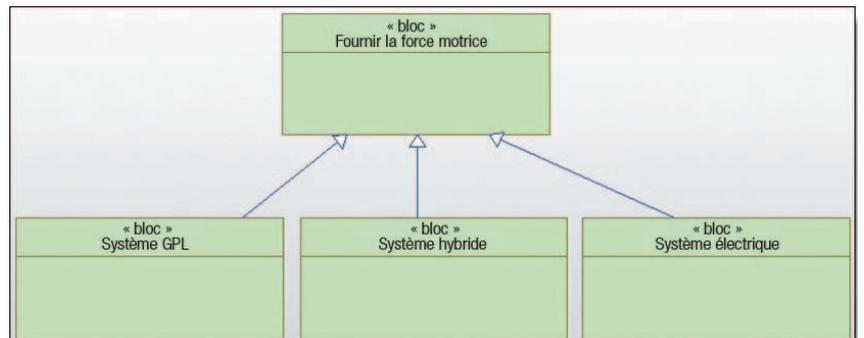


Figure 6 : Fonctions essentielles du système et solutions possibles

Définir des critères d'évaluation

Critères d'évaluation :
Caractéristiques du système requis par rapport auxquelles on évalue des solutions possibles.

L'étape suivante consiste à identifier les *critères d'évaluation*, ou les facteurs par rapport auxquels nous allons mesurer chaque solution possible. On obtient des résultats plus précis si l'on évalue des solutions possibles d'après un grand nombre de critères, mais cette approche prend aussi plus de temps car elle exige des informations fiables pour mener à bien l'étude. Notre exemple porte sur quatre critères d'évaluation.

Points clés

On peut définir des critères d'évaluation d'après les exigences ou en faisant appel au brainstorming, à des groupes de discussion ou à des analyses des besoins du client.

Il est possible de dégager des critères d'évaluation des exigences ou en faisant appel à des techniques comme le brainstorming, les analyses des besoins des clients, les analyses de développement de la fonction qualité, ou d'autres. Nos critères sont fonction de nos exigences (telles qu'identifiées dans la figure 1) et incluent :

- un faible taux d'émission (d'après l'exigence 1.1)
- une faible consommation de carburant (d'après l'exigence 1.2)
- une grande autonomie (d'après l'exigence 1.3)
- le prix d'achat prévu pour le véhicule (d'après l'exigence 1.4)

Le critère d'évaluation pour une faible consommation de carburant est une valeur dérivée fonction du coût de remise en charge d'une batterie ou de remplissage d'un réservoir standard de carburant, associée à l'autonomie du véhicule avec une batterie à pleine charge ou un réservoir plein. Nous montrerons par la suite la façon d'utiliser un schéma de paramètres pour déterminer une valeur d'évaluation pour ces critères.

En fin de compte, même si l'exigence 1.5 (figure 1) qui permet de définir la taille du véhicule, n'est pas aussi importante à nos yeux que les exigences 1.1 à 1.4, elle pèse lourdement pour le véhicule électrique. Notre modèle de véhicule doit être conçu pour une famille de quatre personnes, mais les véhicules électriques type sont biplace. Réaliser un véhicule de quatre places nécessite une source d'énergie plus importante et une transmission plus performante – et ces facteurs vont se répercuter sur le prix d'achat.

Une fois identifiés les critères d'évaluation, nous les ajoutons en attributs – sous le stéréotype <<moe>> à la fonction essentielle du système (figure 7). Le terme *MoE* sera défini ultérieurement.

On ajoute les critères d'évaluation comme attributs aux fonctions essentielles du système.

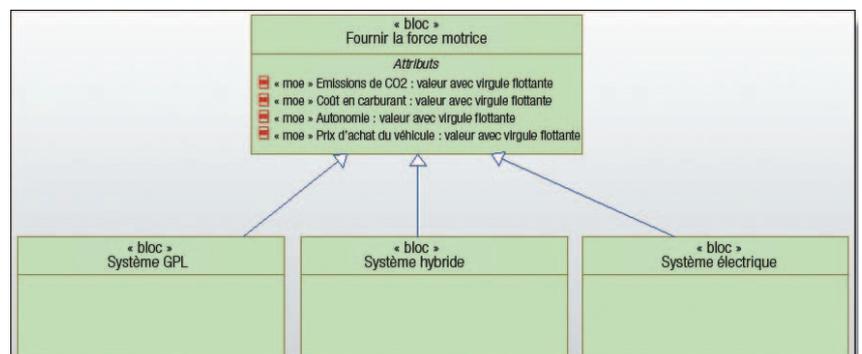


Figure 7 : Fonctions essentielles du système avec MoEs

Points clés

Au cœur de la méthode par pondération des objectifs : les coefficients de pondération des critères d'évaluation.

Rational Rhapsody attribue des coefficients de pondération pour vous, ce qui facilite une analyse plus minutieuse.

Pondérer les critères

Avant de pouvoir appliquer efficacement la méthode par pondération des objectifs, il nous faut attribuer un coefficient de pondération à chaque critère d'évaluation. Les coefficients de pondération indiquent l'importance d'un critère donné : plus une caractéristique est importante pour l'intéressé, plus le coefficient sera élevé. Le total doit être égal à 1. Dans notre exemple, nous savons que les critères d'évaluation les plus importants pour nos décideurs sont le faible taux d'émission de CO₂ et le fait coût en carburant. L'autonomie et le prix d'achat ont une moindre importance. Compte tenu de ces critères, nous affecterons les coefficients de pondération suivants :

Faibles émissions	0.3
Faibles coûts en carburant	0.3
Autonomie importante	0.2
Prix d'achat prévu	0.2
Total	1.0

Sachant leur impact sur la solution, ces coefficients de pondération doivent faire l'objet d'une bonne analyse avant tout calcul. Les parties concernées et les spécialistes collaborent en temps normal pour déterminer les coefficients de pondération appropriés, mais avec le logiciel Rational Rhapsody, on les affecte directement au <<moe>> en utilisant des balises de pondération (figure 8).

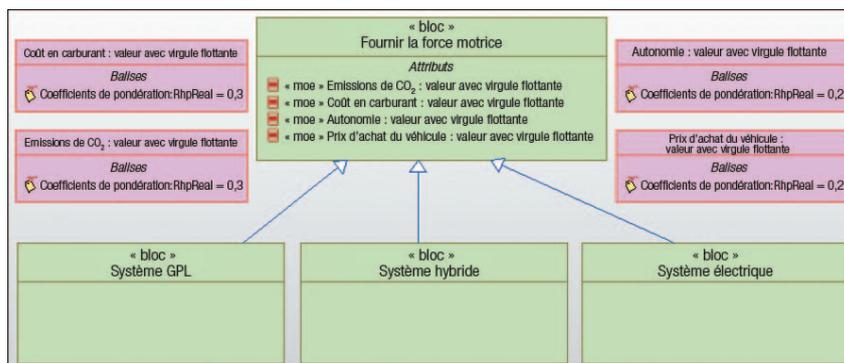


Figure 8 : MoEs avec affectation des coefficients de pondération de référence

Points clés

Nous allons ensuite utiliser une caractéristique du kit d'outil du logiciel d'ingénierie Rational Rhapsody qui copie les <<moes>> dans les solutions possibles, ce qui donne le synoptique de définition de la figure 9.

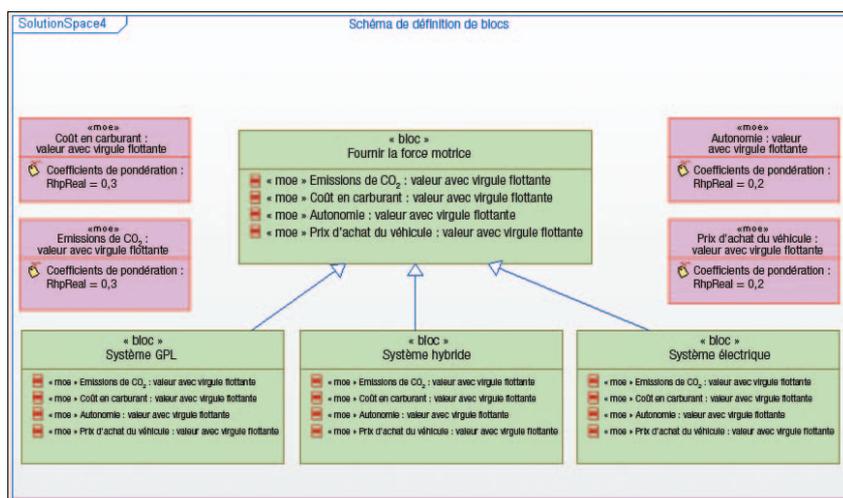


Figure 9 : Solutions intégrant les MoEs

Courbe utilitaire : Moyen de rattacher les critères d'évaluation à l'indicateur d'efficacité (Measure of effectiveness - MoE).

Indicateur d'efficacité (MoE) : Valeur permettant d'évaluer le degré d'aptitude d'une solution potentielle à satisfaire un critère d'évaluation donné.

Définir des courbes utilitaires

Une *courbe utilitaire* définit le rapport entre la valeur d'un critère d'évaluation donné pour une solution et ce qu'on appelle communément *l'indicateur d'efficacité (MoE)*. Pour définir le MoE, on entre la valeur d'un critère précis dans un graphique, ou une fonction mathématique, qui représente la courbe utilitaire. On obtient ainsi le MoE, qui va de 0 à 10 (0 correspondant à un MoE faible, et 10 à un MoE élevé).

Différentes méthodes permettent de déterminer la forme d'une courbe utilitaire. Il est toutefois important de noter que, pour chaque courbe utilitaire, les unités (grammes, centime d'Euro, kilomètres, par exemple) utilisées pour décrire la plage des X traduisent les caractéristiques particulières dans un certain secteur. Il ne s'agit pas nécessairement d'unités standard internationales.

Points clés

Utilisées pour rattacher les critères d'évaluation à l'indicateur d'efficacité, les courbes utilitaires peuvent être créées d'après un grand nombre de méthodes.

Exemple A

Donnons la valeur optimale de MoE de 5 au critère d'évaluation. Sélectionnons ensuite la plage de critères d'évaluation. Utilisons pour notre exemple plus ou moins 50 % par rapport à la valeur optimale. Attribuons aux valeurs supérieure et inférieure respectivement un MoE de 10 et de 0 et traçons la droite reliant ces trois points pour obtenir la courbe utilitaire. Nous avons utilisé cette technique pour les courbes utilitaires du coût en carburant, de l'autonomie et du prix d'achat du véhicule.

Exemple B

Identifions tout d'abord le critère d'évaluation que l'on estime donner la meilleure valeur attendue, et attribuons-lui un MoE de 10. Déterminons ensuite la valeur critique des critères d'évaluation, et attribuons-lui un MoE de 0. Pour obtenir la courbe utilitaire, traçons la droite reliant ces points. La figure 10 montre un exemple où le prix d'achat idéal d'un composant est de 0 dollar US. Ce critère a un MoE de 10. Le prix d'achat idéal est de 400 dollars US ; son MoE est 0.

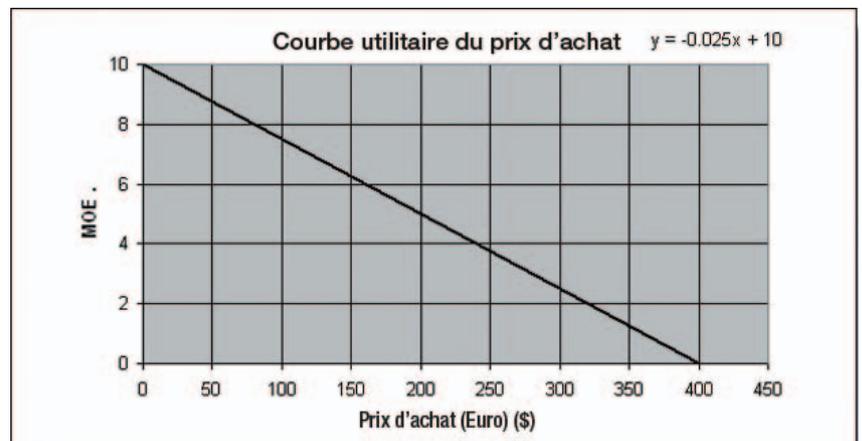


Figure 10 : Courbe linéaire utilitaire du prix d'achat

Exemple C

Déterminons un point optimal pour donner un MoE de 10, et sélectionnons une plage telle que, si le critère réel est inférieur ou supérieur au point optimal, le MoE dérive vers 0 (ceci donne généralement un arc d'une certaine courbure). Ceci indique que la solution envisagée est soit sous-soit sur-spécifiée. Dans la figure 11, le mécanisme étudié doit soulever une masse sur une distance maximale de 1,1 mètre.

Points clés

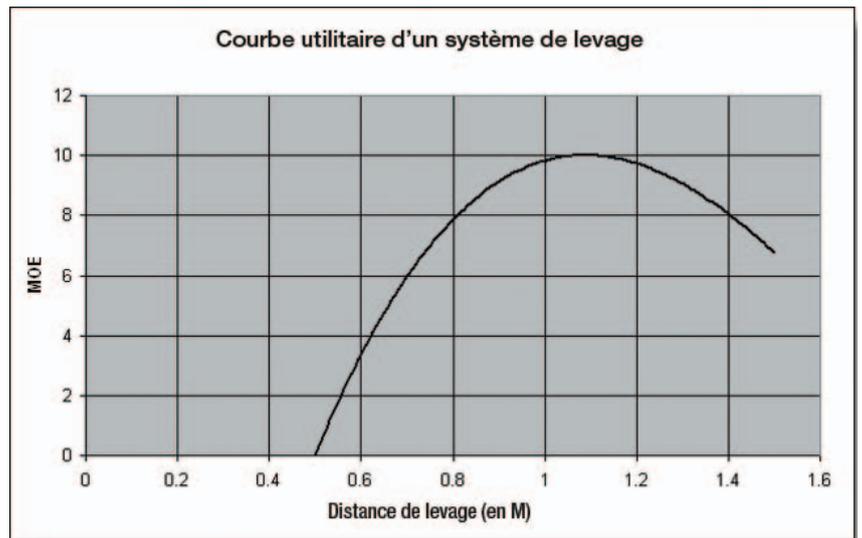


Figure 11 : Courbe utilitaire non linéaire

Exemple D

Certains intéressés et spécialistes définissent une courbe de façon subjective – par exemple, une courbe par palier ou une courbe non linéaire - et l'utilisent comme courbe utilitaire.

L'étape suivante de notre méthode consiste à déterminer des courbes utilitaires pour chaque critère d'évaluation

La courbe utilitaire de tous les critères d'évaluation dans notre exemple de véhicule vert est une courbe linéaire définie selon l'équation $Y = MX + C$ dans laquelle :

- $Y =$ valeur MoE de sortie.
- $M =$ Plage de la mesure (ce qui donne une valeur $-ve$ pour une courbe descendante et $+ve$ pour une courbe ascendante).
- $X =$ valeur du critère d'évaluation.
- $C =$ valeur maximale admissible du MoE, en supposant que 0 est la valeur minimale admissible.

Les taux d'émission à respecter indiquent une valeur cible maximale de 120 CO₂ grammes/kilomètre (g/km). Sachant qu'un véhicule électrique n'émet pas de CO₂, ceci donne une plage de 0 à 120 CO₂/ g/km, ce qui donne la courbe utilitaire suivante pour le MoE des émissions :

$$[10 \div (0 - 120)] \times (X - 0) + 10$$

Points clés

L'exigence de coûts en carburant donne une valeur cible de 0,06 Euro au km [(6 pence au mile (6 ppm)]. Une dispersion de plus ou moins 70 % donne une plage comprise entre 0,018 et 0,10 Euro/km (1,8 et 10,2 ppm), ce qui nous donne la courbe utilitaire suivante pour le MoE des coûts en carburant :

$$[10 \div (0,018 - 0,10)] \times (X - 0,018) + 10$$

L'exigence d'autonomie donne une valeur moyenne de 805 km (500 miles). Du fait de la faible autonomie des véhicules électriques, de l'ordre de 161 km (100 miles), nous estimerons cette évaluation entre 161 et 1450 km (100 et 900 miles), ce qui nous donne la courbe utilitaire suivante pour le MoE autonomie du véhicule :

$$[10 \div (1450 - 161)] \times (X - 161) + 0$$

L'exigence de prix de vente prévu du véhicule fixe l'objectif à 19 870 Euro (£ 17 000). Une dispersion de plus ou moins 50 % donne une fourchette de prix se situant entre 9 936 Euro (£ 8 500) et 29 810 Euro (£ 25 500), ce qui nous donne la courbe utilitaire suivante pour le MoE du prix de vente prévu :

$$[10 \div (9 936 - 29 810)] \times (X - 9 936) + 10$$

Une fois les courbes utilitaires créées, nous déterminons les indicateurs d'efficacité pour chaque critère.

Définir des indicateurs d'efficacité

Pour déterminer dans quelle mesure la solution possible satisfait la valeur moyenne, il nous faut connaître la valeur réelle de cette solution pour chaque critère d'évaluation. Nous intégrerons ensuite cette valeur à la courbe utilitaire correspondante - que nous avons créée au chapitre précédent - pour obtenir le MoE.

Emissions de CO₂

L'étude indique que les véhicules au GPL ont les mêmes performances que les véhicules diesel de tourisme. Ceci nous donne un niveau moyen de CO₂ d'environ 110 g/km. Pour les véhicules électriques, le niveau effectif de CO₂ est de 0 g/km. Pour les véhicules hybrides électriques, ce niveau approche 104 g/km.

Le véhicule électrique obtient le meilleur MoE en termes d'émissions de CO₂.

Emissions	Valeur réelle de CO ₂ en g/km	MoE
Véhicule au GPL	110	0.83
Véhicule électrique	0	10.00
Véhicule hybride électrique	104	1.33

Points clés

Prix d'achat du véhicule

Le prix moyen d'un petit véhicule à moteur à essence courant est de 16 366 Euro (£ 14 000). La plupart des solutions que nous allons étudier étant plus onéreuses, nous nous sommes fixés un prix d'achat proche de 19 870 Euro (17 000 £).

Du fait du coût représenté par le réservoir à gaz comprimé, le groupe compresseur et d'autres modifications à apporter au véhicule, un véhicule au GPL représente un coût supplémentaire de 2338 Euro (£ 2000), ce qui nous donne un prix d'achat de 18 704 Euro (£ 16 000).

Comme mentionné plus haut, le prix d'un véhicule électrique est normalement fonction du prix d'un véhicule à deux places. Puisque nous devons étudier un habitacle à quatre places pour un modèle familial, nous avons extrapolé une dépense supplémentaire de 80 %, soit un prix de 29 459 Euro (£ 25 200).

Par rapport à un véhicule à moteur à essence / diesel courant, les véhicules hybrides électriques sont 20 % plus chers, ce qui donne un prix total de 16 656 Euro (£ 16 800).

Le véhicule électrique obtient le meilleur MoE pour le prix d'achat.

Prix d'achat du véhicule	Prix réel en Euro (£)	MoE
Véhicule au GPL	18 704 (16 000)	5,59
Véhicule électrique	29 459 (25 200)	0,18
Véhicule hybride électrique	16 656 (16 800)	5,12

Autonomie du véhicule

Les véhicules roulant au GPL sont normalement équipés d'un réservoir de 90 litres, pratiquement équivalant à 91 litres (20 imperial gallons). Sachant que, pour des raisons de sécurité, le réservoir ne peut être rempli qu'à 80 % de sa capacité, le volume final du réservoir est de 72,8 litres (16 gallons). Le GPL s'est aussi montré 30 % moins performant que l'essence. Autrement dit, si nous partons de l'hypothèse de 14,2 km / litre (40 miles par gallon) pour un véhicule à essence, nous obtenons 9,9 km / litre (28 miles par gallon) pour un véhicule au GPL et d'une autonomie de 720 km (448 miles) pour un réservoir de 90 litres.

Du fait de la taille, du coût et de la capacité des batteries, les véhicules électriques ont tendance à avoir une autonomie très faible, de l'ordre de 161 km (100 miles).

Les véhicules électriques hybrides ne dépendent pas des charges électriques puisqu'ils stockent l'électricité grâce à leur système de freinage par récupération et du déplacement du véhicule. Un véhicule électrique hybride peut rouler 19,8 km / litre (56 miles par gallon), ce qui donne une autonomie de 1442 km (896 miles) pour un réservoir de 73 litres (16 gallon).

Points clés

Schéma synoptique des paramètres : Schéma SysML présentant les rapports paramétrés entre les caractéristiques de contrainte.

Bloc de contraintes : Définition des contraintes mathématiques ou textuelles paramétrées pouvant s'appliquer à un élément de système ou à un système.

Caractéristique de contrainte : Utilisation d'un bloc de contrainte dans un contexte particulier.

Contraintes des paramètres : Moyen de rattacher les rapports paramétrés aux variables dans les caractéristiques de contrainte.

Autonomie	Kilométrage effectif (miles)	MoE
Véhicule au GPL	720 (448)	4,35
Véhicule électrique	170 (100)	0,00
Véhicule hybride électrique	1450 (896)	9,95

Coût en carburant au kilomètre (au mile)

On calcule le MoE pour le coût de carburant au kilomètre (mile) en prenant le coût moyen pour remplir d'essence ou recharger les batteries d'un véhicule et en le divisant par la distance que va parcourir le véhicule. Du fait qu'il est dérivé, le rapport entre le coût pour refaire le plein et le kilométrage peut être détaillé dans un schéma synoptique des paramètres en Langage de modélisation de système (SysML). Le système graphique de présentation des relations mathématiques, les synoptiques des paramètres permettent de comprendre l'interaction entre les rapports, ce qui aide à comprendre comment déduire les calculs qui donnent la valeur d'évaluation réelle pour des critères précis.

Les blocs de création de schémas synoptiques des paramètres sont des blocs de contraintes qui détaillent les relations mathématiques dans un système. Ils peuvent être soit basiques (par exemple, diviser ou multiplier), soit plus complexes (par exemple, définir une courbe linéaire). Si les blocs de contraintes sont basiques, ils pourront être utilisés plus largement dans d'autres applications. Le bloc de contraintes est ensuite utilisé sur un schéma synoptique de paramètres comme paramètre de contrainte.

Pour calculer les coûts de consommation de carburant au kilomètre, nous prendrons le coût pour recharger les batteries ou remplir le réservoir du véhicule et le diviserons par l'autonomie en kilomètres (miles). Cette équation est présentée dans le bloc de contrainte de la figure 12, où la fonction diviser est créée dans un schéma de définition des blocs. Les contraintes de paramètres (les taquets situés de part et d'autre des blocs de contrainte) fournissent le lien avec les variables à l'intérieur de la contrainte elle-même.

Points clés

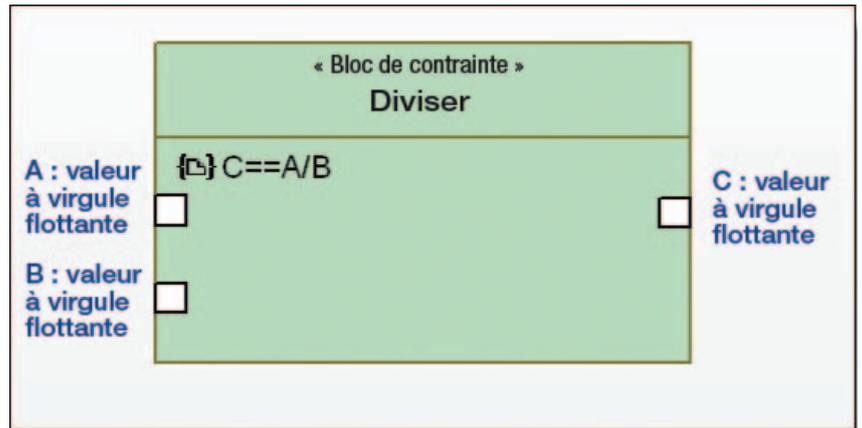


Figure 12 : Bloc de contrainte Diviser

Le synoptique de paramètre présentant l'utilisation du bloc de contrainte diviser est illustré dans la figure 13. Il prend les valeurs de coût en carburant et d'autonomie en kilomètres (miles) et, en fonction de la contrainte de paramètre $C = A + B$, donne le coût en carburant au km.

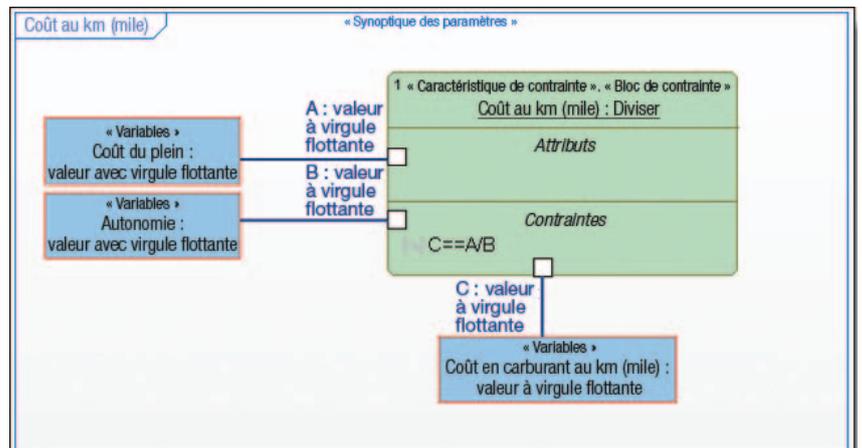


Figure 13 : Synoptique de paramètres du coût en carburant au kilomètre

Les synoptiques des paramètres permettent de présenter les relations mathématiques qui existent entre des concepts abstraits.

Bien que les synoptiques des paramètres ne soient pas exécutables, ils constituent bel et bien un moyen utile de présenter sous forme graphique les relations mathématiques existant entre différents concepts abstraits. Le synoptique de paramètre de la figure 12 a servi de base à la compréhension et l'exécution des calculs qui suivent.

Points clés

Le coût énergétique de la voiture électrique est extrêmement faible : 2,34 Euro (2 £) par charge de batterie.

Les véhicules fonctionnant au GPL ont un faible coût en carburant car il s'agit de véhicules de faible puissance. Il faut dépenser 42,08 Euro (£ 36) pour remplir le réservoir de 90 litres d'un véhicule fonctionnant au GPL. Si nous divisons ce chiffre par les 720 km (448 miles) d'autonomie du véhicule avec un plein, nous obtenons un coût en carburant de 0,08 Euro au km (8 pence au mile).

Même si le coût de mise en charge d'un véhicule électrique est lourdement assujéti aux taxes, l'étude a montré que le chargement d'une batterie standard coûte environ 2,34 Euro (2 £). Si nous divisons ce chiffre par les 161 km (100 miles) d'autonomie du véhicule avec batteries chargées, nous obtenons un coût en carburant 0,02 Euro au km (2 pence au mile).

Les véhicules hybrides utilisent des batteries (même si aucun coût de mise en charge n'est inclus) et aussi du diesel ou de l'essence ordinaire. Il en coûte environ 87,70 Euro (£ 75) pour faire le plein du réservoir de 90 litres qui équipe ces véhicules. Si nous divisons ce chiffre par les 1445 km (896 miles) d'autonomie avec un plein, nous obtenons un coût en carburant de 0,09 Euro au km (8,4 pence au mile).

Coût en carburant au km (mile)	Valeur réelle en Euro au km (ppm)	MoE
Véhicule au GPL	0,08 (8,0)	
Véhicule électrique	2,34 (2,0)	
Véhicule hybride électrique	0,09 (8,4)	

Pour montrer le rapport entre le coût en carburant au km (mile) et le MoE final, il est possible de définir un second bloc de contrainte (figure 14). Représentée par une courbe linéaire, cette contrainte est fonction des équations de la courbe linéaire décrites précédemment, dans lesquelles C est une constante de 10. Il s'agit d'une bonne solution pour un bloc de contrainte car on peut l'utiliser de différentes façons – dont nous allons étudier trois d'entre elles.

Points clés

En combinant le bloc de contrainte à courbe linéaire avec la caractéristique de contrainte du coût en carburant au km, nous pouvons déterminer le rapport entre le MoE et l'évaluation chiffrée.

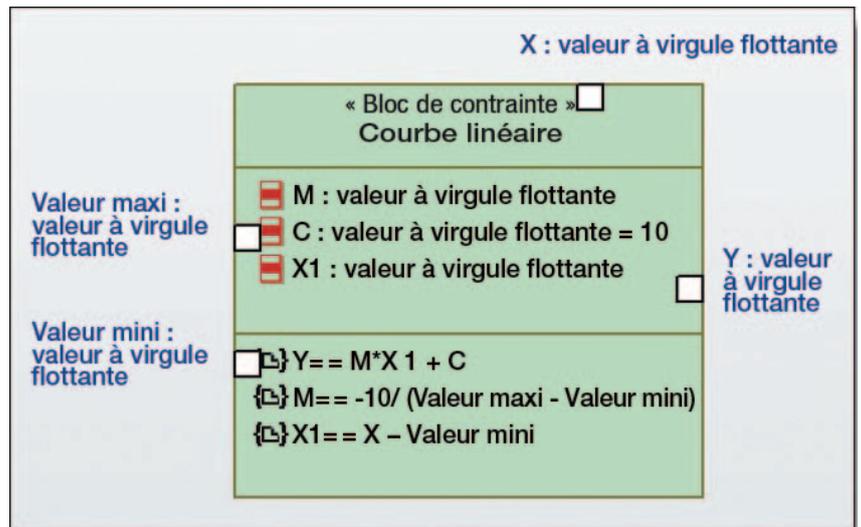


Figure 14 : Bloc de contrainte à courbe linéaire

Si nous utilisons le bloc de contrainte à courbe linéaire et que nous le combinons avec la caractéristique de contrainte du coût en carburant au km, nous pouvons définir le rapport existant entre le MoE et l'évaluation chiffrée (figure 15).

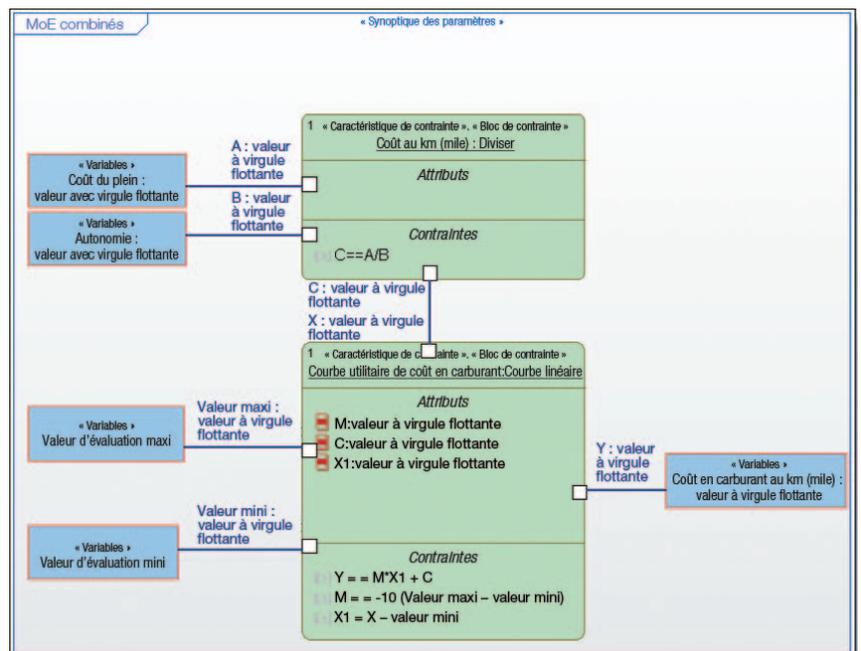


Figure 15 : Synoptique de paramètres du MoE coût en carburant

Points clés

D'après ces schémas de paramètres, nous pouvons calculer les valeurs chiffrées du coût en carburant au kilomètre (mile).

Coût en carburant au km (mile)	Valeur réelle en Euro au km (ppm)	MoE
Véhicule au GPL	0,08 (8,0)	2,62
Véhicule électrique	2,34 (2,0)	9,76
Véhicule hybride électrique	0,09 (8,4)	2,14

**Tableau des objectifs pondérés :
Synthèse des résultats des calculs**

Définir une solution

Nous disposons maintenant de toutes les informations essentielles, nous pouvons donc établir le *tableau des objectifs pondérés*. Il s'agit de la combinaison des MoEs et des coefficients de pondération pour les différents critères d'évaluation. Un tableau de synthèse des résultats des MoE est présenté ci-dessous.

MoEs pour « fournir la force motrice »	Emissions	Coût en carburant au km (mile)	Autonomie	Prix d'achat
Véhicule au GPL	0.83	1,63 (2,62)	4.35	5.59
Véhicule électrique	10.00	6,07 (9,76)	0.00	0.18

Lorsque le MoE est inférieur à 0 ou supérieur à 10, nous savons que l'évaluation chiffrée réelle sort de la plage correspondant à cette évaluation précise. Si un MoE sort de la plage 0-10, il faut ajuster la plage de valeur et/ou la courbe utilitaire.

Nous pouvons, à ce stade de l'étude, montrer le niveau d'objectivité et d'analyse dans la définition des MoEs. Mais ils peuvent être aussi subjectifs s'ils sont déterminés du point de vue des intéressés, des spécialistes, des groupes de discussion, etc. Les déterminations subjectives sont souvent destinées à obtenir un consensus sur le degré de satisfaction des critères d'évaluation par la solution proposée.

Le tableau des objectifs pondérés est défini en ajoutant d'abord les MoEs aux blocs représentant les différentes solutions (figure 16).

Points clés

Des schémas de principe des solutions nous permettent de créer des combinaisons d'architectures possibles qui nous aident à trouver instantanément les solutions à plusieurs fonctions essentielles d'un système.

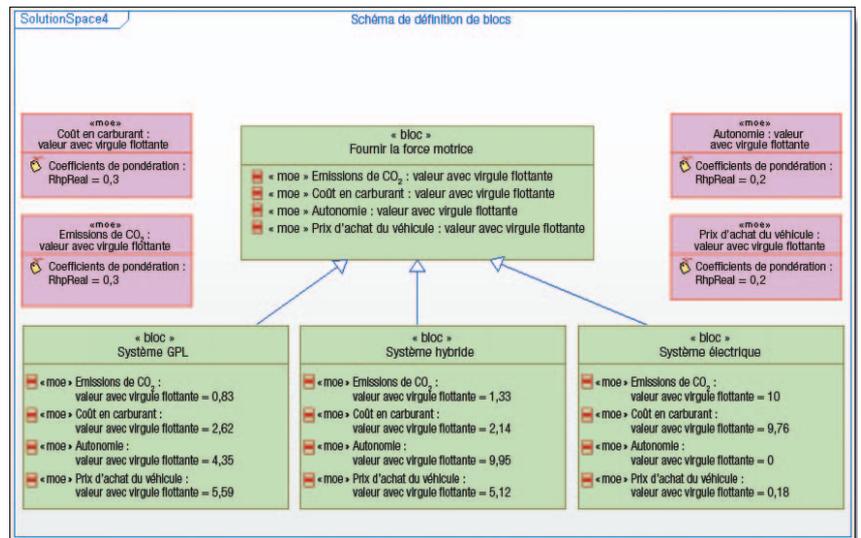


Figure 16 : Solutions avec intégration des valeurs MoE

Une fois intégrés les MoEs dans les blocs représentant les solutions, il faut ajouter un second schéma de définition de blocs. Ce schéma contenant les architectures des solutions nous permet de créer des combinaisons de plusieurs architectures possibles que nous voudrions éventuellement étudier, permettant ainsi aux ingénieurs de dégager en une seule fois des solutions pour différentes fonctions essentielles du système. Pour des architectures plus complexes, nous créerions un schéma indépendant de définition de blocs pour chaque architecture possible. Notre exemple ne donne qu'un ensemble d'architectures de solution, nous créons par conséquent trois blocs pour nos trois solutions – la famille des véhicules fonctionnant au GPL, la famille des véhicules électriques et la famille des véhicules hybrides- et nous allons relier les solutions aux blocs de MoE (figure 17).

Points clés

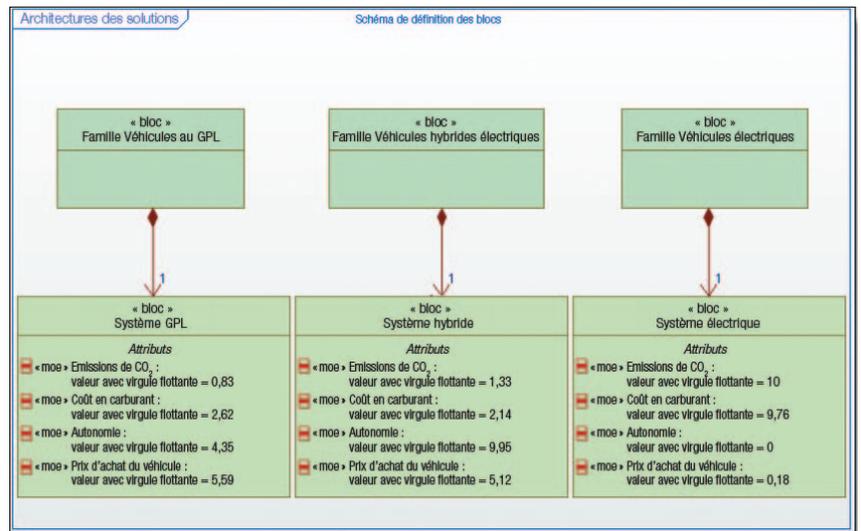


Figure 17 : Architecture des solutions

Le schéma final de définition des blocs regroupe les solutions possibles à étudier.

L'étape finale consiste à créer un troisième schéma de définition des blocs regroupant les trois solutions possibles de façon à pouvoir les analyser (figure 18).

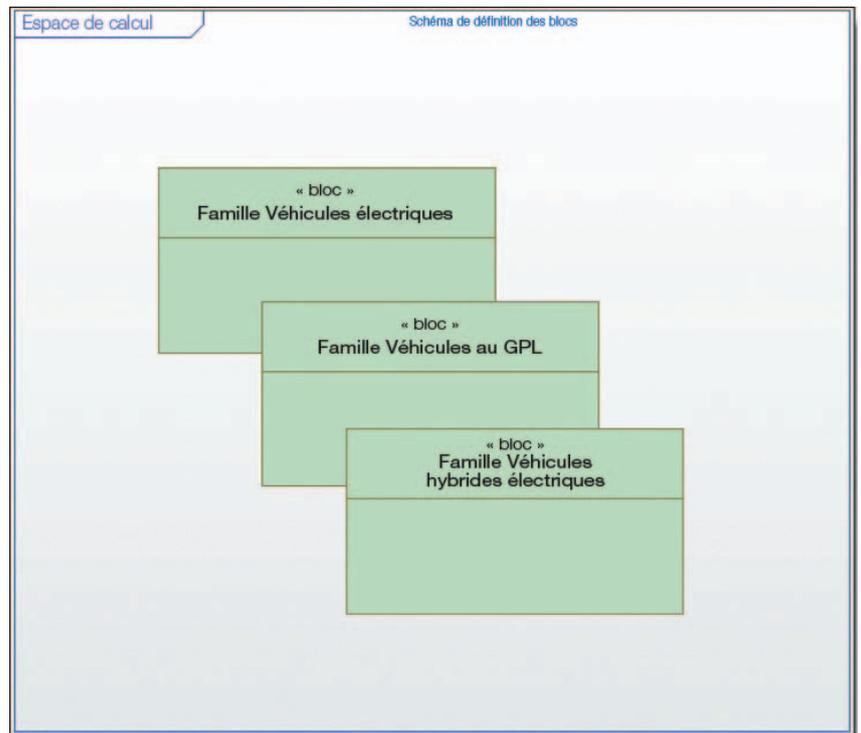


Figure 18 : Solutions à étudier

Points clés

Rational Rhapsody nous permet de procéder à l'analyse technique chiffrée à l'aide de la fonction « Exécuter l'analyse technique chiffrée ».

L'analyse technique chiffrée est menée via la fonction « exécuter l'analyse technique » du kit d'outils d'ingénierie du logiciel Rational Rhapsody. Après exécution de cette fonction sur le schéma de définition des blocs qui contient les solutions à étudier (figure 19), le logiciel Rational Rhapsody génère une feuille de calcul Microsoft® Excel contenant les résultats du tableau des objectifs pondérés (figure 20).

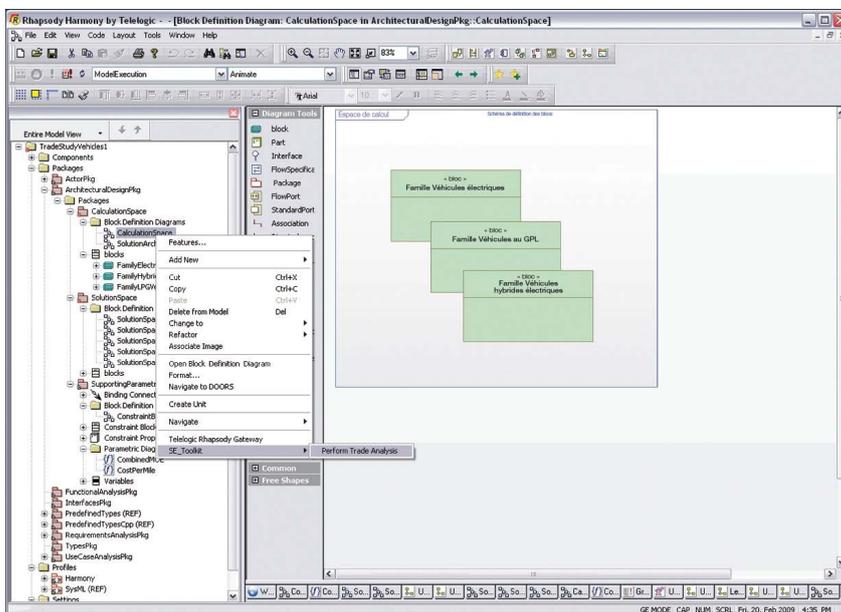


Figure 19 : Ecran de la fonction Exécuter l'analyse technique chiffrée

Pour établir le tableau des objectifs pondérés, nous multiplions les critères d'évaluation par leurs MoEs respectifs.

Nous établissons le tableau des objectifs pondérés en multipliant le coefficient de pondération de chaque critère d'évaluation par les MoEs correspondants. Nous ajoutons ensuite les résultats obtenus pour obtenir un total pour chacune des trois solutions possibles. L'architecture du système affichant la note la plus élevée est la meilleure solution potentielle.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1			FamilyElectricVehicle		FamilyLPGVehicle		FamilyHybridElectricVehicle	
2		weight	value	WV	value	WV	value	WV
3	ProvideMotiveForce.CO2_Emissions	0.3	10	3	0.83	0.249		1.33
4	ProvideMotiveForce.FuelCost	0.3	9.76	2.928	2.62	0.786		2.14
5	ProvideMotiveForce.Range	0.2	0	0	4.35	0.87		9.95
6	ProvideMotiveForce.VehicleCost	0.2	0.18	0.036	5.59	1.118		5.12
7				5.964		3.023		4.06

Figure 20 : Résultats de l'analyse des objectifs pondérés

Points clés

Notre analyse fait apparaître que le véhicule électrique répond aux exigences des parties concernées par la présente étude.

Un développement axé sur la modélisation et le logiciel Rational Rhapsody nous ont permis d'exécuter une étude technique au cours d'un processus d'ingénierie des systèmes, en réalisant une économie de temps et d'argent au cours du cycle de développement.

La figure 20 montre que le système électrique doit être celui proposé pour notre véhicule vert car il obtient la meilleure note avec 5,96. Mais il faut tenir compte du fait que notre voiture électrique n'a pas satisfait à l'exigence d'autonomie de 805 km (500 miles). Si nous excluons cette solution d'après ce critère, l'énergie hybride électrique du véhicule hybride familial – avec une note de 4,07 – s'avère la meilleure solution.

Conclusion

L'étude technique doit servir à définir la solution la plus appropriée à un problème donné avant sa mise en œuvre ou son développement. A l'aide d'une méthode orientée-modèles, vous pouvez effectuer ces études en amont au cours de la phase d'ingénierie des systèmes.

Dans ce document, nous avons fait appel à une méthode par pondération des objectifs et au kit d'outils Rational Rhapsody d'IBM pour mener une analyse objective au cours de la phase d'ingénierie des systèmes. Nous nous étions fixés pour objectif de déterminer la source d'énergie qui donnerait les plus faibles taux de CO₂ et coûts en carburant pour une voiture familiale écologique. Grâce à Rational Rhapsody, nous avons non seulement tenu cet objectif, nous y sommes parvenus grâce à une modélisation, économe en temps, en énergie et, bien entendu en argent.

Pour en savoir plus...

sur les analyses techniques à l'aide de systèmes de développement orientés-modèles et du logiciel Rational Rhapsody d'IBM, contactez votre agent commercial IBM ou votre chargé d'affaires IBM, ou visitez notre site :

ibm.com/software/rational



© Copyright IBM Corporation 2009

Compagnie IBM France
17 avenue de l'Europe
92275 Bois Colombes Cedex

Imprimé en France
Juin 2009
Tous droits réservés

IBM, le logo IBM et ibm.com, Rational et Rhapsody sont des marques commerciales ou des marques déposées d'International Business Machines Corporation, aux Etats-Unis, dans d'autres pays, ou aussi bien aux Etats-Unis que dans d'autres pays. Si ces termes et d'autres termes IBM de marques déposées sont signalés à leur première apparition dans la présente publication par un symbole de marque déposée (@ ou ™), ces symboles indiquent des marques déposées ou des marques commerciales relevant du droit coutumier des Etats-Unis, qui sont la propriété d'IBM à la date de publication du présent document. Il est possible que ces marques commerciales soient aussi des marques déposées ou relevant du droit coutumier dans d'autres pays. Une liste actuelle des marques commerciales IBM est disponible sur Internet à la page « Informations sur les droits de reproduction et les marques commerciales » sur le site ibm.com/legal/copytrade.shtml

Microsoft est une marque commerciale de Microsoft Corporation aux Etats-Unis et / ou dans d'autres pays.

D'autres noms de sociétés, de produits ou de services peuvent être des marques commerciales ou des marques de service de tiers.

Les renvois dans la présente publication à des produits ou des services IBM n'impliquent pas l'intention d'IBM de les rendre accessibles à tous les pays où opère IBM.

Les informations contenues dans cette publication sont données uniquement à titre indicatif. En dépit de tous les efforts mis en œuvre pour vérifier l'exhaustivité et l'exactitude des informations contenues dans cette publication, elles sont fournies « telles que d'origine » sans garantie d'une quelconque nature, expresse ou implicite. Ces informations sont également basées sur les programmes et la stratégie produits actuels d'IBM, susceptibles d'être modifiés par IBM sans préavis. IBM ne sera pas tenu responsable du préjudice causé par l'utilisation ou lié à l'utilisation de ce document ou de tout autre documentation. Aucun élément contenu dans la présente publication n'est destiné, ni n'a pour effet de créer des garanties ou des représentations de la part d'IBM (ou de ses fournisseurs ou donneurs de licence), ou d'altérer les termes et conditions du contrat de licence en vigueur régissant l'utilisation des logiciels IBM.

- 1 *The Harmony Deskbook*, 3^{ème} édition, Dr. P. Hoffman, Rational Software, IBM Software Group, 2009.
- 2 *Engineering design Methods*, N. Cross, Wiley, 1989