

Simulation et modélisation avec un tableur

Jean-Philippe Rennard

Avec l'explosion de la puissance informatique et l'effondrement des coûts associés, la simulation a envahi tous les domaines de la science et on la rencontre désormais au quotidien, consciemment ou non. Les prévisions météo sont ainsi basées sur l'utilisation de modèles mathématiques et informatiques qui permettent de simuler le comportement des masses d'air. L'État élabore son budget à partir de modèles permettant de simuler le comportement de l'économie nationale ¹. Des simulateurs de trafic routier permettent de limiter les bouchons ². On pourrait ainsi multiplier les exemples à l'envie.

Dans le domaine de la gestion, la simulation joue également un rôle croissant. De la simple simulation du calcul du résultat net à la simulation complexe des flux logistiques ou du trafic télécom, les outils informatiques permettent de prendre des décisions éclairées.

Ce petit texte présente quelques unes des méthodes les plus élémentaires que l'on peut mettre en œuvre avec un tableur.

Outre la présentation, ce texte propose des exercices et leurs solutions (un hyperlien permet de passer de l'un à l'autre). L'icone film dans la marge permet de lancer une séquence vidéo montrant les différentes manipulations sous Excel.

¹On peut ainsi tester ses capacités à exercer le ministère des finances à partir d'une simulation de l'économie anglaise : <http://www.bized.ac.uk/virtual/economy/index.htm>

²Par exemple : <http://www.i3s.unice.fr/ol/CD/Mascotte/node8.html>

La simulation repose sur la construction de modèles reproduisant le fonctionnement du système étudié. Elle permet :

- de réaliser des *expériences* impossible à réaliser sur le système réel. C'est le cas par exemple de la simulation des déplacements urbains ou de la simulation des comportements de foules. On a alors besoin d'une connaissance précise des mécanismes étudiés.
- de tester des hypothèses afin de valider un modèle théorique. C'est notamment le cas de toutes les simulations sociales³.

Le développement de la simulation est intimement lié aux développements de l'informatique. La conception du premier ordinateur moderne par John Von Neumann ⁴ l'ENIAC avait ainsi pour objectif de simuler certaines lois de la physique nucléaire dans le cadre du projet Manhattan.

La simulation connaît un renouveau important depuis le début des années 1990 du fait de l'explosion de la puissance informatique. Dans les sciences, elle est désormais massivement utilisée pour l'analyse de ces *systèmes complexes* pour lesquels il n'existe pas de solutions analytiques aux équations les décrivant.

En sciences sociales, la simulation est utilisée tant à des fins théoriques que pratiques. Un exemple est présenté en annexe section [A.0.1](#) page [22](#).

En gestion, hors les simulations dont l'objectif est strictement scientifique, modélisation et simulation sont utilisés :

- pour rechercher des solutions à des problèmes donnés.
- pour étudier la sensibilité des résultats aux différentes décisions.
- pour analyser les processus aléatoires.
- pour étudier les processus complexes (logistique, gestion de production...).

Nous traiterons brièvement des trois premiers points et en verrons la mise en œuvre avec un tableur.

³voir [\[Gilbert and Troitzsch, 2005\]](#) ou [\[Epstein and Axtell, 1996\]](#)

⁴L'ordinateur moderne est ainsi conçu selon l' *architecture de von Neumann*. L'apport essentiel du chercheur d'origine hongroise a consisté à traiter les programmes au sein de la mémoire de la même manière que les données, alors qu'auparavant la programmation s'appuyait sur des câblages physiques.

La démarche de modélisation d'un problème

La modélisation d'un problème passe par trois étapes principales :

- la formalisation.
- la recherche de solution.
- l'interprétation des résultats.

Chacune de ces étapes est elle-même découpée en plusieurs sous-étapes (figure 1).

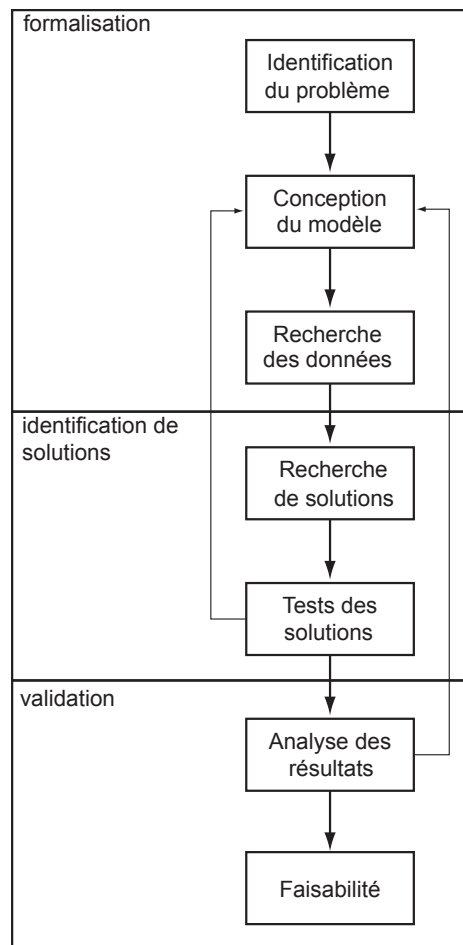


FIG. 1 – Étapes de la modélisation

Formalisation

Identification du problème


Première étape, évidente en apparence : *l'identification et la définition du problème.*

Il s'agit là d'identifier de manière stricte le type de problème posé. De manière générale, cette phase peut sembler évidente, mais dans les faits, elle est extrêmement délicate. Elle nécessite notamment de prendre en compte les arbitrages entre objectifs contradictoires (les financiers souhaitent minimiser les stocks alors que les commerciaux souhaitent améliorer le taux de service ; la RH cherche à minimiser la masse salariale alors que les responsables de département cherchent à avoir le maximum de ressources humaines pour remplir leurs fonctions,...).

Il convient en outre de chercher à dépasser l'apparence pour cerner les critères fondamentaux du problème. Par exemple, dans le cadre d'une analyse de productivité, on pourrait être tenté de centrer la simulation sur l'organisation de la succession des tâches, alors que le problème de fond repose sur la productivité même de certains postes.

Conception du modèle

Cette étape consiste en la définition des différents liens et inférences qui dirigent le processus étudié et que l'on cherche à formaliser sous forme d'équations.



Équations, le grand mot est lâché... Il est fondamental de comprendre que le terme équation n'est aucunement lié à la maîtrise d'outils mathématiques avancés. Bien au contraire, on peut souvent formaliser les problèmes quotidiens à partir de ces équations élémentaires que l'on étudie au collège.

On conçoit le modèle en s'appuyant, outre sur l'expertise que l'on a des mécanismes en jeu, sur sa connaissance du contexte :

- Pour les modèles les plus simples, on peut construire les inférences à partir de son expertise empirique.

- Pour les modèles plus complexes, on fait souvent appel aux manuels traitant du domaine afin de disposer de règles rigoureuses. Là encore, on peut amender le modèle théorique en fonction de son expertise du contexte général.

De manière générale, le manager est appelé à traiter de nombreux problèmes extrêmement variés. La modélisation doit alors s'adapter au besoin :

- Dans le cas de problèmes complexes et stratégiques, on recherchera une certaine précision. Le modèle sera alors plus difficile et réservé à ceux qui ont une plus grande familiarité avec les mathématiques.
- Dans la grande majorité des cas, le modèle aura essentiellement pour fonction d'orienter et/ou de valider la décision. On recherchera alors la simplicité au détriment de la précision. De manière très générale, il est de bonne pratique de commencer avec un modèle simplifiant fortement la réalité avant d'aller éventuellement au-delà. Dans le domaine de la modélisation comme dans beaucoup d'autres, le mieux est l'ennemi du bien. Partir sur un modèle tortueux oblige souvent à un long travail de recueil de données pour des résultats difficiles à obtenir et à interpréter

On définit lors de la phase de conception :

- les *paramètres* qui définissent l'environnement ou le contexte.
- les *variables contrôlables* qui définissent les points d'actions, c'est-à-dire ceux qui feront l'objet de la décision (on parle également de variables de décision.).
- les *variables intermédiaires* qui permettent de relier les variables contrôlables aux critères.
- les *critères* qui définissent l'objectif.
- les *équations du modèle* qui permettent de calculer les valeurs des critères en fonction des paramètres, des variables intermédiaires et des variables contrôlables.

Toutes ces définitions sont *quantitatives*. C'est là la limite de la modélisation usuelle. Si l'on a un problème de ressources humaines, on pourra par exemple être amené à quantifier "l'état d'esprit" des employés. On devra alors toujours garder à l'esprit les simplifications et les biais liés à la quantification de données qualitatives.

Recueil des données

Les variables et autres paramètres étant identifiés, il convient de rechercher les données qui permettront de faire fonctionner le modèle. Selon le type de problème, le recueil de ces données peut être plus ou moins difficile, mais les ERP centralisant l'essentiel de l'information, quelques requêtes (Query) spécifiques – éventuellement avec l'aide du service compétent de la DSI – permettent souvent d'obtenir un volume important de données. On devra alors porter la plus grande attention à la qualité des données obtenues. La qualité du résultat est évidemment fonction directe de la qualité des données ⁵.

Identification de solutions

Recherche de solutions

Au cours de cette étape, on fait fonctionner le modèle de manière à identifier la ou les solutions les meilleures. Le tableur va nous être ici d'un grand secours. Même s'ils restent limités en comparaison des logiciels dédiés, le tableur d'Open Office ou Excel permettent de poser, au moins d'une manière simplifiée, une infinité de problèmes quotidiens.

Souvent, au lieu de "la" solution optimum, on recherchera un ensemble d'alternatives. Dans la pratique, c'est l'intuition qui éclairera la décision finale du manager. Hors les cas purement techniques, rechercher une solution unique c'est conférer une confiance excessive au pouvoir de la modélisation qui est une aide à la décision et non un substitut.

Test des solutions

C'est la phase de validation des résultats. Avant leur mise en œuvre, il convient de s'assurer que les solutions trouvées sont réellement efficaces et ne proviennent pas d'un biais du modèle, auquel cas, on doit revoir la conception du modèle.

⁵C'est là un problème générique aux systèmes d'information. On parle en anglais de GIGO, "Garbage In, Garbage out".

Validation

On s'interroge ici sur les résultats et sur leur mise œuvre.

Interprétation

Au cours de cette phase, on va plus particulièrement analyser la *sensibilité des résultats*. Il s'agit de vérifier dans quelle mesure une modification mineure d'une variable contrôlable influe sur le résultat final. Si la sensibilité est forte, la mise en œuvre des décisions en sera d'autant plus difficile.

Faisabilité

Avant de valider la décision dictée par le modèle, il convient de s'assurer de sa faisabilité. Est-ce que la mise en œuvre nécessite des changements acceptables ? Quel est l'impact sur les autres fonctions de l'entreprise ?...

Exemple 1 : Scénarios pour le résultat net

À l'heure du renouvellement du parc automobile, le responsable d'un service logistique souhaite vérifier l'impact de son choix sur le résultat. Nous allons dérouler chacune des phases de construction du modèle et montrer comment mettre en œuvre différents scénarios.

Identification du problème

C'est ici un cas élémentaire qui relève du simple calcul et ne pose pas de problème d'identification : il s'agit de calculer le résultat net en fonction de l'incidence du type de véhicule utilisé.

Conception du modèle

Il s'agit ici simplement de trouver la quantité qui permet de couvrir coûts fixes et variables.

Identification des variables et graphe de dépendance

Pour construire un modèle fiable, on peut utiliser la méthode des *graphes de dépendances*. Cet outil largement utilisé dans la conception des bases de données permet d'identifier clairement les différentes variables. On commence par construire un *arbre d'analyse*. La méthode est la suivante :

- On pose la racine de l'arbre qui correspond à la variable associée à l'objectif.
- On identifie les grandeurs qui déterminent l'objectif, c'est-à-dire celles dont l'objectif dépend.
- Pour chacune des grandeurs identifiées, on recherche celles qui les déterminent.
- On répète l'opération jusqu'à atteindre le niveau de détail souhaité. Ce niveau de détail dépend du niveau de détail que l'on s'est fixé, de la disponibilité des données et du niveau d'action souhaité.

Par exemple, si on travaille sur le chiffre d'affaires, on identifie deux grandeurs déterminantes : le prix de vente et la quantité vendue (figure 2).

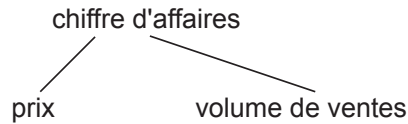


FIG. 2 – Arbre d'analyse de calcul du chiffre d'affaires

Dans notre cas, l'arbre d'analyse pourrait avoir la forme de la figure 3.

Le raisonnement est alors le suivant :

- Le *résultat net* est fonction du *coût total* et du *prix de vente*.
- Étant en présence d'un problème de logistique, on distingue dans le *coût total*, le *coût départ* et le *coût de livraison*.
- Le *coût de livraison* se décompose en *coût fixe* et *coût variable*.
- Chaque tournée engendre des coûts fixes associés aux *coûts de préparation* (chargement ...). Ces coûts fixes sont amortis sur le nombre de livraisons possibles à chaque tournée, soit

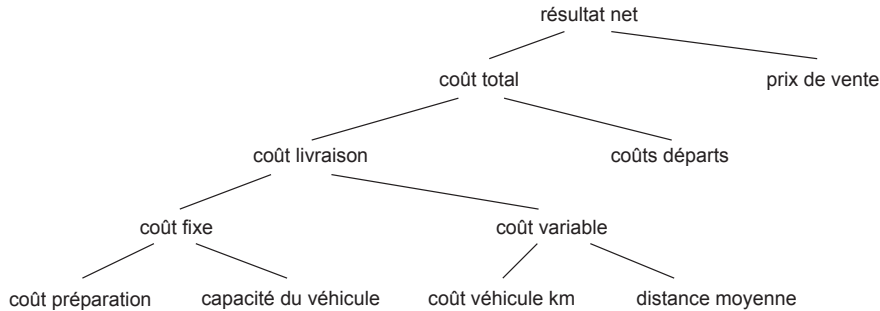


FIG. 3 – Arbre d'analyse de calcul des coûts de livraison

la *capacité* du véhicule.

- Enfin, les *coûts variables* dépendent du *coût au kilomètre* et de la *distance* moyenne d'une livraison.

On pourrait évidemment décliner les sommets *prix* (fonction du prix de marché, de l'élasticité de la demande ...) et *coût départ* (fonction du prix des matières premières, de la valeur ajoutée...). Le niveau de détail choisi est fonction de la complexité désirée du modèle et des variables d'action que s'est donné le décideur. Ici, on doit choisir un véhicule, on ne peut donc agir que sur le coût au kilomètre et sur la capacité d'emport par tournée. On n'a pas à se poser le problème du prix de vente ou des coûts départs.

On construit ensuite le graphe de dépendance de la façon suivante :

- on oriente les branches de l'arbre en fonction du sens de la dépendance.
- on supprime les occurrences multiples pour ne conserver qu'une occurrence unique de chaque variable. Plusieurs arcs partiront alors partir d'une variable donnée.

L'exemple du calcul du résultat net est évident (figure 4).

Définition des variables

À partir du graphe de dépendances, on identifie les variables et leurs types :

- Paramètres : Les paramètres définissent le contexte, on trouve ici : le *prix*, le *coût départ*, le *coût de préparation* et le *trajet moyen en kilomètre*.

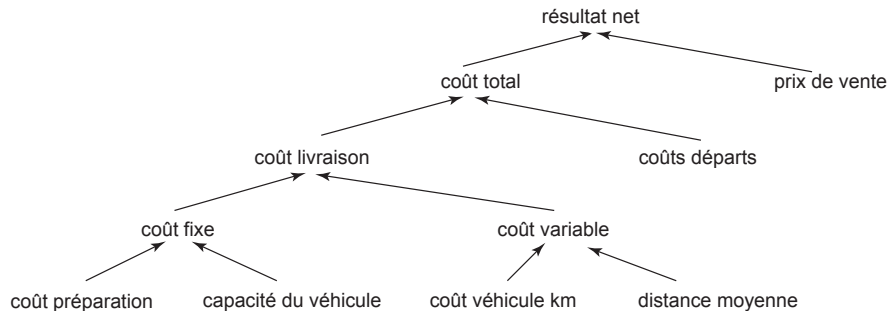


FIG. 4 – Graphe de dépendance du calcul des coûts de livraison

- **Variables contrôlables** : C’est ici le *coût au kilomètre* et la *capacité* d’emport du véhicule.
- **Variables intermédiaires** : Ce sont les variables qui permettent de passer des paramètres et variables contrôlables aux critères. On a ici : le *coût fixe d’une livraison*, le *coût variable d’une livraison*, le *coût d’une livraison* et le *coût total*.
- **Critères** : C’est ce qui permet de mesurer l’objectif recherché, soit ici le *résultat net*.

Mise en place du problème sur le tableur

Avant de passer à l’écriture des équations, on peut commencer à poser le problème sur le tableur. On pose d’abord les paramètres, puis les variables contrôlables, les variables intermédiaires ⁶ et enfin le critère (figure 5).

La première colonne contient les libellés des différentes variables. La seconde colonne est optionnelle, mais fortement recommandée. Elle contient les noms des variables qui seront utilisés dans les équations. Ceci facilite grandement la lecture du modèle. Exprimer le résultat net sous la forme : Prix - CtTotal est incontestablement plus lisible que « C5 - C18 ». Pour nommer les cellules, on sélectionne les colonnes B et C (ici B5 :C21) et sous Excel, on choisit « Insertion/Nom/Créer », puis « colonne de gauche ».



⁶Il est recommandé de poser les variables intermédiaires en fonction de leur profondeur dans l’arbre. On pose d’abord les variables les plus profondes et on remonte progressivement niveau par niveau.

| | A | B | C |
|----|---------------------------------|---------------|---|
| 1 | Calcul résultat net | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | Paramètres | | |
| 5 | Prix de vente | Prix | |
| 6 | Coût départ | CtDepart | |
| 7 | Coût de préparation | CtPreparation | |
| 8 | Trajet moyen en kilomètres | TrajetKm | |
| 9 | | | |
| 10 | Variables contrôlables | | |
| 11 | Capacité d'emport | Capacite | |
| 12 | Coût au kilomètre | CtKm | |
| 13 | | | |
| 14 | Variables intermédiaires | | |
| 15 | Coût fixe d'une livraison | CtFixeLiv | |
| 16 | Coût variable d'une livraison | CtVarLiv | |
| 17 | Coût d'une livraison | CtLivraison | |
| 18 | Coût total | CtTotal | |
| 19 | | | |
| 20 | Critères | | |
| 21 | Résultat net | RN | |
| 22 | | | |

FIG. 5 – Mise en forme du modèle

Écriture des équations

On passe ensuite à l'écriture des équations en commençant par les variables intermédiaires :

- Le coût fixe d'une livraison est le coût de préparation divisé par la capacité d'emport (exprimée par souci de simplification comme le nombre moyen de commandes que l'on peut livrer en une tournée), soit :

$$CtFixeLiv = CtPreparation / Capacite.$$
- Le coût variable d'une livraison est la distance moyenne d'un trajet multiplié par le coût au kilomètre, soit :

$$CtVarLiv = TrajetKm * CtKm.$$
- Le coût d'une livraison est la somme des coûts fixes et variables, soit :

$$CtLivraison = CtFixeLiv + CtVarLiv.$$
- Le coût total est la somme du coût départ et du coût de livraison, soit :

$$CtTotal = CtLivraison + CtDepart.$$
- Le résultat net est la différence entre le prix de vente et le

coût total, soit :
 $RN = \text{Prix} - \text{CtTotal}$.

Recherche des données

À partir des données commerciales, l'alternative porte sur quatre modèles dont les spécifications sont les suivantes (tableau 1) :

| Modèle | Coût km | Capacité |
|--------|---------|----------|
| 1 | 0.16 | 18 |
| 2 | 0.08 | 8 |
| 3 | 0.14 | 15 |
| 4 | 0.17 | 22 |

TAB. 1 – Véhicules disponibles

Recherche de solutions

On va utiliser ici le gestionnaire de scénarios d'Excel pour comparer les différentes solutions possibles.

Construction des scénarios avec le tableur



Excel permet d'enregistrer des ensembles de valeurs sous forme de scénarios. La méthode est la suivante :

- On accède aux scénarios par le menu « Outils/Gestionnaire de scénarios ».
- Pour ajouter le premier scénario, on sélectionne le bouton « Ajouter ».
- On choisit un nom pour le scénario. On prendra ici simplement le numéro du modèle.
- On choisit les cellules variables. Ici, il s'agit de la capacité et du coût au kilomètre. On valide ensuite par OK.
- On fixe les valeurs des cellules variables. Pour le scénario 1, on aura 18 et 0.16. On valide par « OK » si on a terminé, sinon le bouton « Ajouter » permet de construire un second scénario.

Grâce au bouton « Afficher » du gestionnaire de scénarios, on peut maintenant afficher le résultat net pour chacune des quatre

hypothèses. Mieux encore, le bouton « Synthèse » construit automatiquement un tableau synthétisant les résultats, éventuellement sous forme de tableau croisé dynamique (figure 6). On vérifie ainsi aisément que le véhicule 2 est le meilleur choix.

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|---|---|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | Synthèse de scénarios | | | | | | |
| 3 | | Valeurs actuelles : | | | | | | |
| 4 | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | | Cellules variables : | | | | | | |
| 6 | | Capacité | 22.00 | 18.00 | 8.00 | 15.00 | 22.00 | |
| 7 | | CtKm | 0.17 | 0.16 | 0.08 | 0.14 | 0.17 | |
| 8 | | Cellules résultantes : | | | | | | |
| 9 | | RN | - | 0.51 | - | 0.34 | 1.09 | 0.03 |
| 10 | | | | | | | | |
| 11 | | La colonne Valeurs actuelles affiche les valeurs des cellules variables | | | | | | |
| 12 | | au moment de la création du rapport de synthèse. Les cellules variables | | | | | | |
| | | de chaque scénario se situent dans les colonnes grisées. | | | | | | |

FIG. 6 – Synthèse des scénarios

Le modèle étant élémentaire, les phases de test et de validation ne seront pas mises en œuvre dans ce cas.

Exemple 2 : Recherche d'une valeur cible

Souhaitant lancer un nouveau produit, l'entreprise X veut en déterminer le point mort.

C'est ici un cas élémentaire qui relève du simple calcul et ne pose pas de problème d'identification : il s'agit de trouver la quantité qui permet de couvrir coûts fixes et variables.



Problème n° 1 : Recherche du point mort

Question n° 1.1

Tracer l'arbre d'analyse.

(Solution page [24](#))

Question n° 1.2

Tracer le graphe de dépendance.

(Solution page [25](#))

Question n° 1.3

Identifier les variables.

(Solution page [26](#))

Question n° 1.4

Poser le problème sur le tableur.

(Solution page [27](#))

Question n° 1.5

Écrire les équations du problème.

(Solution page [28](#))

On pose les paramètres suivants :

- Prix = 10
- Coût des matières premières = 2
- Coût d'utilisation des équipements = 5
- Frais de siège = 25 000
- Frais de structure = 10 000

Pour trouver la solution, on peut utiliser ici la fonction « Valeur cible » que l'on obtient sous Excel avec « Outils/Valeur cible ». La cellule à définir est le résultat net (C21), la valeur à atteindre est 0 et cellule à modifier est le volume de vente (C12). Quand on

valide, le tableau recherche la valeur cible qui permet d'atteindre l'objectif (figure 7).



| | A | B | C | D | E | F |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |
| 21 | | | | | | |
| 22 | | | | | | |

| Recherche du point mort | | |
|------------------------------------|-------------|----------|
| Paramètres | | |
| Prix | Prix | 10 |
| Coût des matières premières | CtMP | 2 |
| Coût d'utilisation des équipements | CtEqpt | 5 |
| Frais de siège | FraisSiege | 25 000 |
| Frais de structure | FraisStruct | 10 000 |
| Variables contrôlables | | |
| Volume des ventes | Ventes | |
| Variables intermédiaires | | |
| Chiffre d'affaires | CA | - |
| Charges variables | ChVar | - |
| Marge sur coûts variables | MargeCV | - |
| Charges fixes | ChFixe | 35 000 |
| Critères | | |
| Résultat net | RN | - 35 000 |

Valeur cible

Cellule à définir :

\$C\$21

Valeur à atteindre :

0

Cellule à modifier :

\$C\$12

OK

Annuler

FIG. 7 – Recherche de la valeur cible

Le résultat est : 11 667 (figure 8).

| | A | B | C |
|----|------------------------------------|-------------|---------|
| 1 | Recherche du point mort | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | Paramètres | | |
| 5 | Prix | Prix | 10 |
| 6 | Coût des matières premières | CtMP | 2 |
| 7 | Coût d'utilisation des équipements | CtEqpt | 5 |
| 8 | Frais de siège | FraisSiege | 25 000 |
| 9 | Frais de structure | FraisStruct | 10 000 |
| 10 | | | |
| 11 | Variables contrôlables | | |
| 12 | Volume des ventes | Ventes | 11 667 |
| 13 | | | |
| 14 | Variables intermédiaires | | |
| 15 | Chiffre d'affaires | CA | 116 667 |
| 16 | Charges variables | ChVar | 81 667 |
| 17 | Marge sur coûts variables | MargeCV | 35 000 |
| 18 | Charges fixes | ChFixe | 35 000 |
| 19 | | | |
| 20 | Critères | | |
| 21 | Résultat net | RN | - |
| 22 | | | |

FIG. 8 – Résultat

Exemple 3 : Calcul itératif

Le directeur commercial de l'entreprise X souhaite remettre en cause le système actuel d'encouragement traditionnellement basé sur une commission sur les ventes. Une étude lui a en effet montré que les commerciaux ont tendance à mettre l'accent sur les produits chers ou aisément vendables au détriment des produits qui dégagent une marge importante. Il décide donc de calculer les primes des commerciaux en fonction non plus de leur chiffre d'affaires, mais plutôt de la marge qu'ils ont engendrés.

Une étude statistique simple sur l'historique des ventes montre qu'elles sont de la forme :

$$\text{Ventes} = 1\,000 + 10 \times \text{Commissions}$$

On dispose également des données suivantes :

- Le taux de marge brute sur les ventes est de 15%.
- Le taux actuel de commissions est de 2.5% du chiffre d'affaires.

Avant de mettre en œuvre le nouveau système, le directeur commercial veut en vérifier l'impact sur la marge nette.

Problème n° 2 : Rémunérations commerciales

Question n° 2.1

Tracer le graphe de dépendance de la situation actuelle.

(Solution page 29)



La réalisation du graphe de dépendance ne pose pas de problème. En revanche, le graphe met en évidence un phénomène appelant un traitement spécifique : deux variables dépendent l'une de l'autre. En effet, les commissions sont fonction du chiffre d'affaires, mais celui-ci est fonction des commissions.

Pour résoudre ce problème, il faut faire appel au calcul itératif.

Avec un taux de marge brute de 15% et un taux de commission de 2.5%, le problème se présente sous la forme de la figure 9. On peut y voir :

- $CA = \text{VentFixe} + \text{VentVar} * \text{Comm}$
- $\text{Comm} = CA * \text{TxComm}$

Le chiffre d'affaire dépend de la commission qui elle-même dépend du chiffre d'affaires.

| | A | B | C |
|----|---|----------|------------------------|
| 1 | | | |
| 2 | Commissions : situation actuelle | | |
| 3 | | | |
| 4 | Paramètres | | |
| 5 | Ventes fixes | VentFixe | 1000 |
| 6 | Ventes variables | VentVar | 10 |
| 7 | Taux de marge | TxMarge | 0.15 |
| 8 | | | |
| 9 | Variables contrôlables | | |
| 10 | Taux de commission | TxComm | 0.025 |
| 11 | | | |
| 12 | Variables intermédiaires | | |
| 13 | Chiffre d'affaires | CA | =VentFixe+VentVar*Comm |
| 14 | Marge brute | MargeBr | =CA*TxMarge |
| 15 | Commissions | Comm | =CA*TxComm |
| 16 | | | |
| 17 | Critères | | |
| 18 | Résultat net | RN | =MargeBr-Comm |

FIG. 9 – Commissions : situation actuelle

Quand on entre la formule de calcul de la commission, le tableur émet un message d'erreur informant de l'existence d'une *référence circulaire*, c'est-à-dire qu'une cellule fait référence à son propre résultat. Pour calculer ces cellules, on fait appel aux capacités de calcul itératif du tableur. Sous Excel, on sélectionne « Outils/Options », puis l'onglet « Calcul » de la boîte qui s'affiche alors. Dans la zone supérieure, on sélectionne « Sur ordre », puis on coche « Itération ». Dans ce mode, le tableur calcule plusieurs fois la feuille en prenant à chaque fois les résultats du calcul précédent. La zone « Nb maximal d'itération » permet de fixer une limite au nombre de calculs successifs. La zone « Écart maximal » permet d'arrêter le calcul si la différence entre deux calculs successifs est inférieure à cet écart. On conservera ici les valeurs 100 et 0.01. On valide ensuite par « OK » et on lance le calcul de la feuille avec la touche F9. On obtient alors un résultat net de 166.67 (figure 10).



| | A | B | C |
|----|---|----------|----------|
| 1 | | | |
| 2 | Commissions : situation actuelle | | |
| 3 | | | |
| 4 | Paramètres | | |
| 5 | Ventes fixes | VentFixe | 1 000.00 |
| 6 | Ventes variables | VentVar | 10.00 |
| 7 | Taux de marge | TxMarge | 0.15 |
| 8 | | | |
| 9 | Variables contrôlables | | |
| 10 | Taux de commission | TxComm | 0.025 |
| 11 | | | |
| 12 | Variables intermédiaires | | |
| 13 | Chiffre d'affaires | CA | 1 333.33 |
| 14 | Marge brute | MargeBr | 200.00 |
| 15 | Commissions | Comm | 33.33 |
| 16 | | | |
| 17 | Critères | | |
| 18 | Résultat net | RN | 166.67 |

FIG. 10 – Commissions : situation actuelle

Problème n° 2 : Rémunérations commerciales

Question n° 2.2

Tracer le graphe de dépendance du nouveau mode de rémunération.
(Solution page 30)



Question n° 2.3

Calculer le résultat net pour un taux de commission de 20% du chiffre d'affaires.
(Solution page 31)

Le résultat étant à la base des commissions, on suppose que le nouveau mode de rémunération permet de passer le taux de marge moyen de 15% à 17.5%.



Problème n° 2 : Rémunérations commerciales

Question n° 2.4

Calculer le nouveau résultat net.

(Solution page [32](#))

Annexe A

Un exemple de simulation en sciences sociales

A.0.1 Un exemple de simulation théorique en sciences sociales

How to connect virtual agents and human societies¹? Humans are quite different from ants and despite real progress —thanks to the quick growth of computer power— the intelligence of the most sophisticated agent ever programmed cannot be compared to human intelligence. The 2005 Nobel Prize in Economics was attributed to Thomas C. Schelling and Robert J. Aumann for their contribution to game theory. T. Schelling proposed in 1971 [Schelling, 1971, Schelling, 1978] a ground-breaking experiment, which will help us illustrate the link between agents and human societies.

Schelling wanted to understand the preeminence of geographical segregation between black and white in American cities despite the fact that when they are questioned, citizens refute any desire of segregation. Schelling designed very simple agents of two distinct colors ("black and white"), having the following properties :

- Each agent can compute the fraction of same colored neighbors.
- If this fraction is below the agent preference, then the agent move to an unoccupied place which satisfies its preference.

Schelling used a cellular automata to implement its experiment. Very briefly, cellular automata are lattice of sites whose states — belonging to a finite set— evolve in discrete time step according to rules depending on the states of the neighbors sites. In a two dimension implementation, Schelling used a "Moore" neighbourhood, i.e. neighbors are the eight closest squares. The rules where :

- If an agent has two neighbors, it will not move if at least one must be of the same color.
- If an agent has three to five neighbors, it will not move if at least two must be of the same color.
- If an agent has six to eight neighbors, it will not move if at least three must be of the same color.

Starting from a fully integrated population, Schelling modified it by removing some people (e.g. 20) and by randomly adding new ones (e.g. 5) ; then the model inevitably evolves toward a segregate structure (see figure A.1). Schelling's model clearly demonstrates that local interactions (micromotives) lead to global structures

¹Extrait de [Rennard, 2006]

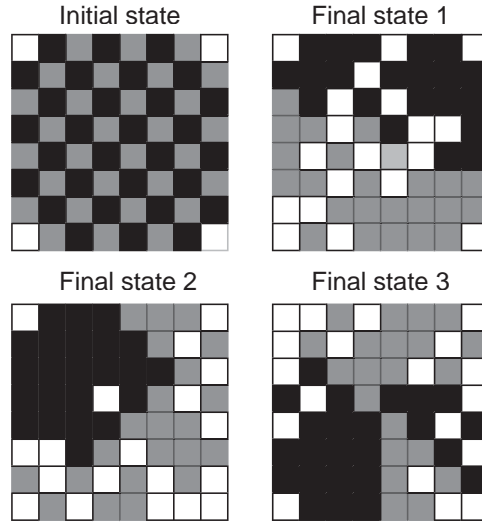


FIG. A.1 – Schelling's model

(macrobehavior [Schelling, 1978]). Furthermore, he showed that the macrobehavior can be different from the underlying micromotives, since segregation occurs even when preference rules are compatible with integrated structure. Nowak [Nowak and Latané, 1993] used an extended model to study *social impact* i.e. the change of attitude or beliefs resulting from the action of other individuals. They notably showed that the system achieved stable diversity. The minority survived, thanks to a clustering process of attitudes, not because individuals moved, but due to the attitude change process [Latané, 1996].

Annexe B

Solutions

Solution de la question 1.1 : Arbre d'analyse du point mort.

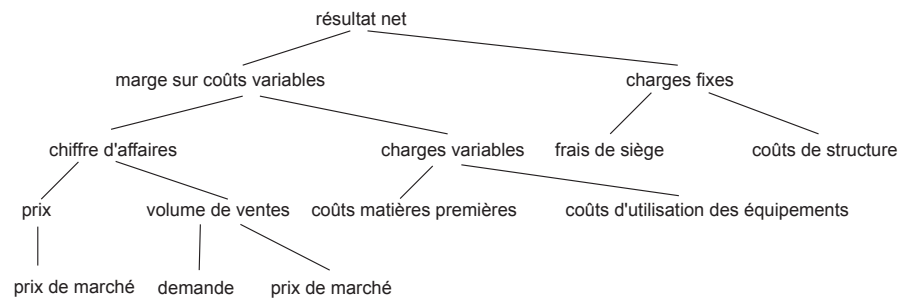


FIG. B.1 – Arbre d'analyse de calcul du point mort

On a là un exemple d'arbre d'analyse. Le niveau de détail est supérieur à l'objectif. Dans le cadre du problème posé, on peut se limiter aux seules marges sur coûts variables et charges fixes. (retour)

Solution de la question 1.2 : Graphe de dépendance du point mort.

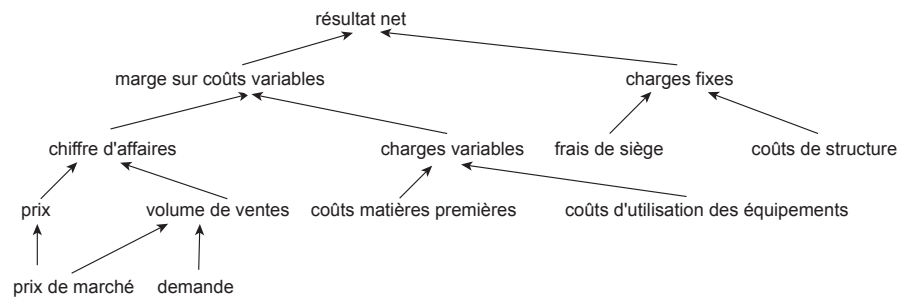


FIG. B.2 – Graphe de dépendance de calcul du point mort

La variable prix de marché n'apparaît plus qu'une seule fois.
(retour)

Solution de la question 1.3 : Identification des variables du point mort.

À partir du graphe de dépendances, on identifie les variables et leurs types (on ne traitera pas du dernier niveau du graphe – prix de marché et demande – qui appellent des traitements spécifiques sur lesquels nous reviendrons plus loin) :

- Paramètres : Les paramètres définissent le contexte, on trouve ici : le prix, le coût des matières premières, le coût d'utilisation des équipements, les frais de siège et les frais de structure.
 - Variables contrôlables : C'est ici le volume de vente puisque c'est ce sur quoi on va agir pour atteindre le point mort.
 - Variables intermédiaires : Ce sont les variables qui permettent de passer des paramètres et variables contrôlables au critères. On a ici : le chiffre d'affaires, les charges variables, la marge sur coûts variables et les charges fixes.
 - Critères : C'est ce qui permet de mesurer l'objectif recherché, soit ici le résultat net qui doit être égal à zéro.
- (retour)

Solution de la question 1.4 : Poser le problème du point mort sur le tableur.

| | A | B | C |
|----|------------------------------------|-------------|---|
| 1 | Recherche du point mort | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | Paramètres | | |
| 5 | Prix | Prix | |
| 6 | Coût des matières premières | CtMP | |
| 7 | Coût d'utilisation des équipements | CtEqpt | |
| 8 | Frais de siège | FraisSiege | |
| 9 | Frais de structure | FraisStruct | |
| 10 | | | |
| 11 | Variables contrôlables | | |
| 12 | Volume des ventes | Ventes | |
| 13 | | | |
| 14 | Variables intermédiaires | | |
| 15 | Chiffre d'affaires | CA | |
| 16 | Charges variables | ChVar | |
| 17 | Marge sur coûts variables | MargeCV | |
| 18 | Charges fixes | ChFixe | |
| 19 | | | |
| 20 | Critères | | |
| 21 | Résultat net | RN | |

FIG. B.3 – Mise en forme du modèle

(retour)

Solution de la question 1.5 : Écrire les équations du problème du point mort

On obtient :

- Chiffre d'affaires : $CA = \text{Prix} * \text{Ventes}$
 - Charges variables : $ChVar = (CtMP + CtEqpt) * \text{Ventes}$
 - Marge sur coûts variables : $MargeCV = CA - ChVar$
 - Charges fixes : $ChFixe = \text{FraisSiege} + \text{FraisStruct}$
 - Résultat net : $RN = MargeCV - ChFixe$
- (retour)

Solution de la question 2.1 : Tracer le graphe de dépendance de la situation actuelle.

Partant du résultat net qui est l'objectif, on constate que les ventes dépendent des commissions qui elles-mêmes dépendent des ventes.

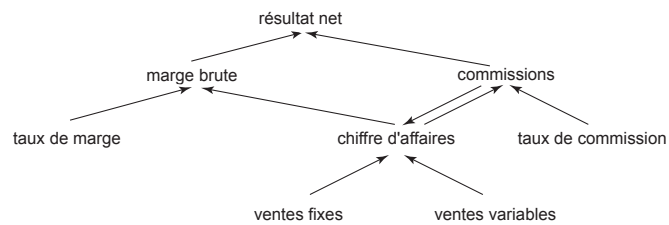


FIG. B.4 – Graphe de dépendance du commissionnement

(retour)

Solution de la question 2.2 : Tracer le graphe de dépendance du nouveau mode de rémunération.

À la différence du cas précédent, c'est maintenant le résultat net et les commissions qui sont liés par une double dépendance.

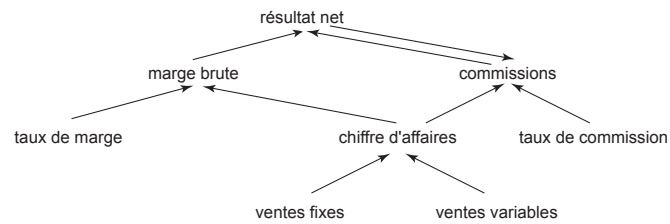


FIG. B.5 – Graphe de dépendance du commissionnement selon la nouvelle méthode

(retour)

Solution de la question 2.3 : Calculer le résultat net pour un taux de commission de 20% du chiffre d'affaires.

Les équations de la commission et du résultat net sont différentes du cas précédent :

- $Comm = TxComm * RN$
- $RN = MargeBr - Comm$

| | A | B | C |
|----|---|----------|----------|
| 1 | | | |
| 2 | Commissions : nouvelle situation | | |
| 3 | | | |
| 4 | Paramètres | | |
| 5 | Ventes fixes | VentFixe | 1 000.00 |
| 6 | Ventes variables | VentVar | 10.00 |
| 7 | Taux de marge | TxMarge | 0.15 |
| 8 | | | |
| 9 | Variables contrôlables | | |
| 10 | Taux de commission | TxComm | 0.200 |
| 11 | | | |
| 12 | Variables intermédiaires | | |
| 13 | Chiffre d'affaires | CA | 1 333.33 |
| 14 | Marge brute | MargeBr | 200.00 |
| 15 | Commissions | Comm | 33.33 |
| 16 | | | |
| 17 | Critères | | |
| 18 | Résultat net | RN | 166.67 |

FIG. B.6 – Calcul du résultat net

(retour)

Solution de la question 2.4 : Calculer le nouveau résultat net.

| | A | B | C |
|----|---|----------|----------|
| 1 | | | |
| 2 | Commissions : nouvelle situation | | |
| 3 | | | |
| 4 | Paramètres | | |
| 5 | Ventes fixes | VentFixe | 1 000.00 |
| 6 | Ventes variables | VentVar | 10.00 |
| 7 | Taux de marge | TxMarge | 0.175 |
| 8 | | | |
| 9 | Variables contrôlables | | |
| 10 | Taux de commission | TxComm | 0.200 |
| 11 | | | |
| 12 | Variables intermédiaires | | |
| 13 | Chiffre d'affaires | CA | 1 411.77 |
| 14 | Marge brute | MargeBr | 247.06 |
| 15 | Commissions | Comm | 41.18 |
| 16 | | | |
| 17 | Critères | | |
| 18 | Résultat net | RN | 205.88 |

FIG. B.7 – Calcul du nouveau résultat net

(retour)

Bibliographie

- [Epstein and Axtell, 1996] Epstein, J. M. and Axtell, R. L. (1996). *Growing Artificial Societies : Social Science from the Bottom Up*. Brooking Institution Press, Washington.
- [Gilbert and Troitzsch, 2005] Gilbert, N. and Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press, Maidenhead.
- [Latané, 1996] Latané, B. (1996). Dynamic social impact : Robust predictions from simple theory. In Hegselmann, R., Mueller, U., and Troitzsch, K., editors, *Modelling and Simulating in the Social Sciences from a Philosophy Science Point of View*, pages 287–310. Kluwer.
- [Nowak and Latané, 1993] Nowak, A. and Latané, B. (1993). Simulating the emergence of social order from individual behaviour. In Gilbert, N. and Doran, J., editors, *Simulating Societies : The Computer Simulation of Social Phenomena*. UCL Press, London.
- [Rennard, 2006] Rennard, J.-P. (2006). Artificiality in social sciences. In Rennard, J.-P., editor, *Handbook of Research on Nature Inspired Computing for Economics and Management*. IGR.
- [Schelling, 1971] Schelling, T. C. (1971). Dynamic model of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1(2) :143–186.
- [Schelling, 1978] Schelling, T. C. (1978). *Micromotives and Macrobehavior*. Norton, New York.