

Méthodologie des projets d'ingénierie et travail en équipe

Robert Vinet, Dominique Chassé et Richard Prigent

Montréal : École Polytechnique de Montréal, 1998. 111 p.

© École Polytechnique de Montréal, 1998

## **CHAPITRE 1**

### **PORTRAIT DE L'INGÉNIEUR**

1.1 Profession: ingénieur

1.2 Formation de l'ingénieur

1.3 Ingénieur et équipe technologique

1.4 Spécialités et carrières en génie

1.4.1 Spécialités

1.4.2 Carrières en génie

1.5 Responsabilités professionnelles de l'ingénieur

Le monde dans lequel nous vivons aujourd'hui est un monde de changements et de bouleversements technologiques. On constate ainsi qu'en moins d'un siècle, l'homme a appris à voler, s'est rendu sur la Lune et espère établir des bases spatiales habitables au début du prochain millénaire!

L'espace n'est cependant pas le seul domaine où surviennent des changements technologiques: les communications, l'énergie, l'environnement, l'agro-alimentaire, la génétique, etc. sont des secteurs en pleine ébullition. Derrière chacun des projets issus de ces secteurs, on trouve des ingénieurs spécialistes en génie civil, mécanique, électrique, chimique, etc. Cependant, les problèmes à résoudre sont souvent si complexes qu'il faut parfois regrouper des dizaines, sinon des centaines de ces spécialistes pour former une équipe technologique capable de mener à terme les projets.

L'ingénieur de cette fin de XX<sup>e</sup> siècle est une personne qui doit relever un défi de taille: la conception des procédés et des systèmes du monde de demain.

Dans les pages qui suivent, nous tenterons de tracer un portrait de l'ingénieur en nous arrêtant aux éléments suivants: la profession elle-même, la formation qu'elle requiert, la place de l'ingénieur dans l'équipe technologique, les spécialités et les carrières en génie, et finalement les responsabilités professionnelles de l'ingénieur.

## **1.1 PROFESSION: INGÉNIEUR**

En quoi consiste la profession d'ingénieur? Pour répondre à cette question, il faut d'abord décrire la nature des travaux qui sont la pratique quotidienne des diplômés en génie. L'Ordre des ingénieurs du Québec, dans sa loi sur les ingénieurs, stipule que les travaux suivants sont du ressort unique des membres de la profession:

- « - les chemins de fer, les voies publiques, les aéroports, les ponts, les viaducs, les tunnels et les installations reliés à un système de transport, dont le coût excède trois mille dollars;
- les barrages, les canaux, les havres, les phares et tous les travaux relatifs à l'amélioration, à l'aménagement ou à l'utilisation des eaux;
- les travaux électriques, mécaniques, hydrauliques, aéronautiques, électroniques, thermiques, nucléaires, métallurgiques, géologiques ou miniers ainsi que ceux destinés à l'utilisation des procédés de chimie ou de physique appliquées;
- les travaux d'aqueduc, d'égout, de filtration, d'épuration, de disposition (sic) de déchets ou autres travaux du domaine du génie municipal dont le coût excède mille dollars;
- les fondations, la charpente et les systèmes électriques ou mécaniques des édifices dont le coût excède cent mille dollars et des édifices publics au sens de la loi de la sécurité dans les édifices publics;
- les constructions accessoires à des travaux de génie et dont la destination est de les abriter;

- les fausses charpentes et autres ouvrages temporaires utilisés durant la réalisation de travaux de génie civil;
- la mécanique des sols nécessaire à l'élaboration de travaux de génie;
- les ouvrages ou équipements industriels impliquant la sécurité du public ou des employés. »

L'Ordre des ingénieurs du Québec précise également que l'exercice de la profession consiste à faire, pour le compte d'autrui, l'un ou l'autre des actes suivants, lorsque ceux-ci se rapportent aux travaux mentionnés précédemment:

- « - donner des consultations et des avis;
- faire des mesurages et des tracés, préparer des rapports, des calculs, des dessins, des plans, des devis et des cahiers de charges;
  - inspecter et surveiller des travaux. »

L'ingénieur travaille donc sur des problèmes technologiques. Pour résoudre ces problèmes, il est souvent amené à innover dans l'application des principes scientifiques qu'il emploie, de façon à concevoir des designs réalistes et économiques.

## **1.2 FORMATION DE L'INGÉNIEUR**

Pour accomplir son travail, l'ingénieur doit posséder une formation générale solide. Au terme de cette formation de base, le futur ingénieur maîtrisera en profondeur les mathématiques, les sciences fondamentales et les sciences appliquées.

L'ingénieur doit aussi apprendre à traiter les problèmes qui lui sont soumis selon une approche expérimentale. Son raisonnement doit être systématique. Il correspond à peu de chose près à la démarche suivante: problème  $\Rightarrow$  hypothèse  $\Rightarrow$  solution  $\Rightarrow$  test  $\Rightarrow$  itération  $\Rightarrow$  solution finale.

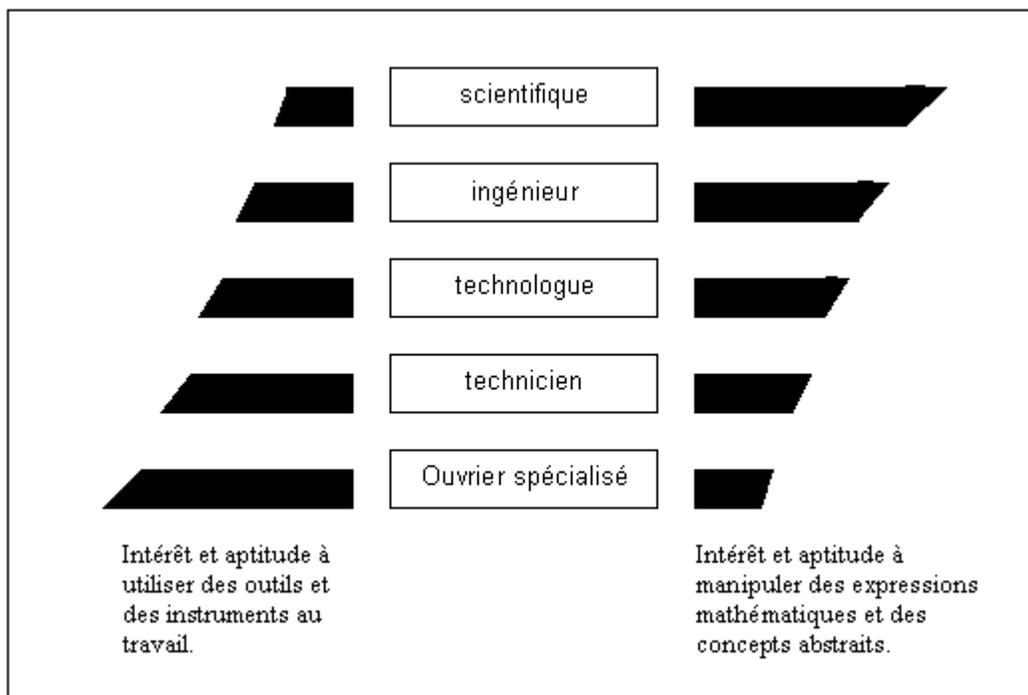
La formation de l'ingénieur comprend aussi un entraînement à la communication sous toutes ses formes: écrite, graphique et orale. En effet, dans ses consultations et ses avis, l'ingénieur doit communiquer avec clarté et concision. De plus, il doit savoir convaincre.

Enfin, l'ingénieur doit connaître et apprendre à évaluer le rôle de la science et de la technologie dans la société, ainsi que l'impact des décisions technologiques sur la qualité de la vie. Ces connaissances peuvent aller de l'économie à l'étude des transferts de technologie, en passant par la gestion de personnel, la santé et sécurité du travail, l'analyse des comportements organisationnels et la sociologie des professions.

### 1.3 INGÉNIEUR ET ÉQUIPE TECHNOLOGIQUE

Dans son travail, l'ingénieur est appelé à collaborer avec plusieurs partenaires: il peut s'agir de scientifiques, de collègues ingénieurs ou d'autres professionnels (comme les architectes), de technologues, de techniciens ou d'ouvriers spécialisés. Chacun de ces intervenants contribue à former ce que nous pouvons appeler une équipe technologique. L'ingénieur n'est qu'un des membres de cette équipe technologique.

La double échelle que représente la figure 1.1 est construite sur deux paramètres qui nous servent à définir les intérêts et les aptitudes des membres de l'équipe technologique. Pour chacun d'entre eux, l'échelle illustre d'une part le degré plus ou moins grand de leur intérêt et de leur aptitude à utiliser des outils et des instruments (1<sup>er</sup> paramètre), et d'autre part le degré plus ou moins grand de leur intérêt et de leur aptitude à manier des expressions mathématiques et des concepts abstraits (2<sup>e</sup> paramètre). Vous remarquerez que, dans ce système, l'ingénieur constitue une charnière entre les chercheurs théoriciens et les praticiens.



**Figure 1.1** Intérêts et aptitudes des membres de l'équipe technologique.

Décrivons sommairement le travail de chacun des membres de l'équipe technologique.

Le scientifique est un théoricien; c'est habituellement un chercheur qui possède un diplôme universitaire de troisième cycle (doctorat). Il travaille dans un laboratoire de recherche, dans une université ou dans un centre de recherche industriel. Habituellement, il s'intéresse à des questions très spécialisées. La tâche du chercheur consiste à faire reculer sans cesse les frontières de la

connaissance. Il est rare qu'il ait à superviser du personnel autre que des assistants de recherche.

L'ingénieur fait la jonction entre les scientifiques et les praticiens. Il utilise les connaissances scientifiques acquises grâce aux chercheurs pour identifier et résoudre des problèmes technologiques. Il innove souvent par des applications inédites des connaissances. Il met au point de cette façon un procédé, un produit, un système, une machine, etc. Les tâches quotidiennes de l'ingénieur sont donc la résolution de problèmes, la conception et l'innovation technologique. Dans le cadre de son travail, l'ingénieur collabore régulièrement avec chacun des membres de l'équipe technologique. Fréquemment, il doit superviser du personnel subalterne. L'ingénieur possède au moins un diplôme universitaire de premier cycle (baccalauréat). Au Canada, pour pratiquer sa profession, il doit obligatoirement faire partie d'une association provinciale; pour le Québec, il s'agit de l'Ordre des ingénieurs du Québec.

Le technologue travaille habituellement sous la direction des ingénieurs. Par définition, le technologue ne fait pas de la conception de projets; il se contente d'appliquer des principes d'ingénierie à la production industrielle, à la construction et à des opérations données. Le technologue est en quelque sorte un professionnel de l'application des principes et des méthodes d'ingénierie. Il ne travaille que sur des composantes du design global d'un ingénieur. Il supervise régulièrement du personnel technique. Au Québec, les technologues font partie de l'Ordre des technologues des sciences appliquées du Québec. Leur formation équivaut à un premier cycle universitaire.

Le technicien, quant à lui, travaille sous la responsabilité d'un ingénieur ou d'un technologue. Il fait des tests et des vérifications; il compile des données, il exécute les plans et les devis des ingénieurs et s'occupe de l'entretien des appareils dont il a la charge. Au Québec, les techniciens ont généralement un diplôme de niveau collégial.

Enfin, les ouvriers spécialisés constituent une catégorie de travailleurs possédant des habiletés manuelles spécialisées; ce sont eux qui font fonctionner les appareils et les instruments nécessaires pour réaliser les designs ou les plans des ingénieurs. Les ouvriers spécialisés sont généralement formés au niveau secondaire, où ils apprennent leur métier de soudeur, de menuisier, d'électricien, de mécanicien, etc.

## **1.4 SPÉCIALITÉS ET CARRIÈRES EN GÉNIE**

### **1.4.1 Spécialités**

Les universités canadiennes offrent différentes spécialités aux étudiants désireux de faire une carrière en génie. Plusieurs de ces spécialités sont classiques. D'autres ont un caractère plus novateur et correspondent à des besoins et à des réalités contemporaines. Voici une liste commentée des spécialités offertes à travers le Canada.

## GÉNIE CIVIL

L'ingénieur civil est appelé à jouer un rôle dans l'un ou l'autre des domaines suivants: la construction, c'est-à-dire la conception et la réalisation d'ouvrages de toutes sortes, ponts, barrages, routes; la protection de la santé publique, par exemple l'approvisionnement en eau potable, le traitement des eaux usées, l'élimination des déchets, etc.; les modes de transports urbains et interurbains; la gestion de projets, etc.

## GÉNIE MÉCANIQUE

Le génie mécanique a une aire d'influence telle qu'il touche la majorité des travaux d'ingénierie, en particulier dans l'industrie. On trouve l'ingénieur mécanicien dans les services techniques des entreprises industrielles vouées à la conception d'appareillages et d'installations mécaniques, à la mise au point et aux essais de contrôle. Il occupe aussi une place importante dans l'aéronautique, dans les entreprises de fabrication, dans les bureaux d'études et de génie-conseil spécialisés en mécanique des bâtiments (chauffage et ventilation), dans les services publics et dans les centres de recherche gouvernementaux. On le consulte sur des problèmes rattachés à la production et à la conservation de l'énergie, au transport, aux réservoirs sous pression, etc. Les secteurs de pointe en génie mécanique sont la robotique, la conception et la fabrication assistées par ordinateur.

## GÉNIE ÉLECTRIQUE

L'ingénieur électricien est d'abord associé aux utilisations de l'énergie électrique, puis au domaine des communications. Plus récemment, l'ingénieur électricien s'est associé aux développements de l'électronique, en particulier de la microélectronique et des ordinateurs. L'électrotechnique, l'électronique, l'automatique, les communications, l'informatique, l'électromagnétisme et les hyperfréquences sont ses domaines d'études et d'applications.

## GÉNIE CHIMIQUE

L'ingénieur chimiste, en fait, n'est pas chimiste; il a pour fonctions de concevoir, de calculer et d'élaborer, de mettre au point et de diriger la construction et le fonctionnement des équipements destinés à la production industrielle de substances chimiques. Il contrôle aussi la qualité des produits par l'optimisation et la régulation des produits physiques et chimiques qui permettent la transformation des matières premières. La prévention et le traitement de la pollution industrielle, et l'écologie en général relèvent de sa compétence.

## GÉNIE MÉTALLURGIQUE OU GÉNIE DES MATÉRIAUX

Le génie métallurgique englobe traditionnellement le champ des métaux, mais de nos jours, les polymères, les céramiques et les composites entrent également dans ce cadre, si bien qu'on parle plutôt maintenant de génie des matériaux. L'ingénieur métallurgiste s'intéresse aux procédés d'obtention des métaux à partir des minéraux, à leur élaboration en produits semi-ouvrés et à la fabrication de produits finis. Il varie la composition des alliages et adapte les processus de fabrication en s'appuyant sur le principe qui veut que les propriétés d'un matériau découlent de sa

structure.

## GÉNIE DES MINES

Le génie des mines forme des ingénieurs spécialistes des excavations en rocher, de la manutention des matériaux excavés et de leur transformation primaire. L'exploitation des mines est leur secteur traditionnel d'activité, mais ils s'occupent aussi de la production d'agrégats, de la concentration des minéraux et de la réalisation de grands travaux publics.

## GÉNIE INDUSTRIEL

Le génie industriel englobe la conception et l'amélioration de systèmes intégrés d'hommes, de matériaux, d'équipements et d'énergie. Il utilise les connaissances provenant des sciences mathématiques, physiques et sociales ainsi que les principes et les méthodes de conception et d'analyse propres au génie, en vue de produire, d'évaluer et d'appliquer les résultats découlant de ces systèmes. Plus concrètement, l'ingénieur industriel s'occupe de l'analyse du travail, de l'allocation des ressources, de l'automatisation, de l'ergonomie, de la mesure de la technologie, de la gestion des stocks, de la modélisation technico-économique de la demande d'énergie, etc.

## GÉNIE PHYSIQUE

Les spécialistes du génie physique cherchent à adapter les découvertes les plus récentes de la physique aux besoins technologiques du monde industriel, tout en tenant compte des facteurs économiques. La formation de l'ingénieur physicien l'amène à travailler dans des domaines comme l'optique (la spectroscopie photoacoustique, la spectroscopie au laser, les fibres optiques et les détecteurs de radiations optiques), la physique de l'état solide (les matériaux diélectriques, les dispositifs magnétiques, les matériaux polymériques, les surfaces photovoltaïques et les matériaux de base en microélectronique), les systèmes d'éclairage solaire, les systèmes de détection des radiations ionisantes, l'acoustique, etc.

## GÉNIE AGRICOLE

Les ingénieurs spécialisés en génie agricole ou en génie rural appliquent les principes de la science et de l'ingénierie en vue de mettre au point des machines et des structures agricoles servant à l'irrigation et à l'érosion des sols, aux méthodes de traitement et de manutention des produits agricoles, etc.

## AUTRES SPÉCIALITÉS

Il existe encore d'autres spécialités du génie, qui sont plus récentes et qui répondent à des besoins et à des développements technologiques spécifiquement contemporains. Ces spécialités correspondent généralement, dans les universités canadiennes, à des programmes de deuxième et de troisième cycles. Il s'agit entre autres de programmes d'études en:

- génie biomédical,
- assainissement,
- aéronautique,
- informatique,
- électrochimie,
- électro-optique et électronique,
- gestion de la technologie,
- optique,
- pâtes et papier,
- ressources minérales,
- etc.

### 1.4.2 Carrières en génie

Pour un diplômé en génie, la carrière la plus courante est certainement la pratique pure et simple de sa profession en tant qu'ingénieur; il peut pratiquer cette profession à titre privé dans un bureau d'ingénieurs-conseils; il peut aussi travailler pour le compte d'une industrie, d'un organisme scientifique, ou encore être à l'emploi d'un gouvernement.

Cependant, la formation scientifique et pratique de l'ingénieur lui permet d'accéder à plusieurs autres champs d'activité. Comme le montre le tableau 1.1, la recherche, le développement, le design, la production, la vente et la gestion sont au nombre de ces champs d'activité.

**Tableau 1.1** Différents champs d'activité où l'ingénieur peut faire carrière

Recherche	Principes d'économie et d'emploi de la main-d'oeuvre
Développement	
Design	
Production	
Vente	
Gestion	

Principes d'économie et d'emploi de la  
main-d'oeuvre

Aux deux extrêmes du tableau 1.1, nous trouvons l'ingénieur chercheur et l'ingénieur gestionnaire. Dans le cas d'un travail de recherche, l'ingénieur s'occupe surtout de principes théoriques et presque pas de problèmes économiques ou de personnel. À l'inverse, l'ingénieur gestionnaire consacre pratiquement toute son attention aux problèmes de travail et de personnel, et aux problèmes économiques. Entre ces deux pôles, on trouve une gamme variée d'autres carrières susceptibles de convenir à des ingénieurs.

- L'ingénieur chercheur s'apparente au scientifique que nous avons décrit plus haut. Son rôle est d'étendre les connaissances.
- L'ingénieur affecté au développement applique les résultats de la recherche. Il met au point des procédés de fabrication, d'assemblage, d'organisation, de tests de prototypes, etc.
- L'ingénieur affecté au design conçoit les équipements industriels, les détails des procédés mis au point par l'ingénieur de développement, etc.
- L'ingénieur affecté à la production réalise les designs souvent conçus par d'autres ingénieurs. Il travaille directement avec le personnel de production.
- L'ingénieur travaillant dans la vente n'est plus aujourd'hui un cas isolé. La vente était, récemment encore, une carrière mal reconnue et dénigrée par les diplômés en génie. Mais les ingénieurs associés aux ventes industrielles d'équipements très complexes se sont avérés indispensables aux entreprises qui les ont embauchés pour aider à l'amélioration de leurs produits.
- L'ingénieur gestionnaire est un organisateur. Par sa connaissance de la profession, il peut optimiser le travail de nombreuses personnes collaborant à un même projet, mais à des moments et dans des lieux différents.

L'ingénieur peut encore être associé à d'autres domaines d'activité, comme les affaires, l'analyse des tarifs, le marketing, les relations industrielles, la rédaction technique, l'enseignement, les droits de brevets, etc.

## **1.5 RESPONSABILITÉS PROFESSIONNELLES DE L'INGÉNIEUR**

Chaque profession libérale est soumise à un code de déontologie. Ce code établit généralement les standards auxquels les professionnels doivent se conformer en vue de protéger le public. Au Québec, la profession d'ingénieur est régie par la loi sur les ingénieurs, qui mandate l'Ordre des ingénieurs pour décrire le champ d'activité de la profession, pour réglementer l'activité de ses membres, pour fixer des conditions d'admissibilité et pour imposer des pénalités à ceux qui enfreignent ses règlements. Certaines dispositions générales du code de déontologie visent à protéger le public; d'autres dispositions décrivent les devoirs et les obligations de l'ingénieur envers son client.

En adhérant à l'Ordre des ingénieurs, le diplômé en génie s'engage à travailler avec intégrité, à se montrer disponible et diligent avec ses clients. Il s'engage aussi à assumer la responsabilité de ses gestes professionnels et de leurs conséquences éventuelles, à travailler avec indépendance et désintéressement, à faire passer les intérêts du public ou de ses clients avant les siens propres.

L'ingénieur doit respecter le secret de tout renseignement de nature confidentielle obtenu dans l'exercice de sa profession. Comme le médecin ou le notaire, il est donc tenu au secret

professionnel. L'ingénieur doit aussi respecter le droit de son client de prendre connaissance de tout dossier qu'il a constitué à son sujet. L'ingénieur ne peut pas non plus demander des honoraires injustes et déraisonnables.

Tous ces devoirs et ces obligations sont sanctionnés par l'Ordre des ingénieurs du Québec qui a le pouvoir de faire enquête sur ses membres et de prendre les sanctions conséquentes.

## **CHAPITRE 2**

### **POINT DE VUE HISTORIQUE SUR LES TRAVAUX EN GÉNIE**

#### 2.1 Préhistoire

2.1.1 Paléolithique et mésolithique

2.1.2 Néolithique

2.1.3 Fin du néolithique et âge du bronze

#### 2.2 Antiquité

2.2.1 Grandes civilisations urbaines de l'Asie et de l'Afrique

2.2.1.1 Asie: la Mésopotamie

2.2.1.2 Afrique: l'Égypte

2.2.2 Naissance de la civilisation en Europe

2.2.2.1 Civilisation grecque

2.2.2.2 Civilisation romaine

#### 2.3 Moyen Âge

2.4 Renaissance, XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles

2.5 Ère moderne et révolutions industrielles

Au Canada, la profession d'ingénieur a environ cent ans. Toutefois, l'activité d'innovation et de développement technologique qui caractérise l'ingénieur existe, elle, depuis des centaines de millénaires. Nous voulons dans ce chapitre retracer l'histoire du développement technologique de l'humanité afin de montrer comment la profession d'ingénieur a des racines profondes dans l'activité humaine.

Les réalisations anciennes que nous considérons aujourd'hui, avec le recul, comme des travaux d'ingénierie ne portaient pas nécessairement ce nom à l'époque où elles ont vu le jour. Malgré ce fait, nous ne croyons pas trahir l'histoire en les assimilant franchement dans ce texte à de véritables travaux d'ingénierie. Soulignons, par ailleurs, que le développement technologique de la société humaine ne s'est pas fait au même rythme dans toutes les régions et dans toutes les cultures du globe.

Il est difficile de résumer en quelques pages une histoire qui couvre plus de 100 000 ans et qui est extrêmement complexe. Vu les dimensions modestes de notre historique, nous serons donc obligés de passer sous silence bon nombre de faits. Ces quelques pages résument les étapes principales du développement technologique dans la civilisation occidentale surtout, en faisant ressortir l'aspect ingénierie des faits marquants de ce développement.

Nous allons brièvement couvrir l'évolution de la technologie depuis la préhistoire jusqu'à nos jours, en passant par l'Antiquité, le Moyen Âge, la Renaissance et l'ère moderne.

## **2.1 PRÉHISTOIRE**

### **2.1.1 Paléolithique et mésolithique**

Dès le paléolithique, c'est-à-dire 100 000 ans avant notre ère, l'homme fabrique des outils. Il dispose alors de matériaux comme le bois, la pierre, les os, le cuir, les roseaux, les lianes et l'argile. Bien que les progrès soient lents, jalonnés de tâtonnements, d'essais et sans doute de nombreux échecs, cette période est déjà très riche en découvertes et en inventions importantes.

L'homme ayant domestiqué le feu, il invente le foyer avec tirage. Sans doute pour se confectionner des vêtements, il utilise des aiguilles d'os et des grattoirs en pierre; pour pêcher, il fabrique des hameçons et des harpons; pour chasser, il utilise des arcs, des flèches et des pièges. Il fabrique aussi une gamme d'outils de charpentier déjà perfectionnés: haches différenciées, ciseaux, perceuses.

À la fin du mésolithique, l'homme est un fabricant et un utilisateur d'outils accompli.

### **2.1.2 Néolithique**

L'étape suivante du développement technologique de la race humaine, qui correspond grosso modo au néolithique (~15 000 ans av. J.-C.), est marquée par des progrès énormes dans les domaines de l'élevage et de l'agriculture. L'homme élève des chèvres, des moutons, des bovins et des porcs.

L'élevage amène le filage et le tissage.

L'homme découvre que des graines sauvages peuvent être plantées. Ceci lui permet de réduire son labeur et d'obtenir un meilleur rendement. Les premières plantes ainsi cultivées sont le blé, le riz, le millet, le maïs, la patate et certaines variétés de courges. En cultivant, on découvre les bienfaits de l'irrigation, de la fertilisation et de la jachère. Ces découvertes sont capitales.

La disponibilité de graines en abondance relative entraîne l'apparition de nouveaux moyens pour préparer la nourriture: réduction des graines en farine, fabrication de pain, construction de fours, fermentation des graines. Le besoin d'ustensiles pour cuire et travailler amène des progrès en poterie.

Avec l'irrigation est née ce qui restera l'une des branches majeures de l'ingénierie: l'hydraulique. L'irrigation est la première domestication de l'eau, une réalisation qui sera fondamentale pour l'urbanisation, le transport, l'exploitation de l'énergie mécanique non musculaire.

L'homme du néolithique est donc un agriculteur, un producteur de nourriture.

### **2.1.3 Fin du néolithique et âge du bronze**

La fin du néolithique et l'âge du bronze, qui lui succède (~ 1700 av. J.-C.), sont marqués par la découverte des métaux, mais aussi par d'autres découvertes très importantes. Les points saillants de cette période sont:

- l'utilisation du cuivre et du bronze (donc des outils plus variés et plus perfectionnés);
- l'invention du harnais, d'abord pour les boeufs (~ 3000 av. J.-C.), puis pour les ânes et les chevaux (meilleure utilisation de la force musculaire des animaux: production agricole accrue, transport de fardeaux plus facile);
- l'invention de la roue (peut-être la plus grande invention de tous les temps dans le domaine du transport);
- la navigation à voile (deuxième invention clé pour les transports: les échanges et le commerce vont aller en s'amplifiant);
- le tour de potier (productivité accrue);
- la brique (connue dès 4500 av. J.-C.), qui ouvre la voie à des constructions plus solides, plus faciles.

La métallurgie naissante a des aspects de merveilleux et de magie. Les métallurgistes et les mineurs ont un statut spécial dans la société. Ils sont dégagés des travaux de production de nourriture pour se consacrer entièrement à une occupation considérée comme essentielle à la société: la première organisation professionnelle est née.

La société agricole change, pour devenir peu à peu une société basée sur la production artisanale et le commerce. Les rôles sociaux commencent à se différencier; l'étape suivante sera l'urbanisation, étape décisive dans l'évolution des grandes civilisations qui ont commencé à se constituer dès le troisième millénaire avant notre ère.

## 2.2 ANTIQUITÉ

### 2.2.1 Grandes civilisations urbaines de l'Asie et de l'Afrique

La civilisation occidentale s'est développée à partir de deux régions assez voisines: les vallées du Tigre et de l'Euphrate (civilisation mésopotamienne) d'une part, et la vallée du Nil (civilisation égyptienne) d'autre part. Ces régions sont caractérisées par des inondations périodiques qui amènent sur les terres de très abondantes quantités d'alluvions riches et fertiles.

L'exploitation systématique de cette situation, au moyen de grands travaux de contrôle des crues, d'irrigation et de drainage, a été rendue possible grâce au développement de sociétés urbanisées et hautement organisées. On assiste donc avec ces grandes civilisations, dont la plus ancienne apparaît vers 3200 av. J.-C., aux premiers grands travaux de génie civil.

#### 2.2.1.1 *Asie: la Mésopotamie*

Les villes-États de Mésopotamie (telles que Babylone et Ur) sont gouvernées par une classe de prêtres-ingénieurs qui dirigent les grands travaux et les différents corps de métiers. Les prêtres-ingénieurs sont aussi responsables de deux autres réalisations caractéristiques des villes-États mésopotamiennes: la construction des temples et la construction des fortifications.

La ziggourat, colline artificielle pouvant dépasser 200 m de hauteur, est le centre religieux de chaque ville. C'est la demeure d'un dieu. La ziggourat est habituellement construite en briques. Il s'agit d'une structure en terrasses superposées, chacune étant ornée de plantes et d'arbres (les jardins suspendus de Babylone); son sommet est couronné d'un sanctuaire. Il est possible que la ziggourat d'Ur ait inspiré la légende de la tour de Babel.

Les villes-États mésopotamiennes se livrent à des guerres constantes, d'où le besoin d'assurer la sécurité de chacune par un système de défense approprié. Les fortifications sont, en général, constituées d'une double enceinte dont les murs ont des dimensions gigantesques.

Les villes-États des vallées de l'Euphrate et du Tigre possèdent une organisation sociale, économique et technologique remarquable. Le pouvoir, centralisé, est contrôlé par les technologues et gère la production et l'utilisation des richesses. La richesse excédentaire produite par une agriculture organisée est réutilisée à trois fins: les grands travaux de développement du système de production (irrigation, endiguement des cours d'eau, drainage), la défense, et le renforcement du pouvoir et de l'ordre (les édifices religieux). Ces trois activités de l'État sont gérées par les mêmes individus.

La civilisation mésopotamienne donne le jour à de grandes inventions généralement liées à des besoins pratiques:

- l'écriture (pour constituer des inventaires, faire les relevés de taxes, tenir des comptes);
- les unités de mesure (pour les grands travaux et le commerce);
- un calendrier (nécessaire à une agriculture avancée);
- les mathématiques (géométrie, arpentage).

Les villes mésopotamiennes, riches, actives, hautement civilisées, n'ont pourtant jamais pu vivre en harmonie. Elles ont été en guerre presque constamment, jusqu'à leur conquête, au VI<sup>e</sup> siècle avant notre ère, par une autre civilisation alors émergente, la Perse.

### ***2.2.1.2 Afrique: l'Égypte***

À peu près en même temps que la civilisation mésopotamienne, une autre civilisation urbanisée se constitue dans la vallée du Nil. Le point de départ est le même: les riches alluvions périodiquement apportées par les crues du fleuve permettent à la société agricole du néolithique de s'épanouir. Mais le développement de la civilisation urbanisée en Égypte ne se fait pas de la même façon qu'en Mésopotamie: le cheminement suivi et les caractéristiques qui en découlent sont tout à fait originaux.

Les crues du Nil sont très régulières et beaucoup moins violentes que celles du Tigre et de l'Euphrate, car les eaux sont moins chargées de limons (qui provoquaient l'encrassement des canaux et des réservoirs mésopotamiens). Les travaux d'ingénierie nécessaires à l'exploitation agricole de la vallée du Nil sont donc beaucoup plus simples. Ils requièrent un degré d'organisation et des dépenses bien moindres. L'ingénieur, quoique ayant encore un statut important dans la société, n'occupe pas la position dominante qu'il a dans les villes-États de la région Tigre-Euphrate. Assez rapidement, un État centralisé s'établit en Égypte et le pouvoir est détenu par le souverain plutôt que par les prêtres.

La technologie se développe en réponse aux besoins de cette société qui demande luxe, plaisir et beauté. Des techniques très avancées sont mises au point en poterie, tissage, travail du cuir, ébénisterie, joaillerie et travail des métaux. Les objets produits par les artisans d'Égypte resteront longtemps très supérieurs à la production des autres civilisations, aussi bien du point de vue technique que du point de vue esthétique.

Les ingénieurs égyptiens effectuent aussi des travaux d'hydraulique d'envergure. De plus, ils mettent au point une industrie navale très importante, servant les besoins du commerce et de la défense; avec les architectes, ils perfectionnent les techniques de construction de grands bâtiments.

## **2.2.2 Naissance de la civilisation en Europe**

### ***2.2.2.1 Civilisation grecque***

Un nouvel esprit politique, intellectuel et social prend forme avec la naissance de la cité grecque, qui connaît son apogée au V<sup>e</sup> siècle av. J.-C.

Les Grecs considèrent le travail manuel inférieur au travail intellectuel; c'est ainsi, par exemple, que

l'artisan et le technicien ont, dans la société hellénique, un statut à peine supérieur à celui de l'esclave.

Les travaux d'ingénierie chez les Grecs de l'Antiquité sont relativement primitifs et d'envergure moindre que ceux de la Mésopotamie et de l'Égypte. Les objets d'artisanat sont bien inférieurs à ceux de l'Égypte. Pourtant, les artisans grecs disposent d'outils de fer ainsi que de matériaux naturels en abondance: pierre à chaux, marbre et bon bois de construction.

On ne doit pas en conclure pour autant que la civilisation grecque représente un recul technologique. Bien au contraire, les Grecs ont innové de façon importante en architecture, en construction navale et dans d'autres domaines.

Parmi les réalisations de l'ingénierie grecque, on peut noter, d'abord en ce qui a trait à l'utilisation de l'eau, des machines pour élever l'eau, des pompes à eau (et à air), des orgues à eau et l'horloge à eau. Mentionnons aussi des perfectionnements de l'arc (des machines à lancer atteignent une portée de 300 m), des lampes à alimentation automatique et des instruments de précision pour la mesure des angles, des longueurs et du temps. Vers 700 av. J.-C., et pour la première fois dans l'histoire, on perce, à partir des deux extrémités, un tunnel d'une longueur de 500 m.

De Grèce nous viennent les premiers noms connus d'ingénieurs: Ctésibios (III<sup>e</sup> siècle av. J.-C.), Philon de Byzance (II<sup>e</sup> siècle av. J.-C.), Héron d'Alexandrie (I<sup>er</sup> siècle apr. J.-C.). Les Grecs rédigent aussi les premiers traités sur l'ingénierie et les premiers livres didactiques sur le métier d'ingénieur.

Toutefois, là n'est pas l'apport principal de la civilisation grecque à la connaissance et aux développements technologiques. Cet apport vient plutôt de la valorisation de la spéculation intellectuelle et du raisonnement.

Le premier résultat de cette attitude est l'essor des mathématiques qui stimulera grandement le développement de l'ingénierie. Ce qui caractérise l'ingénierie grecque, c'est l'étude théorique et appliquée des mécanismes, en particulier des mécanismes de transmission de force, de transformation et de contrôle du mouvement. Un nouveau type d'ingénieur apparaît: l'ingénieur travaillant sur épures et en atelier.

Aux ingénieurs grecs, nous devons la théorie et la mise en pratique de la plupart des machines simples: le levier, la roue et l'axe, la poulie, le coin, la vis, le treuil, la manivelle, le cliquet, l'engrenage. La mécanique est née!

### ***2.2.2.2 Civilisation romaine***

À partir du V<sup>e</sup> siècle avant notre ère, l'État romain va, de conquête en conquête, étendre sa domination d'abord à la péninsule italienne, puis aux autres rivages de la Méditerranée. Vers le milieu du II<sup>e</sup> siècle av. J.-C., Rome domine la Méditerranée d'est en ouest.

Le vaste Empire romain a besoin d'ingénieurs pour fonctionner. La technologie est mise au service de l'État. L'architecture et l'ingénierie romaine sont surtout utilitaires.

L'un des éléments clés du bon fonctionnement de l'Empire est la rapidité des communications. Un réseau très important de routes, les voies romaines, rayonnant à partir de Rome, relie donc toutes les régions de l'Empire (le réseau finira par atteindre 300 000 km). Les voies romaines permettent le déplacement rapide des légions qui doivent intervenir en divers points du territoire pour maintenir l'ordre et assurer la défense (ce sont d'ailleurs les légions qui construisent les routes en temps de paix). Les ordres du gouvernement central et les rapports des autorités locales, les impôts prélevés dans les provinces et le butin des pays conquis sont acheminés par les voies romaines.

La construction de la voie romaine était extrêmement solide et ne nécessitait pratiquement pas d'entretien. Le sol meuble était d'abord enlevé jusqu'à ce que l'on atteigne un substrat ferme. Le fond de l'excavation était nivelé et tassé et, au besoin, des poteaux y étaient enfoncés pour plus de fermeté. L'excavation était ensuite remplie de couches successives de gravier, de mortier, de pierres et de maçonnerie. L'épaisseur totale de ces différentes couches pouvait aller jusqu'à 1,5 m. Enfin, ces fondations étaient recouvertes d'un dallage scellé au mortier, qui formait le revêtement de la voie. C'est l'intensité du trafic prévu qui déterminait la largeur de la route: de 4 à 5 m pour les tronçons secondaires et jusqu'à 20 m aux abords de Rome. Les voies romaines avaient un tracé rectiligne quelle que soit la topographie des terres qu'elles traversaient: leurs concepteurs recherchaient toujours le plus court chemin d'un point à un autre.

La voie romaine faisait partie d'un système de communication approprié aux déplacements rapides des hommes à pied ou à cheval, mais pas au transport des grands chargements, qui se faisait plutôt par voie d'eau.

L'Empire romain est donc marqué par le retour des grands travaux au service de l'État: les Romains ouvrent des routes et construisent des ponts, ils édifient de grands bâtiments gouvernementaux et publics (palais, bains, théâtres, silos). De plus, ils entreprennent de grands travaux d'urbanisme et d'hydraulique: drainage de basses plaines, en Italie d'abord, puis dans les provinces de l'Empire, et aqueducs pour alimenter en eau les grandes villes en plein essor.

Les aqueducs romains méritent une mention spéciale. La ville de Rome, à son apogée, consomme environ 140 millions de litres d'eau par jour. Cette eau est acheminée par neuf aqueducs indépendants. Les aqueducs sont en fait de simples canaux ouverts qui amènent l'eau de source en altitude relative jusqu'à des réservoirs qui surplombent la cité. L'eau est ensuite distribuée dans la ville (fontaines publiques, bains, jardins) à travers des conduites sous pression. Au Moyen Âge, ces aqueducs seront tombés en ruines, et Rome s'alimentera au Tibre.

La réalisation de tous les grands travaux de la civilisation romaine est rendue possible par la division du travail et une organisation des tâches très poussée. Architectes et ingénieurs sont maintenant des personnes distinctes. Les uns et les autres sont regroupés en corporations professionnelles qui veillent au maintien du statut de leurs membres et à leur formation professionnelle. Une nouvelle corporation professionnelle prend aussi naissance: elle est formée par les entrepreneurs qui gèrent les grands projets (planification et responsabilité de l'exécution) et contrôlent les grandes masses de main-d'oeuvre non qualifiée.

On assiste donc avec les Romains au développement d'une organisation professionnelle en trois rôles qui est à la base de l'organisation moderne:

- l'ingénieur chargé de la conception des travaux,
- l'architecte chargé de l'esthétique et de la finition,
- l'entrepreneur chargé de la mise en oeuvre et de l'exécution.

L'organisation et la division du travail s'effectuent également dans les corps de métier. Des corps de métiers spécialisés effectuent des tâches spécifiques: par exemple, les maçons construisent les structures en briques et en maçonnerie, les marbriers posent les revêtements des murs et les éléments ornementaux en marbre, et ainsi de suite.

Les principales inventions ou innovations technologiques de la civilisation romaine ont trait à la construction. Les plus marquantes sont: l'utilisation de l'arche, la maçonnerie, les notions d'équilibre des forces internes et de transmission des poussées, de nouveaux outils et de nouvelles techniques de construction.

L'approche de l'ingénieur romain consistait à garder ce qui était utile dans les techniques du passé tout en cherchant à l'améliorer constamment. Ses méthodes étaient empiriques, sans fondement scientifique solide, mais elles sont restées au centre du développement technologique de l'Occident jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle.

## **2.3 MOYEN ÂGE**

Le Moyen Âge (V<sup>e</sup> - XV<sup>e</sup> siècles) est, dans le domaine technologique comme dans bien d'autres, une période mal jugée, qui a pourtant connu des progrès technologiques considérables, surtout à partir du XII<sup>e</sup> siècle.

Trois domaines se sont particulièrement développés au Moyen Âge: l'agriculture, les moulins et les horloges.

En agriculture, on met au point la charrue à roue et le collier de cheval, dont l'emploi se généralise rapidement. Pour tirer les nouvelles charrues beaucoup plus lourdes, on utilise des attelages multiples de quatre et même de huit chevaux. Le collier de cheval est une invention dont les répercussions sont très profondes et dépassent le domaine agricole. Jusque là, le cheval n'avait pu être utilisé que comme monture, pour le port des fardeaux et pour l'attelage à des véhicules très légers et rapides. Le fer à cheval, mais surtout le collier rembourré, qui transmet la poussée aux épaules du cheval, permettent de multiplier la puissance de traction de l'animal par un facteur de 3 à 4. On a inventé le cheval de trait!

On doit d'autres développements importants à l'agriculture médiévale: la culture de l'avoine, de l'orge, du houblon et la rotation ternaire des cultures.

Quant aux moulins à eau et à vent, ils étaient connus avant le Moyen Âge, mais c'est à cette époque que ces machines se sont perfectionnées et que leur emploi s'est généralisé, ce qui représente un changement fondamental dans les sources d'énergie utilisées pour le travail. Jusqu'alors en effet, la

principale source d'énergie était la force musculaire de l'homme (esclave) et de l'animal. Avec le développement des moulins, ce sont les forces naturelles de l'eau et du vent qui deviennent, pour le travail mécanique, les principales sources d'énergie.

Les premiers moulins à eau sont à roue horizontale (avec la meule directement fixée à l'axe), puis à roue verticale (avec un système à engrenages pour changer la direction du mouvement); enfin on met au point la roue sur cascade, dont le débit d'eau est régularisé par un barrage ou un canal d'aménée. Une roue peut alors développer une puissance de deux ou trois chevaux.

On construit dès lors de véritables usines. Ainsi, un moulin minotier à Bargeval, près d'Arles en France, avait 16 roues au fil de l'eau, d'un diamètre d'environ 2 m chacune. Avec ce moulin, on pourvoyait aux besoins de 80 000 habitants!

Au XII<sup>e</sup> siècle apparaît aussi en Europe le moulin à vent à axe horizontal. Le problème technique posé par ce type de moulin est l'orientation des voiles en fonction de la direction du vent. Les premiers moulins sont montés sur pylônes, et toute la structure pivote en bloc, ce qui en restreint l'utilisation aux installations légères. Plus tard, on invente le moulin à tourelle tournante: seuls les ailes et leur axe pivotent; le reste des mécanismes et de la structure est fixe. De plus grandes installations sont dès lors possibles. Les moulins à vent se multiplient, on en voit des dizaines et quelquefois plus d'une centaine aux abords des villes.

Les moulins à vent, tout comme les moulins à eau, sont bien sûr utilisés principalement pour moulinier le grain. On s'en sert aussi pour actionner toutes sortes de mécanismes, ainsi qu'on le fera plus tard avec la machine à vapeur. On les utilise par exemple pour le foulage des étoffes, le feutrage des fibres, le broyage du minerai, le mouvement des monte-charges, le pompage de l'eau dans les mines, l'action des marteaux et des soufflets dans les forges, l'action des tours à bois, l'affûtage des outils, la fabrication du papier, le filage de la soie, etc.

L'échappement mécanique qui contrôle la vitesse de rotation d'une roue dentée a été mis au point au Moyen Âge et a permis la construction d'horloges mécaniques. Montées sur des édifices publics, ces horloges de très grande taille étaient actionnées par des poids fort lourds (plusieurs centaines de kilogrammes). Des améliorations progressives dans le design et la construction des pièces permettront petit à petit de réduire la dimension des appareils, le principe restant le même. Il faudra cependant attendre la deuxième moitié du XVII<sup>e</sup> siècle pour qu'un autre système de régulation fasse son apparition: le pendule.

Rappelons, en conclusion, que des progrès technologiques importants sont enregistrés pendant le Moyen Âge, surtout à partir du XII<sup>e</sup> siècle. Les ingénieurs du Moyen Âge s'appuient sur la tradition romaine (en construction) et grecque (en mécanique) et bénéficient des apports des civilisations asiatiques. Ce qui caractérise le Moyen Âge, c'est, en matière de sources d'énergie, le passage de la force humaine à la force de l'eau et du vent, et une meilleure utilisation de la force animale. L'agriculture connaît aussi des progrès importants.

## 2.4 RENAISSANCE, XVI<sup>e</sup> ET XVII<sup>e</sup> SIÈCLES

La fin de la période que l'on appelle Moyen Âge n'est pas marquée par une rupture, tout au moins en ce qui concerne le développement technologique. En fait, l'évolution amorcée au Moyen Âge va simplement continuer et aboutir à la révolution industrielle du XVIII<sup>e</sup> siècle.

La présente section porte sur la période allant du XV<sup>e</sup> au XVII<sup>e</sup> siècle inclusivement et englobe donc la Renaissance, époque de progrès scientifique et technique particulièrement brillante.

On peut distinguer pendant cette période trois pôles géographiques de développement technologique: l'Italie avec les architectes-ingénieurs, l'Allemagne avec les métallurgistes et les imprimeurs, et les Pays-Bas où l'on effectue de grands travaux pour gagner des sols sur la mer.

En Italie, on entreprend de grands travaux de génie civil autour de Milan et dans la vallée du Pô. On améliore les canaux existants, on étend le réseau. Des systèmes d'écluses permettent de relier des canaux à des niveaux différents: on y utilise les portes à double battant en biseau, nouvellement inventées (peut-être par Léonard de Vinci) et qui donnent un joint plus étanche que l'ancien système.

De nombreuses innovations sont introduites dans les méthodes de production pour fabriquer des objets en grande quantité et à meilleur coût. L'organisation du travail dans les fonderies de laiton (qui fabriquent un grand éventail de petits objets: boucles de harnais, quincaillerie de fenêtre, dés, etc.) permet de produire des objets standard à prix modique. À Venise, l'arsenal met au point une méthode pour garder en magasin une flotte de galères non montées. Les pièces et les ensembles sont interchangeables et numérotés: c'est en quelque sorte la galère de série ou, si l'on veut, la galère préfabriquée.

La diversité des intérêts des ingénieurs de la Renaissance se reflète dans les nombreux cahiers de Léonard de Vinci. Léonard se passionnait surtout pour le génie militaire (machines de guerre offensives et fortifications), mais ses notes portent sur une grande variété d'autres sujets: anatomie humaine et animale, vol des oiseaux, mouvement, hydraulique, friction, couples de forces, etc.

La Renaissance connaît aussi de grands progrès en métallurgie, particulièrement dans la fonderie du bronze, du laiton, du plomb et de l'étain. C'est en Europe centrale (en Allemagne notamment) que le développement est le plus impressionnant avec la formation d'une grande compagnie de type moderne. La famille Fugger de Augsbourg (Bavière) contrôle des mines et des usines de traitement d'argent et de cuivre au Tyrol et en Hongrie. Vers 1500, les Fugger forment une compagnie avec l'ingénieur des mines Johannes Turso et en arrivent à dominer le marché européen du cuivre et de l'argent. Leur compagnie parvient à mettre au point un procédé de liquation pour extraire l'argent du cuivre.

Les progrès en exploitation des mines et en métallurgie s'accompagnent de progrès en chimie analytique des métaux: analyse quantitative (teneur des minerais, composition des alliages, qualité des monnaies) et qualitative (couleur de flamme, couleur de fumée, essais à la perle de verre). On améliore la connaissance des propriétés des métaux et des alliages (abaissement du point de fusion

des alliages, composition au point de fusion minimal, affinité des métaux et composés intermétalliques, substitution des métaux en solutions). De nouveaux procédés sont mis au point pour l'extraction (liquation, déjà citée, et cémentation) et pour le travail des métaux (durcissement par le forgeage à froid, adoucissement par le recuit). Avec le développement d'appareils précis apparaissent les méthodes physiques de caractérisation des métaux: mesure de densité et, à partir du XVII<sup>e</sup> siècle, examen microscopique.

L'imprimerie est l'une des inventions les plus fameuses qui ait été réalisée au tournant du Moyen Âge et de la Renaissance. L'environnement technologique était propice: on avait le papier, l'encre et la presse. Mais l'innovation qui permettra finalement la création de l'imprimerie moderne, c'est la mise au point des caractères métalliques mobiles.

On s'accorde à reconnaître la paternité de l'invention à l'Allemand Johannes Gutenberg. Mais Gutenberg n'a pas été le seul à travailler sur le sujet. Il est évident que dans un contexte social, économique et technologique mûr, l'idée devait germer en plusieurs endroits presque simultanément (des documents attestent le fait à Avignon et en Hollande).

Les premiers ouvrages connus sortis de l'atelier de Gutenberg sont un almanach en 1448 et la fameuse bible dite «de Gutenberg» en 1453. Cinquante ans plus tard, on dénombre 1700 presses dans 300 villes d'Europe et on estime la production de ce premier demi-siècle à 15 ou 20 millions de volumes.

L'impact de l'invention de l'imprimerie sur la société occidentale est considérable. D'abord, toute une gamme d'industries se développent autour d'elle: fabrication de papier, fabrication des caractères, ateliers d'imprimerie et de reliure. Fait encore plus important, l'imprimerie donne lieu à un remarquable changement social: la démocratisation du savoir, qui sera certes lente et progressive, mais dont les effets sur la société seront profondément ressentis.

Des conditions économiques et politiques favorables au développement technologique, comme celles qu'avait connues l'Allemagne au début du XVI<sup>e</sup> siècle, se retrouvent un peu plus tard aux Pays-Bas. À partir du milieu du XVI<sup>e</sup> siècle, les ingénieurs hollandais s'illustrent par les travaux qu'ils mettent en oeuvre pour gagner des terres sur l'océan et sur les mers intérieures. Entre 1540 et 1690, ils conquièrent ainsi 178 000 hectares. Pour cela, ils mettent au point des techniques qui leur permettent de construire des digues pouvant résister aux assauts de la mer du Nord souvent tempétueuse. Les Hollandais développent aussi des techniques complexes pour assécher marécages et mers intérieures, qu'ils transforment en polders: le futur polder est entouré d'une digue, puis on y creuse un réseau de canaux de drainage à partir desquels l'eau est pompée (les pompes sont actionnées par les fameux moulins à vent du paysage hollandais) dans des canaux extérieurs qui l'acheminent vers des rivières ou vers l'océan.

## 2.5 ÈRE MODERNE ET RÉVOLUTIONS INDUSTRIELLES

Les XVIII<sup>e</sup>, XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles sont marqués par trois révolutions industrielles successives. La première, que l'on situe entre 1780 et 1840, prend naissance en Grande-Bretagne. Elle découle du perfectionnement de la machine à vapeur par l'Écossais James Watt et transforme radicalement les industries du textile, des mines, de la fabrication et du transport.

La seconde révolution industrielle de l'ère moderne est due à la découverte de l'électricité par l'Américain Thomas Edison. En gros, cette révolution dure de 1860 à 1910; ses effets se font surtout sentir aux États-Unis, en Allemagne et en Grande-Bretagne. L'électricité permet une augmentation de la production de l'acier et des produits chimiques, l'expansion des chemins de fer, du téléphone, du télégraphe, etc. C'est pendant la deuxième révolution industrielle que sont nés l'automobile, l'avion, la radio, les matières plastiques ainsi que de nombreux instruments scientifiques.

La troisième révolution industrielle commence dans les années 1940 avec la découverte de la fission nucléaire. Durant cette période, de vastes programmes de recherches permettent l'exploration de l'atome et de l'espace. On connaît alors les missiles, les avions supersoniques, le radar, l'astronomie moderne et... la bombe nucléaire. D'autres développements technologiques encore plus fabuleux se produisent: la microélectronique, les matériaux synthétiques, la télévision, les télécommunications. Cette révolution-là est loin d'être terminée!

Les changements technologiques que nous connaissons présentement sont profonds et irréversibles (robotique, informatique, intelligence artificielle, biotechnologies). Ils ont des répercussions dans toutes les sphères de l'activité humaine. Ils sont la source d'un dynamisme sans précédent dans l'histoire économique. Mais s'ils sont bien des facteurs de progrès, ils entraînent aussi des déséquilibres sociaux.

Ainsi connaissons-nous, grâce à ces changements, un taux d'augmentation de la productivité encore jamais vu, des moyens de réaliser des économies substantielles sur nos matières premières (énergie et espace), un ratio bénéfices/coûts incomparable, une diminution notable de l'effort physique et du stress mental, etc.

Par contre, toutes ces nouvelles technologies ont réduit de beaucoup les besoins en main-d'oeuvre; elles ont ainsi amené un chômage qui ne peut se résorber que par les nouvelles activités économiques qu'elles-mêmes engendrent. De plus, elles nécessitent le recyclage de la main-d'oeuvre et exigent de forts investissements en recherche et développement.

L'ingénieur est partout présent dans ces changements technologiques, aussi bien comme concepteur que comme utilisateur. On voit par là que son rôle social est capital.

Que nous réserve l'avenir? Quelles sont les nouvelles limites de l'ingénierie? Déjà on projette des usines et des laboratoires spatiaux pour la fabrication, entre autres, de médicaments en conditions d'apesanteur. Les océans sont des réservoirs d'énergie et de nourriture à peine utilisés. La génétique ouvre la voie à la fabrication en série d'organismes vivants...

Assurément, l'ingénierie est une voie d'avenir.

## **CHAPITRE 3**

### **CARACTÉRISTIQUES D'UN PROJET D'INGÉNIERIE**

- 3.1 Définition de la notion de projet
- 3.2 Définition de la notion de projet d'ingénierie
  - 3.2.1 Réaliser quelque chose
  - 3.2.2 Satisfaire un besoin
  - 3.2.3 Recourir aux sciences appliquées
  - 3.2.4 Respecter un délai donné
  - 3.2.5 Respecter un budget donné
  - 3.2.6 Suivre une séquence d'activités
  - 3.2.7 Mettre en oeuvre certaines ressources
- 3.3 Classifications des projets d'ingénierie
  - 3.3.1 Domaines d'application des projets
  - 3.3.2 Taille des projets
  - 3.3.3 Projets publics ou projets privés
  - 3.3.4 Projets unidisciplinaires ou projets pluridisciplinaires
- 3.4 Gestion des projets d'ingénierie
  - 3.4.1 But de la gestion de projets
  - 3.4.2 Activités relatives à la gestion de projets

Tout projet où la contribution professionnelle d'ingénieurs est significative peut à juste titre être appelé projet d'ingénierie.

Vous connaissez certainement plusieurs grands projets d'ingénierie québécois: la voie maritime du Saint-Laurent, les barrages d'Hydro-Québec sur les rivières Manicouagan et Outardes, les installations olympiques et le métro de Montréal, le réseau de télécommunications de Bell, les satellites et le «bras canadien» de la navette spatiale de la compagnie SPAR, les usines de métallurgie d'Alcan, les véhicules de transport de la compagnie Bombardier, etc. La liste pourrait encore s'allonger.

Vous savez aussi qu'une multitude de services dont vous disposez quotidiennement sont l'aboutissement de projets d'ingénierie de plus ou moins grande envergure. Par exemple, l'automobile, l'autobus, la bicyclette que vous utilisez ont été conçus par des ingénieurs; si l'eau que vous buvez est potable, c'est en bonne partie grâce à des ingénieurs. Les trottoirs, les routes et les autoroutes, les ponts n'existeraient pas sans les ingénieurs, l'ordinateur non plus.

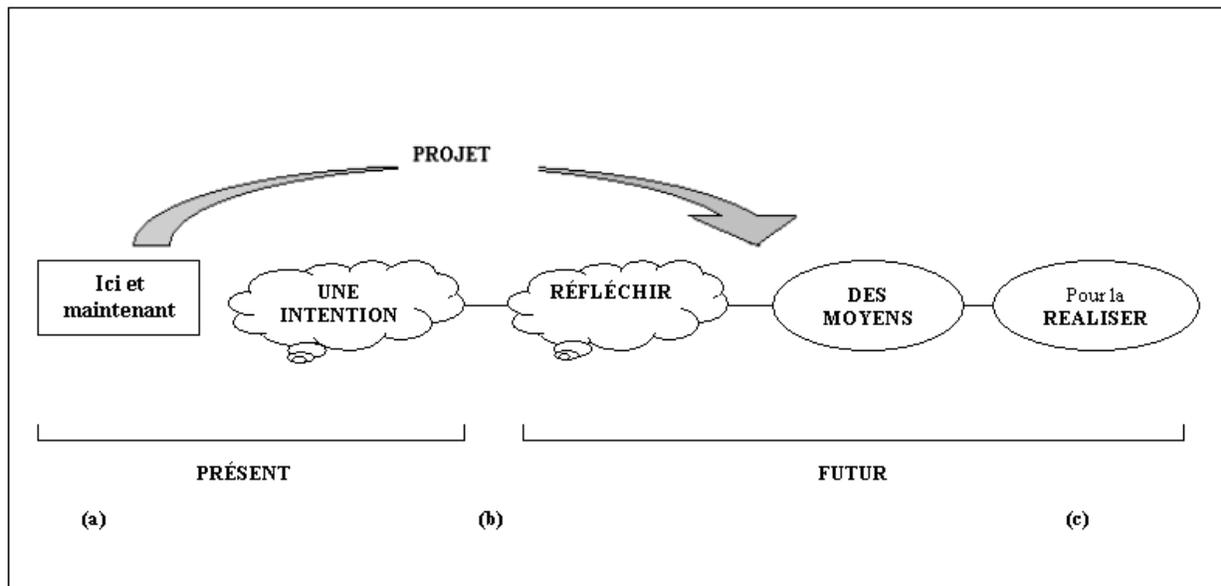
Toutes ces réalisations sont l'aboutissement de projets d'ingénierie, et les projets d'ingénierie possèdent des caractéristiques communes qui les distinguent des autres projets en général. Dans le présent chapitre, nous définirons ces caractéristiques, nous présenterons différentes classifications des projets d'ingénierie et nous verrons rapidement en quoi consiste la gestion de projets.

### **3.1 DÉFINITION DE LA NOTION DE PROJET**

Le mot projet est associé à toutes les aventures humaines. Certains projettent d'acheter une maison, de partir en vacances, de mettre au point un nouveau produit, de se lancer en affaires, d'avoir un enfant. D'autres font le projet d'apprendre une deuxième langue, de rédiger un livre, de poursuivre des études, d'apprendre à sauter en parachute, etc.

Dans l'entendement quotidien, le mot projet traduit une intention: il renvoie alors à l'image d'une situation, ou d'un état, que l'on espère atteindre. Le mot projet implique donc une ouverture sur l'avenir. Le terme recouvre en fait un processus que l'on peut décrire de la façon suivante (fig. 3.1):

- a) un individu formule une intention vague et spontanée,
- b) à laquelle il entend bien réfléchir,
- c) de façon à trouver et à prendre les moyens permettant de la faire aboutir et donc de réaliser le projet.



**Figure 3.1** Représentation du processus que sous-entend le mot projet.

Par exemple, un individu vivant au Québec a l'intention de passer ses prochaines vacances en Yougoslavie. L'idée est folle, il n'y avait jamais pensé, mais elle lui plaît. Il y pense souvent, il en parle à ses amis. Plus il y pense et plus il en parle, plus il se rend compte qu'il ne pourra tout visiter pendant son voyage. Il décide donc de réfléchir à la chose. Dans son esprit, l'équation «temps de vacances/somme d'argent disponible/quantité de choses à voir» l'amène à faire des choix. Son idée faite, il prend les moyens nécessaires pour effectuer son voyage; il consulte une agence, il fait des réservations d'auto et d'hôtel, il trace son itinéraire. Tout est prêt, notre individu s'envole le mois prochain pour réaliser ce qui n'était au départ qu'une idée un peu folle, son projet!

### 3.2 DÉFINITION DE LA NOTION DE PROJET D'INGÉNIERIE

Un projet d'ingénierie, c'est d'abord un projet tout court. En ce sens, un projet d'ingénierie a les mêmes caractéristiques que celles que nous venons d'identifier. Un ingénieur, dans le présent, a une intention à laquelle il entend réfléchir, de façon à trouver et à prendre les moyens permettant de la faire aboutir et de réaliser le projet.

Plus spécifiquement, un projet d'ingénierie, c'est un projet qui a des composantes techniques, que seul un ingénieur peut étudier de par sa formation et dont lui seul peut assurer la faisabilité, autant lors de son élaboration que de son exécution. Certains pays, comme le Canada et les États-Unis, régissent même par la loi l'activité réservée aux ingénieurs. Cette mesure vise à protéger le public et à garantir que les maîtres d'oeuvre qui entreprennent des projets d'ingénierie ont la compétence requise.

On parle donc de projet d'ingénierie quand une proportion significative de l'élaboration ou de l'exécution de ce projet exige une contribution des sciences appliquées (voir tab 1.3.1).

Précisons encore la définition d'un projet d'ingénierie pour la rendre plus opérationnelle:

*Un projet d'ingénierie, c'est quelque chose à réaliser pour satisfaire un besoin; pour concevoir et réaliser ce quelque chose, il est indispensable de recourir aux sciences appliquées. Un projet d'ingénierie est réalisé dans un délai et avec un budget donnés; il implique une séquence d'activités et la mise en oeuvre de certaines ressources.*

Reprenons en détail chacun des éléments de cette définition.

### **3.2.1 Réaliser quelque chose**

L'ingénieur conçoit et réalise quelque chose de concret. Ce peut être un pont, un bâtiment, des infrastructures urbaines, un schéma directeur, le prototype d'un véhicule, une chaîne de montage, des procédures de contrôle de la qualité, etc.

Chacun de ces objets concrets à réaliser a cependant un caractère unique. Un ingénieur en structure ne bâtit pas deux fois le même pont! Des projets d'ingénierie différents peuvent en effet reposer sur des principes de sciences appliquées identiques, mais l'application de ces principes variera toujours d'un projet à l'autre. Les conditions, les contraintes d'espace, de temps, d'argent, de matériaux obligeront chaque fois l'ingénieur à concevoir et à fabriquer un objet original.

### **3.2.2 Satisfaire un besoin**

L'ingénieur travaille pour satisfaire des besoins. Il ne conçoit pas une usine pour son propre plaisir. Il le fait pour satisfaire le besoin d'un client. Ce client peut être une ville, une industrie, un gouvernement, une agence de développement international, etc.

Les besoins sont infiniment variés. Par exemple, un projet d'usine d'épuration des eaux usées, domestiques ou industrielles, vise à contrôler la qualité des eaux du cours d'eau récepteur et satisfait des besoins environnementaux, des besoins de récréation aquatique et d'alimentation en eau. Un projet de chauffage, ventilation et climatisation d'un complexe immobilier assurera un environnement confortable aux occupants des lieux. La robotisation d'une chaîne de montage comblera des besoins d'amélioration de la productivité, d'uniformisation de la production, et dégagera du personnel pour d'autres tâches. La mise au point des fibres optiques permettra aux entreprises de communications et de télécommunications d'améliorer et d'augmenter leur capacité de transmission pour répondre à une demande sans cesse croissante.

### **3.2.3 Recourir aux sciences appliquées**

Les outils de l'ingénieur sont des notions et des principes scientifiquement établis, lesquels régissent et décrivent le comportement de l'univers et de son contenu. Les lois du mouvement, de la thermodynamique, de la matière et de l'électricité ne sont que quelques-uns de ces outils qui permettent à l'ingénieur de reconnaître ou de façonner une solution valable à un problème donné.

Le tableau 3.1 présente quelques notions et principes de sciences appliquées utilisés par l'ingénieur.

### **3.2.4 Respecter un délai donné**

Un projet d'ingénierie a une durée de vie limitée. On commence à un moment précis, on prévoit des échéances intermédiaires, on fixe une date finale à laquelle le projet doit absolument être terminé. La durée du délai entre le démarrage et l'aboutissement a une influence primordiale sur les ressources à mettre en oeuvre pour réaliser le projet, sur le budget requis et, conséquemment, sur l'organisation de l'ensemble du projet.

Par exemple, et où que ce soit dans le monde, on ne saurait terminer en retard un projet de construction d'installations olympiques. Les jeux olympiques ont lieu à période fixe, tous les quatre ans et à des dates annoncées longtemps d'avance. Les ingénieurs qui travaillent aux installations font donc face à des échéances impératives.

À un autre niveau, votre propre mini-projet d'ingénierie doit aussi respecter un délai donné. Il commence quelques semaines après le début du trimestre, vous avez des échéances pour la remise séquentielle des travaux que l'on exige dans le cadre de cette activité; vous devez aussi remettre un rapport final et faire un exposé à une date déterminée, qui ne changera pas. Il en va de même pour tous les projets d'ingénierie.

### **3.2.5 Respecter un budget donné**

Un projet d'ingénierie est toujours lié à une enveloppe budgétaire que l'ingénieur doit respecter. Cette obligation s'ajoute aux contraintes de délais dont nous venons de parler.

Le budget d'un projet d'ingénierie est confié à un ingénieur, ou à un bureau d'ingénieurs, par un client. Ce budget est d'abord estimé de façon approximative à la suite de prévisions basées, dans certains cas, sur le coût de réalisations similaires. Dans d'autres cas, ces prévisions s'appuieront sur la rentabilité du projet ou la possibilité pour le client de réaliser un bénéfice. En général, deux types de dépenses sont associés aux projets d'ingénierie: les dépenses liées aux études requises pour concevoir, analyser et dessiner le produit ou le système à réaliser (ces dépenses sont souvent déterminantes pour la viabilité d'un projet), et les dépenses liées à la réalisation de l'objet lui-même, soit la construction, la fabrication, la mise en place, etc.

Les dépenses associées aux études d'ingénierie préalables découlent principalement des honoraires professionnels des ingénieurs et des coûts de fonctionnement associés à leur travail (personnel de soutien, temps d'ordinateur, etc.).

**Tableau 3.1** Quelques notions et principes de sciences appliquées utilisés par l'ingénieur

MESURES ET UNITÉS CORRESPONDANTES	MATHÉMATIQUES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- longueur : mètre</li> <li>- masse : kilogramme</li> <li>- force : newton</li> <li>- temps : seconde</li> <li>- pression : pascal</li> <li>- température : degré Celsius degré Fahrenheit degré kelvin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- arithmétique</li> <li>- algèbre</li> <li>- géométrie</li> <li>- trigonométrie</li> <li>- calcul différentiel et intégral</li> <li>- statistiques</li> <li>- graphiques</li> <li>- informatique</li> <li>- évaluation des erreurs</li> </ul>
MÉCANIQUE	CHALEUR
<ul style="list-style-type: none"> <li>- statique</li> <li>- cinématique: position, vitesse, accélération</li> <li>- masse: densité, relativité</li> <li>force: travail, énergie, puissance, conservation et transmission</li> <li>- dynamique</li> <li>- mécanique des solides, mécanique des fluides</li> <li>- comportement des matériaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- température: expansion, contraction</li> <li>- chaleur: énergie thermique</li> <li>- transfert de la chaleur</li> <li>- propriétés des gaz: <ul style="list-style-type: none"> <li>· loi des gaz,</li> <li>· comportement des gaz,</li> <li>· processus des gaz parfaits,</li> <li>· pression constante</li> </ul> </li> <li>- fusion et vaporisation</li> <li>- solides, liquides et gaz</li> <li>- thermodynamique: principes, cycles</li> </ul>
MATÉRIAUX	ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME
<ul style="list-style-type: none"> <li>- chimie des matériaux: comportement des matériaux sous diverses conditions de température, en réaction avec d'autres éléments.</li> <li>- comportement mécanique: <ul style="list-style-type: none"> <li>· résistance · torsion</li> <li>· flexion · dureté</li> <li>· traction · fluidité</li> <li>· compression · viscosité</li> </ul> </li> <li>- métallurgie: alliages, corrosion, fatigue.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- capacité électrostatique</li> <li>- champ électrique, potentiel</li> <li>- courant et résistance</li> <li>- unités: ampère, volt, ohm, coulomb, watt</li> <li>- électrochimie et thermo-électricité</li> <li>- effets magnétiques de la matière</li> <li>- induction électromagnétique</li> <li>- réactions nucléaires</li> </ul>
LUMIÈRE	NOTIONS D'ÉCONOMIE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- propagation</li> <li>- illumination</li> <li>- réflexion</li> <li>- réfraction</li> <li>- dispersion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- capital</li> <li>- profit</li> <li>- coût de l'argent</li> <li>- coût du temps</li> <li>- dépréciation</li> <li>- études économiques comparatives</li> </ul>

Les dépenses liées au produit ou au système lui-même dépendent de sa nature et de son envergure. Par exemple, construire un gratte-ciel coûte plus cher qu'aménager les services d'un terrain de camping. La construction d'une centrale nucléaire est un projet d'une plus grande envergure que la construction d'une piscine olympique. Plus un projet est complexe, plus la variété des compétences qu'il requiert est grande, plus il est luxueux, et plus les procédés techniques pour le réaliser seront sophistiqués, et son coût élevé.

### **3.2.6 Suivre une séquence d'activités**

Tous les projets d'ingénierie suivent, à peu de chose près, la même séquence d'activités. Cette séquence d'activités est d'ailleurs présentée dans le chapitre 4 comme la méthode générale que les ingénieurs emploient dans leurs projets.

Cette séquence d'activités peut impliquer des centaines de personnes et des milliers d'opérations sur des périodes de temps variables. Il devient dès lors indispensable de faire une planification des activités. On ne peut plus se fier à des accords verbaux, ni à sa mémoire. C'est pourquoi les ingénieurs emploient des techniques de planification et de contrôle de la séquence des activités liées à leurs projets. Les deux méthodes les plus connues sont PERT (Program Evaluation and Review Technique) et CPM (Critical Path Method). Ces techniques permettent de représenter des réseaux d'activités sous forme d'algorithmes, de déterminer les durées minimales de groupes d'activités et de calculer des marges de sécurité.

### **3.2.7 Mettre en oeuvre certaines ressources**

Les ressources en cause dans les projets d'ingénierie sont de trois types: les ressources matérielles, les ressources humaines et l'équipement.

Les ressources matérielles comprennent les matériaux et les sources d'énergie nécessaires à la réalisation du projet.

Les ressources humaines englobent le personnel, professionnel ou non, nécessaire à l'étude du projet, ainsi que la main-d'oeuvre ouvrière et professionnelle chargée de l'exécution du projet.

Enfin, aux ressources matérielles et humaines s'ajoute l'équipement: celui qui est requis pour effectuer l'étude du projet et celui que requièrent les différentes opérations relatives à l'exécution du projet: transport des matériaux, mise en place, contrôle de la qualité et de la performance, etc.

## **3.3 CLASSIFICATIONS DES PROJETS D'INGÉNIERIE**

La définition que nous venons d'expliciter ne nous a pas permis de mettre en évidence une façon de classer les projets d'ingénierie les uns par rapport aux autres. Les classifications que nous présentons maintenant ne sont ni exhaustives ni étanches; au contraire, elles se recoupent en plusieurs points. Ces classifications sont basées respectivement sur les domaines d'applications des projets, sur la taille des projets, sur leurs sources de financement et sur la nature de l'équipe de travail nécessaire à leur réalisation.

### **3.3.1 Domaines d'applications des projets**

Selon que l'on réalise un projet de bâtiment, d'usine, un ouvrage de travaux publics, un projet informatique, des aménagements aéroportuaires, des aménagements hydroélectriques, etc., on dira que les projets concernés sont, selon le cas, des projets résidentiels, industriels, récréatifs ou du domaine des services publics, institutionnels, ou alors des projets de transport aérien, maritime, ferroviaire, urbain, et ainsi de suite.

Les domaines d'applications des projets d'ingénierie, vous vous en rendez bien compte, sont multiples. Nous ne pouvons en faire la liste complète. Nous vous laissons le soin d'inventorier d'autres domaines d'applications.

### **3.3.2 Taille des projets**

La taille d'un projet d'ingénierie est fonction de l'envergure du travail à accomplir. On parle, selon le cas, de petits, de moyens ou de grands projets, ou encore de mégaprojets d'ingénierie. La taille du projet est fonction de la combinaison de plusieurs facteurs: le coût du projet, sa durée, la taille de l'équipe de travail, la complexité technique et scientifique.

Par exemple, la construction d'une station-service est un petit projet d'ingénierie. La construction de routes ou de bâtiments industriels sont des projets moyens.

À Montréal, la construction du Complexe Desjardins, du métro, du parc olympique sont de grands projets d'ingénierie coûtant plusieurs millions de dollars. Enfin, l'aménagement du complexe hydroélectrique de la baie James, la réalisation du programme spatial américain sont des mégaprojets d'ingénierie.

Plus la taille du projet est grande, plus il est difficile de garder opérant le réseau de liens techniques et administratifs entre les différents intervenants. Il faut alors embaucher des spécialistes de la gestion de projets. Nous aborderons brièvement cette question à la section 3.4 du présent chapitre.

### **3.3.3 Projets publics ou projets privés**

La provenance des fonds nécessaires au financement d'un projet d'ingénierie en détermine le caractère public ou privé.

Un projet public est un projet qu'entreprend un gouvernement et que financent des fonds publics. Ce genre de projets n'a habituellement pas de buts lucratifs. Les objectifs poursuivis sont plutôt d'ordre socio-économique et environnemental. Ainsi, l'usine d'épuration des eaux d'égout de la ville de Montréal, le design et l'installation des lignes de transmission d'électricité d'Hydro-Québec, et le lancement de satellites de communication sont des projets publics. Les projets publics sont habituellement réalisés dans les limites du territoire national; il arrive cependant que des agences gouvernementales d'aide internationale entreprennent des projets publics dans d'autres pays.

Un projet privé est lancé par un entrepreneur privé avec des fonds privés. Les projets de ce type répondent à des besoins déterminés tout comme les projets publics. Toutefois, le but premier d'un

projet d'ingénierie privé est la rentabilité financière. Le projet doit profiter à l'investisseur privé. Les projets privés sont aussi bien nationaux qu'internationaux. L'aluminerie d'Alcan à La Terrière et celle de Pechiney à Bécancour sont des mégaprojets privés. La construction de la tour du CN à Toronto est un grand projet privé, rentable pour le CN. Il en est de même pour la plupart des raffineries de pétrole, qui sont aussi de grands projets privés, rentables pour les actionnaires des compagnies participantes.

### **3.3.4 Projets unidisciplinaires ou projets pluridisciplinaires**

Un projet d'ingénierie unidisciplinaire fait appel à des ingénieurs d'une seule spécialité. Par exemple, un projet de modification d'une chaîne de production industrielle n'emploie que des ingénieurs industriels; un projet d'agrandissement d'un réseau d'aqueducs dans une municipalité n'emploie que des ingénieurs civils.

En revanche, un projet pluridisciplinaire fera appel à plusieurs disciplines. Ces disciplines peuvent relever du génie ou d'autres professions. Par exemple, un projet de brasserie fera appel à des ingénieurs chimistes pour les procédés du brassage, à des ingénieurs industriels pour les aspects de la production, à des spécialistes du bâtiment (génie civil, mécanique, électrique), à des architectes, à des spécialistes en santé et sécurité du travail. Ceux-ci travailleront de concert au projet, unissant leurs efforts, leurs connaissances et leur expérience professionnelle dans la recherche, la conception, le design et la construction.

Évidemment, toutes les classifications que nous venons de citer se recoupent; ainsi les projets publics internationaux sont souvent, pour le Québec, de grands projets hydroélectriques pluridisciplinaires. Et, dans le domaine du bâtiment, la compagnie SOFATI, un entrepreneur privé québécois, travaille aussi bien à des grands qu'à des moyens projets pluridisciplinaires, à l'échelle nationale ou internationale.

## **3.4 GESTION DES PROJETS D'INGÉNIERIE**

### **3.4.1 But de la gestion de projets**

La gestion d'un projet d'ingénierie est un processus qui s'étend à toutes les phases du projet (voir chap. 4). Ce processus vise à vérifier que la méthode de travail établie est respectée, que le projet se réalise bien selon les critères de qualité adoptés, et ce à l'intérieur des délais prescrits et des budgets alloués.

Tous les projets d'ingénierie sont soumis à un processus de gestion, les petits comme les grands. Dans les petits projets, l'ingénieur concepteur assume aussi le rôle de gestionnaire. Dans les grands projets, la complexité de la gestion est telle qu'il faut recourir à des spécialistes. Ces derniers constituent alors des équipes de projet chapeautées par des chefs d'équipe auxquels on délègue des responsabilités. On met aussi en place des mécanismes de prise de décision et de coordination du travail.

### 3.4.2 Activités relatives à la gestion de projets

Le processus de gestion de projets d'ingénierie se développe autour des activités suivantes:

- la planification du projet,
- l'organisation du projet,
- la direction et la coordination du projet,
- l'évaluation et le contrôle du projet.

Pour les gestionnaires, planifier signifie déterminer les objectifs à atteindre et établir un programme d'opérations pour y arriver.

Organiser, c'est diviser le travail pour réaliser le programme d'opérations. Les gestionnaires partagent alors les tâches ou les activités du projet entre chacune des personnes en cause. Chacune se voit confier la responsabilité d'un ensemble de tâches. La totalité de ces tâches est intégrée dans un réseau ordonné et programmé qui indique les dates d'échéance des activités, les ressources requises, le cheminement critique, etc.

Diriger signifie mener dans une direction. Le terme implique donc des notions d'autorité et de responsabilité. Parmi les gestionnaires, certains ont des tâches de direction: ils ont alors le pouvoir de décider. Leurs décisions peuvent porter autant sur l'objet du projet que sur les ressources à mettre en oeuvre.

Coordonner signifie harmoniser les efforts des membres de l'équipe et les canaliser vers la réalisation du programme d'opérations établi. La tâche de coordonner se juxtapose à celle de diriger. Elle implique que les directeurs créent des mécanismes de communication des informations et des résultats, et effectuent un suivi de la progression du travail.

Pour un gestionnaire, évaluer consiste à estimer régulièrement à quel degré les objectifs poursuivis sont atteints et à déterminer la concordance entre la progression réelle du projet et le plan d'action établi.

Contrôler signifie vérifier que tout se passe selon les prévisions. Si tel n'est pas le cas, on doit redresser la situation au moyen de divers correctifs. Les gestionnaires s'assureront, par exemple, que des mesures de contrôle de la qualité ont bel et bien été prises, que l'inspection des travaux est satisfaisante et que les équipements utilisés sont adéquats; ils vérifieront les calendriers de travail, les budgets, le rendement de la main-d'oeuvre, etc.

Pour résumer, disons que dans un projet, l'ingénieur concepteur est responsable du *comment*: comment on *design*, comment on construit, comment on opère, etc. De leur côté, les gestionnaires sont responsables du *qui fait quoi* et *quand*.

## **CHAPITRE 4**

### **MÉTHODE GÉNÉRALE DE CONCEPTION ET DE RÉALISATION DES PROJETS D'INGÉNIERIE**

#### 4.1 Complexité des problèmes d'ingénierie et nécessité d'une méthode

- 4.1.1 Composition d'une équipe de travail
- 4.1.2 Taille des budgets
- 4.1.3 Complexité des outils de calculs
- 4.1.4 Complexité des connaissances scientifiques
- 4.1.5 Contraintes de temps et calendriers de travail

#### 4.2 Vue d'ensemble de la méthode générale

- 4.2.1 Phase 1: naissance du projet
- 4.2.2 Phase 2: design du projet
  - 4.2.2.1 Première étape: formulation du problème
  - 4.2.2.2 Deuxième étape: recherche de solutions
  - 4.2.2.3 Troisième étape: étude de praticabilité
  - 4.2.2.4 Quatrième étape: étude préliminaire et prise de décision
  - 4.2.2.5 Cinquième étape: raffinement de la solution
- 4.2.3 Phase 3: exécution du projet
- 4.2.4 Phase 4: exploitation du projet

#### 4.3 Phases et étapes vues dans le cours 2.190

L'une des plus grandes et des plus complexes réalisations du génie québécois est sans contredit l'aménagement hydroélectrique de la rivière La Grande dans le territoire de la Baie James. La Grande, avec son débit de  $1700 \text{ m}^3/\text{s}$  et sa dénivellée de 548 m, offrait en 1964 un potentiel de 9000 mégawatts et une production possible de 63 milliards de kilowattheures d'électricité par année.

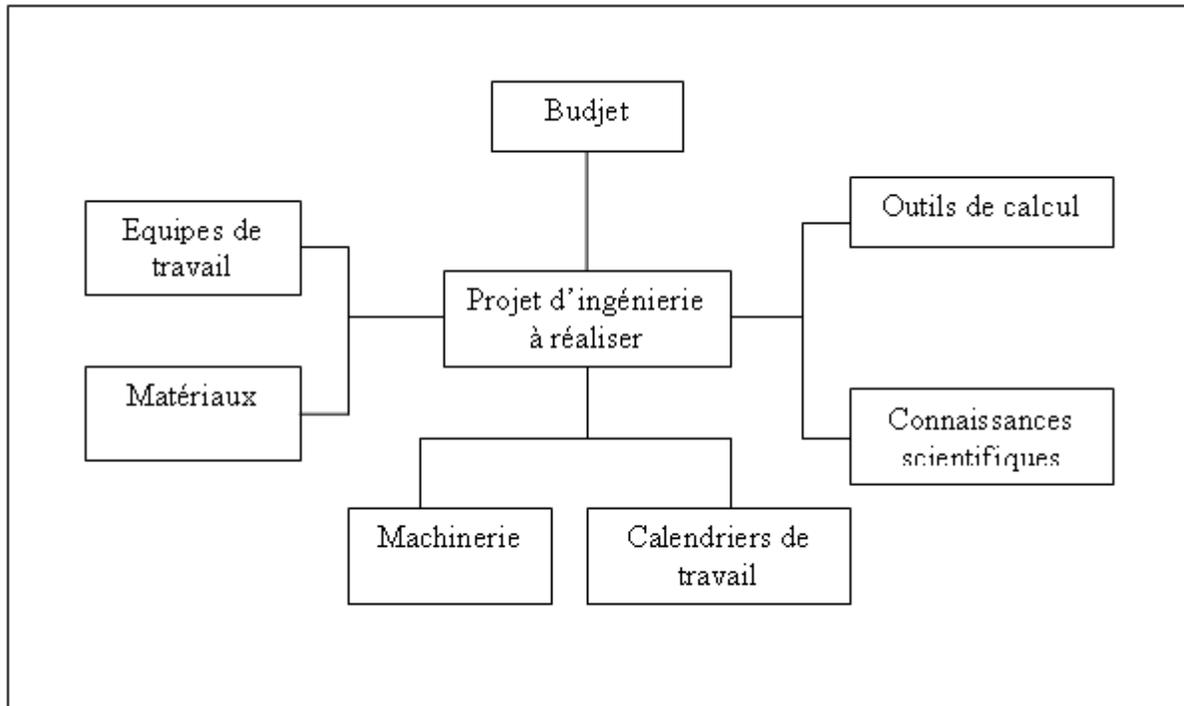
Pour mener à bien ce mégaprojet d'ingénierie, Hydro-Québec a d'abord dû engager plus de 1000 personnes afin d'explorer un territoire de  $176\,000 \text{ km}^2$ ; pendant ce temps, d'autres équipes, plus considérables encore, aménageaient 1000 km de routes, au coût de 200 millions de dollars. Il a fallu construire 5 villes équipées d'aéroports, aménager 15 campements pouvant recevoir 18 000 ouvriers, déplacer 5000 Indiens Cris. Puis Hydro-Québec a érigé 215 digues et barrages, des régulateurs de crues ainsi que les trois centrales de production d'énergie LG2, LG3 et LG4. Un mégaprojet échelonné sur plus de 20 années!

L'aménagement hydroélectrique de la Baie James a exigé la concertation de centaines d'équipes de toutes les spécialités du génie: géologues, ingénieurs des mines, hydrologistes, chimistes, ingénieurs mécaniciens, ingénieurs électriciens, etc. À cause de l'envergure et de la complexité des ouvrages, chacune des phases des travaux devait entrer dans une organisation rigoureusement structurée.

En fait l'organisation des phases d'un projet est la même pour tous les projets d'ingénierie, quelles que soient leur nature ou leur envergure. C'est une approche générale qui permet aux ingénieurs, peu importe leur spécialité, de travailler tous avec la même méthode, selon une même démarche systématique et rationnelle. Le chapitre 4 présente cette démarche méthodique.

#### **4.1 COMPLEXITÉ DES PROBLÈMES D'INGÉNIERIE ET NÉCESSITÉ D'UNE MÉTHODE**

L'ingénieur est appelé à résoudre toutes sortes de problèmes complexes en tenant compte de facteurs généraux. Ces facteurs sont énumérés dans la figure 4.1.



**Figure 4.1** Facteurs généraux relatifs à un projet d'ingénierie.

L'ingénieur qui travaille à un projet d'ingénierie doit accomplir sa tâche dans une période de temps définie, en tenant compte d'un budget déterminé et avec des ressources humaines données. Pour réaliser ce projet, l'ingénieur dispose de connaissances scientifiques, de machinerie, d'outils de calcul et de matériaux. Cependant, si les ingénieurs étaient autrefois responsables de l'ensemble de leurs projets d'ingénierie, depuis le démarrage jusqu'au parachèvement, il n'en est plus de même aujourd'hui. La complexité des projets actuels, même les plus humbles, relègue au domaine du souvenir l'époque de l'ingénieur homme-orchestre, savant, capable de réaliser seul un projet d'ingénierie.

#### 4.1.1 Composition d'une équipe de travail

Là où autrefois l'ingénieur travaillait seul, on trouve désormais une équipe. Selon le projet en cause, cette équipe peut être composée d'ingénieurs de diverses spécialités et peut aussi comprendre d'autres professionnels comme des architectes, des physiciens, des médecins, des biologistes, des chimistes, etc. L'équipe peut rassembler une dizaine, ou même une centaine de personnes, elles-mêmes réparties en quelques dizaines d'équipes pluridisciplinaires. Toutes ces équipes doivent parvenir à conjuguer leurs connaissances et leur expérience au profit d'un projet qui dure souvent des années. À titre d'exemple, mentionnons qu'il a fallu concerter le travail de plus de 5000 ingénieurs pour que la NASA puisse envoyer un homme sur la Lune.

### **4.1.2 Taille des budgets**

Il n'y a pas si longtemps, les projets d'ingénierie se calculaient en centaines de milliers de dollars; aujourd'hui, même les millions n'y suffisent plus, on compte en milliards. Citons deux exemples: le projet de La Grande, dont nous parlions plus haut, a coûté à lui seul 8 milliards de dollars; et la compagnie General Motors du Canada investissait en 1986 la somme de 2 milliards de dollars dans la modernisation de ses usines d'Oshawa. C'est ce qui lui fallait dépenser pour s'adapter au design de nouvelles carrosseries de base et pour robotiser une bonne proportion de ses opérations de façon à rendre ses installations plus efficaces et plus productives.

### **4.1.3 Complexité des outils de calcul**

Vous n'avez même pas connu la règle à calcul, et à peine avez-vous appris à utiliser la calculatrice que vous devez déjà la délaissier au profit d'ordinateurs réalisant des milliers d'opérations à la seconde, à l'aide de logiciels eux-mêmes très complexes. L'ingénieur d'aujourd'hui doit maîtriser ces outils de calcul qui se renouvellent constamment et savoir en tirer le meilleur parti possible.

### **4.1.4 La complexité des connaissances scientifiques**

Les connaissances scientifiques d'un seul ingénieur ne suffisent plus pour venir à bout de la plupart des projets d'ingénierie contemporains. Par exemple, il faut que plusieurs spécialistes combinent leurs connaissances et leur expertise pour concevoir un moteur d'automobile en aluminium: certains vont se charger des études thermodynamiques du cycle moteur et de la dissipation de la chaleur, pour déterminer les effets de différentes températures; d'autres feront des études métallurgiques sur l'usure et la corrosion des cylindres, des coussinets et des systèmes de refroidissement; d'autres encore feront les tests de performance du moteur pour établir le taux de consommation, etc.

### **4.1.5 Contraintes de temps et calendriers de travail**

Enfin, à la complexité intrinsèque des projets d'ingénierie modernes s'ajoute désormais la nécessité de respecter des échéances de travail très serrées. Il faut, pour survivre financièrement, travailler plus vite, mieux et à meilleur coût.

Ainsi, ce qui fait que la tour du CN à Toronto est une réussite technologique exemplaire, c'est la rapidité et la précision avec laquelle fut construite cette structure, libre de tout appui, la plus haute au monde avec ses 553 m. Pour parvenir à ce résultat, les ingénieurs n'ont pas hésité à utiliser des techniques hors du commun. Grâce à des formes coulissantes et à une coulée de béton en continu, les ingénieurs ont terminé la tour en béton post-tensionné en un an seulement. Pendant qu'ils montaient les formes coulissantes, ils ont eu recours à des systèmes fondés sur les principes d'optique appliqués aux appareils de visée des bombardiers, de manière à pouvoir déceler immédiatement tout phénomène de torsion ou d'inclinaison de la tour. Pour ériger la partie métallique de la tour plus rapidement, ils ont procédé à l'assemblage de ses différentes sections à l'aide d'hélicoptères.

Les contraintes que nous avons énumérées dans les paragraphes qui précèdent sont celles de tous les ingénieurs d'aujourd'hui, peu importe les types de projets auxquels ils travaillent: accessoires électromécaniques, agro-alimentaire, bâtiment, construction automobile, domestication de l'énergie, conception d'ordinateurs, aérospatiale, génétique, etc.

Pour faire face à la complexité des projets d'ingénierie contemporains, pour produire davantage, plus vite, à meilleur coût et avec une plus grande efficacité, ainsi que l'exige notre monde moderne, l'ingénieur ne peut plus se fier à une démarche intuitive fondée sur des approximations guidées par le simple bon sens. Désormais, s'il veut s'y retrouver dans des projets complexes où il faut orchestrer le travail d'un grand nombre de personnes, respecter des échéances serrées, gérer des budgets importants et strictement contrôlés, utiliser des instruments de calcul sophistiqués et une machinerie coûteuse, l'ingénieur n'a plus le choix: plus que jamais, il doit miser sur la logique, l'organisation, la méthode. Nous allons décrire cette méthode générale que suivent les ingénieurs dans tout projet d'ingénierie.

## **4.2 VUE D'ENSEMBLE DE LA MÉTHODE GÉNÉRALE**

Tous les ingénieurs qui travaillent à des projets d'ingénierie emploient en gros une même méthode, qui régit toutes les parties des projets, depuis la naissance jusqu'au parachèvement. Cette méthode impose le passage systématique à travers un certain nombre de phases et d'étapes. Le caractère séquentiel de la démarche est fondamental. Comme le montre la figure 4.2, quatre phases distinctes sont à considérer, dont l'une se décompose en cinq étapes.

### **4.2.1 Phase 1: naissance du projet**

Au moment de la naissance du projet, l'ingénieur prend connaissance pour la première fois du besoin (ou des besoins) de son client. À la phase initiale du projet, ce besoin est souvent exprimé de façon très vague. C'est pourquoi la première tâche de l'ingénieur consiste à bien l'identifier et à l'exprimer de façon claire, simple et précise sous la forme d'un ou de plusieurs problèmes d'ingénierie.

### **4.2.2 Phase 2: design du projet**

La seconde phase de la conception et de la réalisation des projets d'ingénierie concerne le design du projet concerné. C'est surtout cette phase qui fera l'objet de votre étude et de vos applications dans le cours 2.190. La phase design se décompose en cinq étapes que l'ingénieur doit franchir méthodiquement. Chacune des étapes se divise elle-même en plusieurs opérations.

#### ***4.2.2.1 Première étape: formulation du problème***

La première étape de la phase design est la formulation du problème. À cette étape, l'ingénieur analyse en détail le ou les besoins du client identifiés précédemment: il se fixe des objectifs, recueille des données et établit des restrictions susceptibles de conditionner la conception, la fabrication, l'usage et l'entretien du produit ou du système à réaliser. Il dresse une liste des critères d'évaluation qu'il entend retenir pour confronter les diverses solutions entre lesquelles il aura à choisir pour résoudre le problème. Il s'impose également une démarche systématique en assortissant d'une pondération et d'un barème les

critères listés précédemment; il utilisera cette pondération et ce barème lors de la prise de décision finale afin de porter sur l'ensemble le jugement le plus objectif possible.

#### ***4.2.2.2 Deuxième étape: recherche de solutions***

La deuxième étape de la phase 2 est la recherche de solutions. À l'aide de différentes techniques, qui font appel au raisonnement ou à l'imagination, l'ingénieur inventorie dans un premier temps toutes les idées susceptibles de l'aider à résoudre le problème. Dans un second temps, il procède à une classification de toutes ces idées et il en dégage les solutions qui lui paraissent viables.

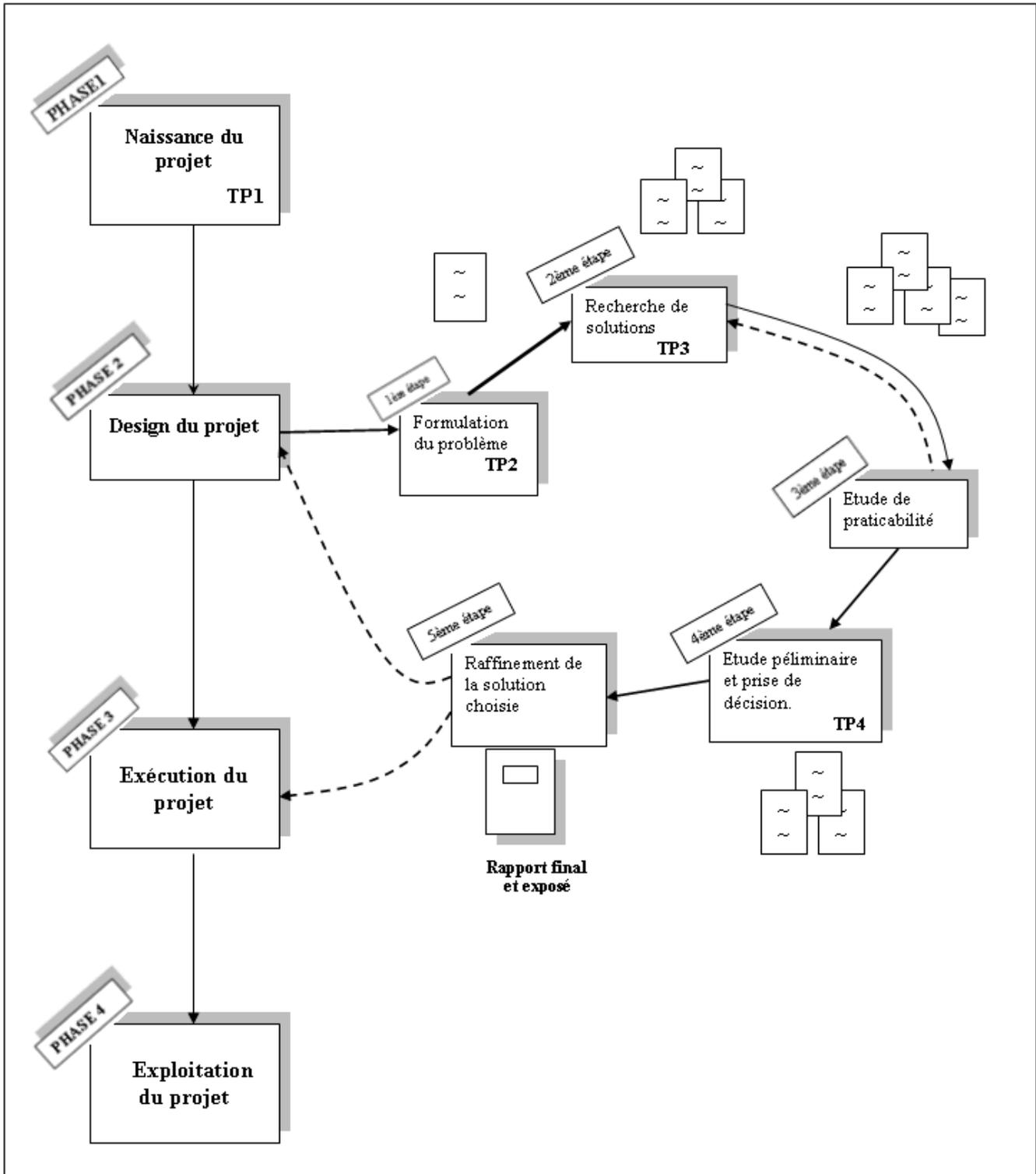


Figure 4.2 Méthode suivie dans la conception et la réalisation des projets d'ingénierie.

#### ***4.2.2.3 Troisième étape: étude de praticabilité***

L'étude de praticabilité est la troisième étape de la phase de design du projet. L'ingénieur fait alors une brève étude de chacune des solutions envisagées à l'étape précédente afin d'évaluer si l'une ou plusieurs d'entre elles sont praticables. Dans son étude de praticabilité, il évalue dans quelle mesure les diverses solutions retenues jusque là sont physiquement réalisables; il évalue aussi les dimensions coûts, temps et environnement liées à la réalisation éventuelle des mêmes solutions. L'étude de praticabilité est la seule façon d'obtenir des indications valables sur les chances de réussite ou, au contraire, sur les risques de faillite du projet, sans qu'on ait à élaborer plus à fond chacune des solutions.

#### ***4.2.2.4 Quatrième étape: étude préliminaire et prise de décision***

L'étape suivante de la phase 2 est consacrée à l'étude préliminaire et à la prise de décision. C'est à cette étape que l'ingénieur fait le choix de la solution à proposer au client. Pour y arriver, il reprend les critères, la pondération et le barème qu'il a déjà élaborés (étape 1, formulation du problème) ainsi que les informations issues de l'étude préliminaire de chaque solution réalisable. Il s'aide d'une matrice de décision. Une fois son choix arrêté, il présente la solution retenue dans un rapport écrit (ou oral, ou les deux) adressé au client.

#### ***4.2.2.5 Cinquième étape: raffinement de la solution***

Le raffinement de la solution est la dernière étape de la phase de design. Quand il en est à ce point, l'ingénieur analyse en détail chacune des composantes de la solution acceptée par le client. Il effectue tous les calculs nécessaires pour préparer les plans (dessins d'assemblage et de détails) et rédiger les devis. Si cela est nécessaire, il fabrique un prototype pour vérifier ses hypothèses et s'assurer du fonctionnement réel du produit ou du système proposé. De plus, en utilisant des méthodes puissantes d'optimisation, il lui est possible, au besoin, d'arriver à déterminer la solution optimale (la meilleure solution) pour le concept retenu par le client. Cette solution optimale fixera, par exemple, les dimensions géométriques de façon à maximiser les effets désirables et à minimiser les effets indésirables de l'option retenue. Toutes ces opérations visent à raffiner le design de la solution finale.

Logiquement, si toutes les étapes de la phase 2 ont été franchies, l'ingénieur devrait ensuite passer à la phase suivante: l'exécution (phase 3). Mais comme aucune méthode, aussi rigoureuse soit-elle, n'est parfaite, il arrive fréquemment que des calculs détaillés ou que le test d'un prototype amène l'ingénieur à reconsidérer la solution initialement retenue.

L'ingénieur doit alors revoir tout le travail fait lors de la phase design. En ce sens, cette phase constitue un processus itératif qui sera repris autant de fois que la solution ne sera pas entièrement satisfaisante pour les parties impliquées. Selon le cas, l'ingénieur peut avoir à reprendre son analyse du problème (étape 1), à chercher de nouvelles solutions (étape 2), à refaire des études de praticabilité (étape 3) et des études préliminaires (étape 4); il peut aussi devoir prendre une nouvelle décision (2<sup>e</sup> stade de l'étape 4) et tenter encore de la raffiner (étape 5).

### **4.2.3 Phase 3: exécution du projet**

À la phase design succède la phase exécution du projet. C'est le moment de procéder à la fabrication ou à la mise en chantier. Normalement, il n'est plus question de revenir sur ses pas, car on en est désormais à la production et à la commercialisation. À cette phase-ci du projet, tout retour en arrière entraînerait inévitablement des pertes financières importantes pour le client.

### **4.2.4 Phase 4: exploitation du projet**

La phase finale de la conception et de la réalisation d'un projet d'ingénierie est l'exploitation du projet. Cette phase relève habituellement de la responsabilité du client qui exploite la solution mise de l'avant par l'ingénieur concepteur. Les ingénieurs du client chargés de l'application du projet exploitent, gèrent, font l'entretien et le contrôle de qualité du produit ou du système réalisé, cela conformément aux indications de l'ingénieur concepteur. C'est aussi lors de l'exploitation que les ingénieurs du client ou l'ingénieur concepteur évaluent la performance réelle du produit ou du système conçu. C'est encore durant cette phase que naissent d'autres projets d'ingénierie à la suite de l'identification d'améliorations possibles ou à la suite de l'évaluation de la demande pour le produit ou le système. Et alors recommence le cycle des quatre phases qui fonde la méthode de conception et de réalisation des projets d'ingénierie...

## **4.3 PHASES ET ÉTAPES VUES DANS LE COURS 2.190**

Nous ne tenterons certainement pas de vous faire expérimenter dans le cadre du cours 2.190 toutes les phases de la démarche méthodique que nous venons de vous présenter. Ceci pour des raisons évidentes: vous avez peu de temps, il vous manque encore bien des connaissances scientifiques et votre programme d'études est ainsi conçu qu'il vous donnera de toute façon, dans des cours ultérieurs, l'occasion d'approfondir plusieurs des notions ou techniques sous-jacentes à la méthode proposée ici.

Nous avons donc choisi de centrer votre travail, dans ce cours, sur la partie design de la méthode (phase 2 d'un projet d'ingénierie). De plus, nous ne nous attarderons qu'aux quatre premières étapes de la phase design (voir fig. 4.3): la formulation du problème, la recherche de solutions, l'étude de praticabilité, l'étude préliminaire et la prise de décision. Nous laisserons de côté, pour le moment, la cinquième étape du processus de design, le raffinement de la solution.

On vous demande dans le cours 2.190 de travailler à la conception d'un mini-projet d'ingénierie que vous conduirez jusqu'au terme de la deuxième phase de la démarche que nous avons décrite dans ce chapitre. Vous pouvez voir dans les figures 4.2 et 4.3 qu'à chacune des phases et des étapes au programme du cours correspond un T.P. ou un rapport assorti d'un exposé. Ainsi, dans le T.P. 0, vous identifierez un problème; dans le T.P. 1, vous en ferez l'analyse détaillée afin d'en arriver à le formuler clairement et en termes de problèmes d'ingénierie. Dans le T.P. 2, vous allez inventorier des solutions. Le T.P. 3 vous amènera à réaliser une étude de praticabilité, et, avec le T.P. 4, vous ferez une étude préliminaire et prendrez une décision finale pour arriver à une solution adéquate. Enfin, vous devrez consigner toute cette démarche dans un rapport final et faire un bref exposé oral de votre travail à vos camarades.

Dans les chapitres qui suivent, nous allons détailler, à tour de rôle, les quatre étapes que nous avons retenues du processus de design d'un projet d'ingénierie (phase 2). À chaque étape, nous donnerons des indications et des exemples propres à vous aider à appliquer l'ensemble du processus à votre mini-projet d'ingénierie.

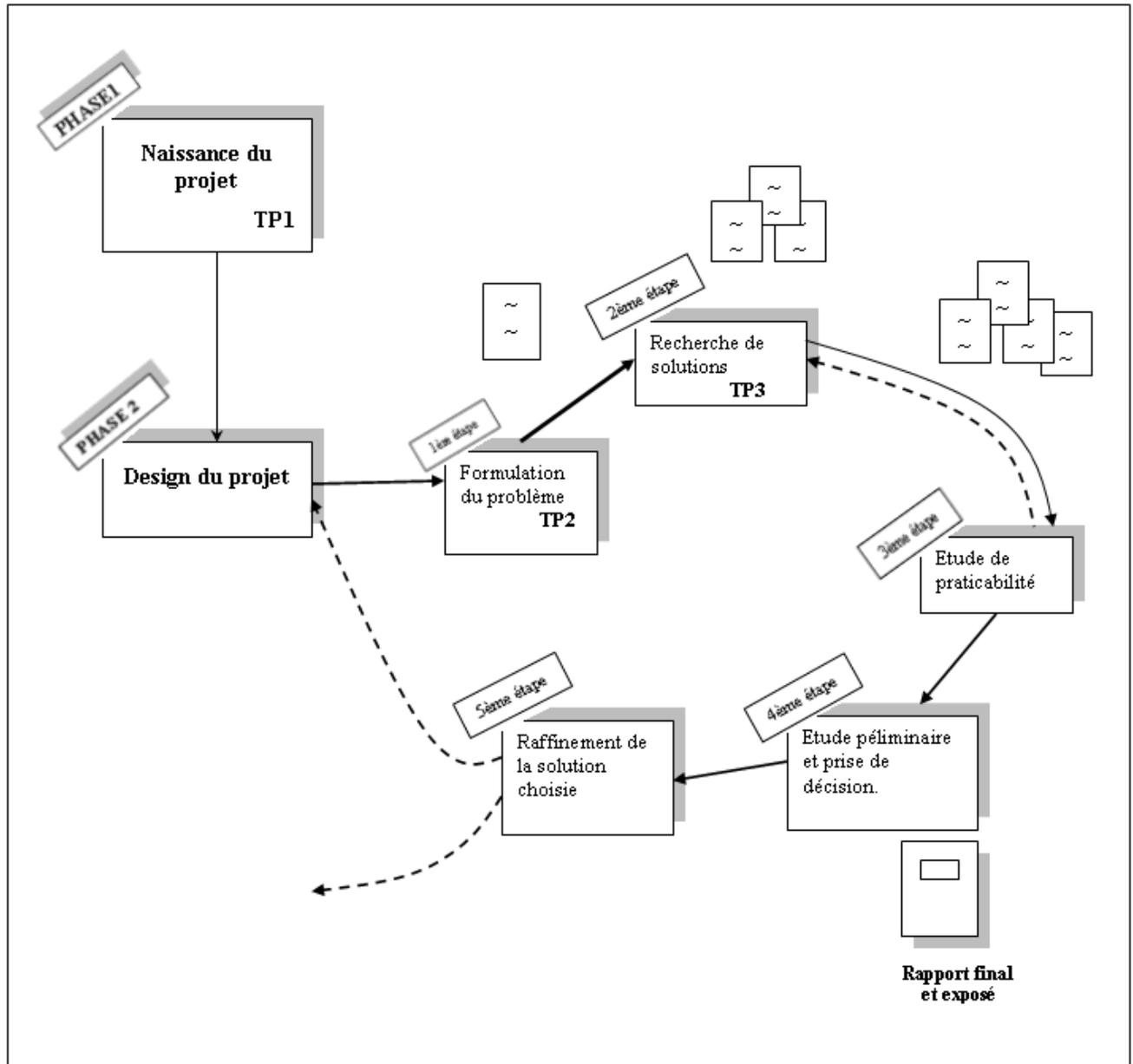


Figure 4.3 Phases et étapes vues dans le cours 2.190.

## CHAPITRE 5

### PREMIÈRE ÉTAPE: FORMULATION DU PROBLÈME

5.1 Processus de formulation d'un problème d'ingénierie

5.2 Première opération: analyser les besoins du client

5.2.1 Exemple 1: indicateur de niveau de creusage

5.2.2 Exemple 2: balais d'essuie-glace

5.3 Deuxième opération: résumer sous forme d'objectifs  
les besoins du client

5.3.1 Exemple 1: indicateur de niveau de creusage

5.3.1 Exemple 2: balais d'essuie-glace

5.4 Troisième opération: inventorier les données et les  
restrictions relatives au projet

5.4.1 Données

5.4.2 Exemples de données

5.4.3 Restrictions

5.4.4 Exemples de restrictions

5.5 Quatrième opération: déterminer et pondérer des  
critères d'évaluation

5.5.1 Détermination de critères

5.5.2 Pondération des critères

5.5.3 Détail des critères et de la pondération

5.6 Cinquième opération: élaborer un barème en vue de  
la prise de décision

Si l'on demande à un tireur de montrer sa compétence, il lui faut savoir clairement quelle cible viser. À plus forte raison, si l'on demande à un ingénieur de résoudre un problème complexe, il doit pouvoir identifier très précisément en quoi consiste le problème. L'ingénieur, pas plus que le tireur, n'a aucune chance d'atteindre correctement la cible (ou de résoudre le problème) si celle-ci n'est pas clairement identifiée.

Ce raisonnement est si simple qu'il paraît enfantin. Pourtant, dans le monde de l'ingénierie, bien des produits manufacturés se sont avérés défectueux et des centaines de milliers de dollars se sont perdus justement parce qu'une solution hâtive avait été avancée pour un problème encore mal défini. Pensons, par exemple, au tragique accident de la navette spatiale Challenger, en janvier 1986. Le problème mal évalué des joints toriques des fusées latérales a provoqué la perte de sept vies humaines et un désastre de plus de un milliard de dollars.

Un autre exemple, moins dramatique, est celui de «l'Oie blanche», l'hydravion géant du milliardaire américain Howard Hughes. Cet hydravion à 12 moteurs n'a pu s'élever que le temps de traverser la baie de San Francisco. Dans leurs calculs, les ingénieurs avaient mal formulé le problème de l'énergie nécessaire pour soulever de l'eau ce bateau volant. Cet hydravion géant n'a été qu'une fantaisie financière sans conséquence, mais un échec d'ingénierie tout de même.

Donc avant de penser à une solution, il faut avoir un problème! Et clairement formulé encore!

Comment l'ingénieur procède-t-il pour formuler clairement un problème complexe qui lui est soumis? C'est ce que nous verrons dans ce chapitre où nous expliquons par quelles opérations successives on arrive à formuler un problème d'ingénierie.

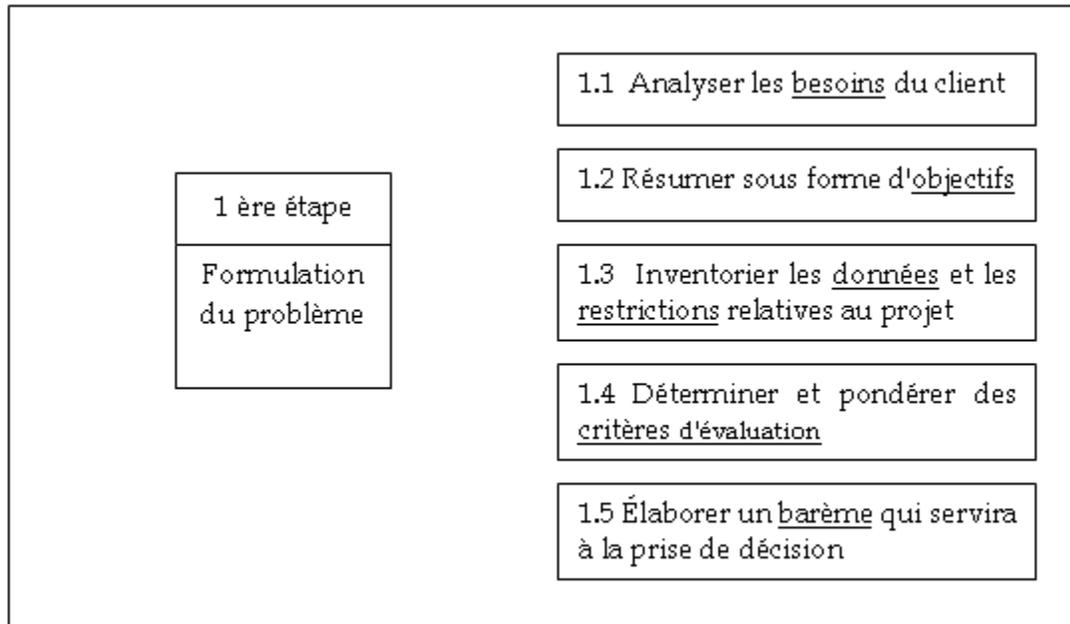
## **5.1 PROCESSUS DE FORMULATION D'UN PROBLÈME D'INGÉNIERIE**

Il est impossible de trouver une solution adéquate à un problème mal défini. C'est pourquoi l'ingénieur consacre généralement beaucoup de temps à l'étape de la formulation du problème.

Formuler adéquatement un problème, ce n'est pas facile. De plus, il n'existe pas de technique infaillible pour y parvenir. Toutefois, si l'on procède de façon systématique et rationnelle, il est possible de disséquer tous les aspects d'un problème donné, sans en oublier aucun.

Quel que soit le projet concerné, on peut affirmer que tous les ingénieurs s'y prennent de façon semblable pour formuler un problème d'ingénierie. Il procèdent systématiquement, en cinq opérations successives. La figure 5.1 présente ces cinq opérations générales. Elles vont vous aider vous aussi à formuler le problème de votre mini-projet d'ingénierie.

La première chose à faire dans le processus de formulation du problème est d'analyser les besoins du client (1.1 dans la figure); on résume ensuite les besoins sous forme d'objectifs (1.2). Puis on dresse l'inventaire des données et des restrictions relatives au projet (1.3); cela fait, on dégage des informations accumulées un certain nombre de critères d'évaluation que l'on pondère (1.4); enfin on élabore un barème associé aux critères (1.5); celui-ci servira lors de l'étape de la prise de décision.



**Figure 5.1** Cinq opérations successives pour formuler un problème d'ingénierie.

L'ordre séquentiel des cinq opérations de la figure 5.1 est un ordre logique et idéal. Toutefois, dans le travail quotidien de l'ingénieur, il arrive fréquemment que des opérations se chevauchent ou même qu'elles changent de position les unes par rapport aux autres. Cela dit, pour ce qui est de la formulation du problème de votre mini-projet d'ingénierie, nous vous recommandons de vous conformer à la séquence de la figure 5.1. Dans les sections qui suivent, nous allons expliquer chacune des opérations de cette séquence et en donner des exemples.

## 5.2 PREMIÈRE OPÉRATION: ANALYSER LES BESOINS DU CLIENT

À ce stade-ci de votre mini-projet, vous avez au moins identifié le ou les besoins de votre client (voir T.P. 0). Vous devez maintenant analyser ces besoins. Ce sera la première opération de la formulation de votre problème.

Pour arriver à analyser les besoins, il faut d'abord que vous ayez une conception juste de ce qu'est un besoin. Une équation simple nous permet de constater qu'on peut exprimer ce qu'il en est sous la forme d'une différence:

$$B = I - A$$

où B est le besoin, I la situation idéale recherchée et A la situation actuelle.

On peut effectivement dire que le besoin B que vous voulez combler est égal à la différence entre la situation idéale I et la situation actuelle A.

Par exemple, si votre problème d'ingénierie consiste à améliorer la ventilation des galeries d'une mine, vous pourrez exprimer le besoin B de votre client si, d'une part, vous parvenez à décrire tout ce qui laisse à désirer dans la situation actuelle A concernant la ventilation de la mine et si, d'autre part, vous entendez avec votre client sur les caractéristiques de la solution idéale I, c'est-à-dire de la solution que vous devrez proposer. Le besoin à combler est la différence entre la situation idéale souhaitée I et la situation actuelle A.

Prenons un autre exemple. Vous devez concevoir un nouveau produit: supposons qu'il s'agit d'un véhicule tout terrain amphibie, quatre saisons. Le besoin B face à ce nouveau produit sera, comme dans l'exemple précédent, déduit de la différence entre la situation idéale I et la situation actuelle A. Or, ici, la situation actuelle A est telle qu'il n'existe pas actuellement un tel véhicule sur le marché. Aucun des véhicules existants ne remplit les conditions satisfaisantes de I, la situation idéale. Il vous suffira donc de décrire tout ce que les usagers ne peuvent pas faire dans la situation actuelle A à cause de l'inexistence d'un tout terrain amphibie quatre saisons et tout ce qu'ils pourraient faire dans la situation idéale I. Le besoin B de ce projet est à nouveau exprimé par la différence  $B = I - A$ .

Donc, pour effectuer l'analyse des besoins de votre client et identifier B, vous devez d'abord déterminer la «valeur» de A, soit la situation actuelle de votre client.

Nous vous proposons avec le tableau 5.1 une technique simple pour déterminer la valeur de A et conséquemment de B. Cette technique consiste à énumérer et à catégoriser (dans le tableau) les défauts ou les lacunes que vous et votre client observez dans la situation actuelle en ce qui concerne le produit en cause.

Ces défauts ou ces lacunes peuvent avoir la forme de carences, d'insatisfactions, de difficultés, de problèmes, d'inconforts, etc. Bref, ils constituent les aspects négatifs de la situation actuelle, qui font que cette situation laisse à désirer, justement.

Le tableau 5.1 sert à décrire la valeur de A, la situation actuelle qu'il faut améliorer.

Il y a deux façons de remplir le tableau 5.1, et elles sont équivalentes. Ainsi vous pouvez commencer l'analyse des besoins de votre client en listant d'abord des catégories de défauts ou de lacunes observés dans la situation actuelle A; cela fait, vous définissez un à un les défauts ou les lacunes se rapportant à chaque catégorie. Mais vous pouvez tout aussi bien procéder en sens inverse: commencer par la liste pêle-mêle des défauts ou des lacunes, et terminer par le classement en catégories. À vous de décider laquelle des deux manières de faire convient le mieux au cas que vous avez à traiter.

**Tableau 5.1** Tableau des aspects négatifs de la situation actuelle A

CATÉGORIES DE DÉFAUTS OU DE LACUNES	DÉFAUTS OU LACUNES OBSERVÉS
1. _____ 2. _____ 3. _____ n. _____	

Pour vous aider à saisir ce que nous entendons par «catégories de défauts ou de lacunes», nous donnons dans le tableau 5.2 une liste d'aspects qu'il est d'usage de considérer quand on décrit un produit ou un système. Ces aspects peuvent constituer des catégories où vous pouvez tenter d'identifier des défauts ou des lacunes.

La liste du tableau 5.2 n'est nullement exhaustive. Il vous revient de réfléchir aux dimensions, aux paramètres, aux catégories de défauts ou de lacunes susceptibles d'avoir un lien avec les besoins de votre client.

Vous disposez de plusieurs sources d'information pour réaliser l'inventaire des défauts ou des lacunes d'un produit. Si vous travailliez à titre d'ingénieur pour une compagnie donnée, vos recherches de renseignements se feraient vraisemblablement auprès de services internes comme le service des ventes, le service à la clientèle ou encore le département de production. Dans le cas qui nous intéresse, c'est-à-dire celui de votre mini-projet d'ingénierie, les observations que vous-même pouvez faire sont certainement votre principale source d'information. Vous aurez peut-être avantage à entrer en contact avec des utilisateurs, à examiner des produits existants, à consulter des agences gouvernementales, à lire de la documentation, etc.

Pour résumer, vous parviendrez à déterminer B, le besoin de votre client, en déterminant premièrement la valeur de A, la situation actuelle, dans l'équation  $B = I - A$ . Plus tard, l'opération suivante de la formulation du problème vous fera formuler B. Encore plus tard, lorsque toutes les opérations de la formulation du problème seront terminées, et que vous en serez à l'étape 2 du processus de design d'un projet d'ingénierie (la recherche de solutions), vous serez appelé à formuler la valeur de I, la situation idéale recherchée. Mais, pour le moment, contentez-vous de déterminer la valeur de A, la situation présente. En considérant les différents aspects du produit, c'est-à-dire les catégories dont on a parlé, recensez en détail les défauts et les lacunes qui appartiennent à chacune de ces catégories. Pour vous aider, posez-vous la question suivante: qu'est-ce qui laisse à désirer dans telle catégorie?

**Tableau 5.2** Liste alphabétique d'aspects pouvant constituer des catégories de défauts ou de lacunes

- aération	- installation
- aérodynamisme	- localisation
- autonomie	- longévité
- compatibilité	- maniabilité
- confort	- niveau de bruit
- coût du produit	- précision
- encombrement	- rapidité
- entretien	- robustesse
- esthétique	- sécurité
- exécution des manoeuvres de commande ou de conduite	- simplicité
- fabrication	- taille
- facilité d'accès	- transport
- fiabilité	- visibilité
	- etc.

Les exemples qui suivent illustrent deux analyses de besoins. Ils pourront vous inspirer dans l'analyse de besoins que requiert votre propre mini-projet d'ingénierie.

### 5.2.1 Exemple 1: indicateur de niveau de creusage

#### CONTEXTE

- Le client ABC vous a demandé de mettre au point un indicateur de niveau de creusage pour ses opérateurs de pelles mécaniques.
- Vous avez consulté votre client; vous êtes allé sur ses chantiers pour y observer les travaux; vous avez interviewé des opérateurs de pelles mécaniques et des techniciens surveillants. Toutes ces démarches vous ont amené à conclure que les deux aspects (ou catégories) les plus faibles du système actuel sont:
  - 1° des pertes de temps que s'occasionnent mutuellement le technicien surveillant et l'opérateur de la pelle mécanique, à cause de la méthode actuelle de détermination du niveau de creusage;
  - 2° des coûts inutiles engendrés par ces pertes de temps.
- Pour chacun de ces deux aspects (pertes de temps et coûts inutiles), vous vous êtes posé les questions suivantes: qu'est-ce qui laisse à désirer dans la situation actuelle et qui occasionne des pertes de temps? Qu'est-ce qui laisse à désirer dans la situation actuelle et qui engendre des coûts inutiles?

Le tableau 5.3, qui suit, reprend la forme du tableau 5.1. On y donne, pour le cas dont il est question

ici, la liste des défauts ou lacunes que vous avez pu constater, et qui vous ont permis de mieux saisir ce qui ne va pas dans la situation actuelle. Les défauts ou les lacunes apparaissent dans la colonne de droite et la catégorie à laquelle ils appartiennent dans la colonne de gauche.

**Tableau 5.3** Exemple de tableau des défauts ou des lacunes classés par catégories, pour un problème concernant un indicateur de niveau de creusage

<b>Aspects négatifs de la situation actuelle du client ABC</b>	
CATÉGORIES	DÉFAUTS OU LACUNES OBSERVÉS
1. <u>Pertes de temps</u> pour l'opérateur de la pelle mécanique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avant de creuser, pendant que le technicien surveillant détermine la profondeur approximative de creusage, l'opérateur attend, improductif.</li> <li>- Après quelques coups de godets à tâtons, l'opérateur est à nouveau interrompu pour une première vérification de niveau par le technicien surveillant. Nouvelle perte de temps.</li> <li>- À chaque déplacement de la pelle mécanique, de nouvelles vérifications du niveau de creusage par le technicien surveillant interrompent l'opérateur de la pelle.</li> <li>- Un opérateur de pelle mécanique est ainsi stoppé une dizaine de fois par jour. Chaque arrêt dure une dizaine de minutes. Sur les huit heures ouvrables de la journée, le creusage peut donc être interrompu pendant près de deux heures.</li> <li>- Chaque fois que l'opérateur est arrêté, les camionneurs qu'il alimente sont eux aussi improductifs.</li> </ul>
2. <u>Pertes de temps</u> pour le technicien surveillant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- C'est avant l'intervention de l'opérateur et de sa pelle mécanique que le technicien surveillant le niveau de creusage est le plus actif. Son travail est d'ailleurs préalable à celui de l'opérateur de pelle. Ce travail se fait sur plans d'abord sur le chantier ensuite où le technicien surveillant procède au piquetage de l'excavation à effectuer. C'est lui qui détermine la profondeur du creusage.</li> <li>- Lorsque l'opérateur de la pelle mécanique creuse, le technicien surveillant est inactif.</li> <li>- Au début du creusage, l'opérateur de la pelle mécanique</li> </ul>

	<p>ne peut déterminer avec précision s'il a atteint le niveau souhaité. Pour cette raison, le technicien surveillant doit rester à proximité et effectuer plusieurs vérifications jusqu'à ce que l'opérateur atteigne un nouveau repère.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'opérateur doit régulièrement déplacer sa pelle mécanique sur un terrain accidenté; ceci oblige chaque fois le technicien surveillant à vérifier le niveau de creusage.</li> <li>- Toute cette situation oblige le technicien surveillant à faire une dizaine de vérifications du niveau de creusage par jour.</li> <li>- Chaque vérification du niveau de creusage prend environ dix minutes. Donc, pour un technicien surveillant qui attend que progresse le travail de l'opérateur de la pelle mécanique, cela représente, quotidiennement, environ deux heures de temps productif sur une possibilité de huit.</li> </ul>
<p>3. <u>Coûts inutiles</u> engendrés par les pertes de temps.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selon l'estimé des pertes de temps, l'opérateur, avec la méthode actuelle de détermination de niveau de creusage, n'est efficace qu'à 80 % de sa journée.</li> <li>- Le technicien surveillant n'est efficace sur le chantier qu'à 20% de son temps.</li> <li>- Les arrêts de creusage, nécessaires à la vérification des niveaux de creusage, occasionnent aussi des coûts inutiles à cause des camionneurs qui restent en attente.</li> </ul>

### 5.2.2 Exemple 2: balais d'essuie-glace

#### CONTEXTE

- Le président de l'entreprise d'accessoires d'automobiles pour laquelle vous travaillez vous a demandé d'améliorer le système d'essuie-glace pour le modèle d'auto XYZ.
- Une consultation auprès du service à la clientèle vous a permis de recueillir des informations détaillées sur la nature des plaintes des clients à ce propos. Qui plus est, vous possédez vous-même une auto du modèle XYZ dont il faut améliorer les essuie-glace. Vos expériences personnelles concordent avec les statistiques de la compagnie. Les essuie-glace sont défectueux.
- Après avoir analysé les informations recueillies, vous avez conclu que les aspects (ou catégories) les plus faibles de la situation actuelle concernant le système d'essuie-glace du modèle XYZ sont:

- 1° la lenteur et la faible efficacité du nettoyage effectué par les essuie-glace, ce qui donne au conducteur une mauvaise visibilité;
- 2° le mauvais rendement du gicleur de liquide nettoyant;
- 3° l'usure prématurée des lames d'essuie-glace.

On donne dans le tableau 5.4, pour le cas dont il est question ici, la liste des défauts ou des lacunes que vous avez constatés et qui décrivent ce qui ne va pas dans la situation actuelle. Les défauts ou les lacunes apparaissent dans la colonne de droite et la catégorie à laquelle ils appartiennent dans la colonne de gauche.

**Tableau 5.4** Exemple de tableau des défauts ou des lacunes classés par catégories, pour un problème concernant des balais d'essuie-glace

Aspects négatifs de la situation actuelle A  
concernant les balais d'essuie-glace du modèle d'auto XYZ du client ABC

<p>1. <u>Lenteur et faible efficacité</u> du nettoyage</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quand on actionne les essuie-glace, il faut au moins 6 ou 7 cycles de balayage pour obtenir une vitre propre. Donc tout près de 8 à 10 secondes. En situation de conduite normale et, à plus forte raison, en situation de conduite d'urgence, ce temps de réaction est trop long.</li> <li>- Même après 6 ou 7 cycles, il subsiste des taches tenaces que les balais d'essuie-glace, même avec beaucoup de liquide nettoyant, n'ont pas enlevées. De plus, le passage répété des essuie-glace sur ces taches laisse souvent des traînées de saleté.</li> <li>- Une fois nettoyé par les essuie-glace, le pare-brise n'est vraiment propre qu'au centre de la surface couverte par les balais. La surface nettoyée par l'extrémité des balais porte une mince pellicule de saleté.</li> </ul>
<p>2. <u>Mauvais rendement du gicleur</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- À chaque balai correspond un jet unique de liquide nettoyant: ce jet n'est pas diffusé uniformément sur toute la surface à nettoyer.</li> <li>- Lorsqu'on actionne le gicleur, une bonne quantité de liquide est projetée au-delà du pare-brise et se dépose sur le toit et sur la vitre arrière.</li> <li>- Lorsque l'automobile se déplace à bonne vitesse, le jet de liquide est plus ou moins dévié sur le pare-brise, selon le vent et la vitesse de l'auto.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En hiver, il arrive souvent que le gicleur, situé sur le capot, soit obstrué par de la neige ou de la glace.</li> </ul>
3. <u>Usure prématurée des lames d'essuie-glace</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lorsqu'ils sont neufs, les balais d'essuie-glace d'essuie-glace adhèrent à toute la surface du pare-brise. Après 6 ou 7 mois, les extrémités ne collent plus à la surface vitrée.</li> <li>- Les essuie-glace d'été sont tout à fait inefficaces durant l'hiver. Ils deviennent raides et des accumulations de glace se forme sous chacune des lames.</li> </ul>

### 5.3 DEUXIÈME OPÉRATION: RÉSUMER SOUS FORME D'OBJECTIFS LES BESOINS DU CLIENT

Initialement, le problème de votre mini-projet était probablement formulé en des termes généraux, sinon vagues, et donnant lieu à plusieurs interprétations (voir T.P. 0). L'analyse de la situation actuelle A vous a permis une meilleure saisie du problème. Vous avez alors identifié plusieurs carences que vous avez catégorisées. Cette liste de carences met en évidence des éléments décevants, des éléments qui mécontentent le client en regard d'un résultat escompté.

La seconde opération que nous vous proposons maintenant consiste à résumer, sous forme d'objectifs, le besoin (ou les besoins) B que vous voulez combler dans votre mini-projet d'ingénierie. Les énoncés de ces objectifs sont fondés sur les observations que vous avez faites de la situation actuelle. Ils ne pourraient être formulés sans que vous ayez complété cette première opération. Les objectifs traduisent votre perception du travail à accomplir pour répondre au besoin du client. Ils expriment les résultats que vous souhaitez atteindre pour satisfaire votre client. Mais rien ne peut vous permettre d'affirmer, à ce stade-ci, que vous pourrez atteindre intégralement tous les objectifs. Vous allez cependant tout faire pour y arriver.

Revenons à l'équation  $B = I - A$ : ce que l'on vous demande de formuler, maintenant, c'est le besoin B, une fois la «valeur» de A connue. Ce besoin B prendra la forme d'objectifs: les objectifs de votre mini-projet d'ingénierie. Voici quelques indications pour vous aider à les formuler:

- Ne perdez pas de vue que ces objectifs traduisent les besoins de votre client; en en prenant connaissance, votre client devrait reconnaître précisément ce qu'il recherche, mais qu'il n'a peut-être pu formuler avec clarté.
- Ayez en tête une phrase de démarrage du type:
  - «Notre mini-projet consiste donc à ...»
  - «Pour satisfaire notre client, nous allons donc réaliser un projet qui devra ...»
  - «Pour résoudre votre problème, nous allons ...»
- Pour énoncer les objectifs de votre projet ou votre perception du travail à accomplir, utilisez des

verbes décrivant une action. Le tableau 5.5 donne une liste de certains verbes de ce type. Évidemment, notre liste n'est pas exhaustive et ne vous est fournie qu'à titre indicatif.

**Tableau 5.5** Liste alphabétique de verbes d'action utiles pour formuler des objectifs de projets d'ingénierie

accommoder	éliminer	réduire	supporter
adapter	fabriquer	rendre accessible	supprimer
alléger	faciliter	rendre compatible	etc.
améliorer	installer	renforcer	
augmenter	maintenir	rentabiliser	
automatiser	minimiser	réviser	
concevoir	prévenir	simplifier	
contrôler	produire	stabiliser	

### 5.3.1 Exemple 1: indicateur de niveau de creusage

Nous reprenons ici le premier des deux exemples cités plus haut: l'indicateur de niveau de creusage. Dans le modèle qui suit, nous présentons les objectifs résumant les besoins B du client pour ce projet. Bien entendu, d'autres modèles et d'autres formulations sont possibles.

#### OBJECTIFS

Pour résoudre le problème, notre mini-projet d'ingénierie devra présenter une solution permettant:

- 1- d'éliminer les pertes de temps de l'opérateur de pelle mécanique, en lui donnant la possibilité de maintenir lui-même un niveau de creusage parfait, une fois le niveau recherché atteint et confirmé par le technicien surveillant;
- 2- de se dispenser de la présence continue du technicien surveillant pour des vérifications de niveau de creusage;
- 3- d'augmenter la productivité de creusage de l'opérateur de la pelle mécanique;
- 4- d'augmenter la productivité du technicien surveillant en permettant qu'il soit affecté à d'autres tâches pendant un creusage;
- 5- de réduire les pertes de temps des camionneurs.

### 5.3.2 Exemple 2: balais d'essuie-glace

Pour le second des deux exemples vus plus haut, les balais d'essuie-glace, les objectifs résumant les besoins B du client pourraient être formulés et présentés comme dans le modèle qui suit. Encore là, d'autres modèles et d'autres formulations sont possibles.

#### OBJECTIFS

Pour satisfaire notre clientèle, nous allons produire une solution qui permettra:

- 1- d'accroître la vitesse de nettoyage des balais d'essuie-glace;
- 2- de nettoyer uniformément toute la surface couverte par les lames d'essuie-glace;
- 3- de mieux diffuser le jet du gicleur sur toute la surface vitrée, aussi bien pour un véhicule en mouvement que pour un véhicule arrêté;
- 4- d'augmenter la durée de vie des lames d'essuie-glace.

### 5.4 TROISIÈME OPÉRATION: INVENTORIER LES DONNÉES ET LES RESTRICTIONS RELATIVES AU PROJET

Les deux premières opérations de la formulation du problème de votre mini-projet vous ont permis d'analyser la situation actuelle de votre client et de résumer sous forme d'objectifs votre perception du travail à accomplir ou, si vous préférez, votre perception des besoins du client.

La troisième opération consiste à inventorier les données et les restrictions susceptibles d'influencer, entre autres, le choix, le design, la fabrication ou l'entretien du produit ou du système auquel vous aboutirez dans le cadre de votre projet d'ingénierie.

#### 5.4.1 Données

Idéalement, les données et les restrictions d'un problème devraient constituer deux listes distinctes. Mais l'expérience a montré qu'il est souvent difficile de les séparer au moment de les formuler. Nous vous recommandons quand même de dresser deux listes, une pour les données et une pour les restrictions. Les explications qui suivent devraient vous aider à saisir ce que sont des données et des restrictions dans le contexte d'un projet d'ingénierie.

Les données d'un projet d'ingénierie correspondent à ce que l'on appelle en anglais des «specification requirements». Les données sont des renseignements accessibles, connus et admis. Elles proviennent habituellement de l'analyse des besoins menée auprès du client, de la consultation de divers services ou d'agences gouvernementales, de l'interview d'utilisateurs, de l'examen de produits concurrents ou encore d'une étude de documentation en bibliothèque, etc.

Pour un ingénieur, ces données sont souvent chiffrées. Elles peuvent concerner la taille d'un produit, des températures, des caractéristiques de matériaux, des vitesses, des rayons d'action, des pressions, la pente d'un terrain, etc.

Elles peuvent aussi être d'une autre nature, par exemple concerner la présence d'un opérateur, des conditions climatiques, la sécurité, l'entretien, etc.

Dans le tableau 5.6, on donne une liste de grandeurs fréquemment utilisées dans la formulation des données chiffrées de problèmes d'ingénierie comme ceux que vous avez à traiter dans votre mini-projet. Les grandeurs sont classées par domaines d'utilisation et, à l'intérieur de chaque domaine, par ordre alphabétique.

**Tableau 5.6** Liste de grandeurs fréquemment utilisées dans les données chiffrées d'un Problème d'ingénierie

Domaine	Grandeur	Nom de l'unité	Symbole
Acoustique	niveau de pression acoustique, niveau de puissance acoustique .....	décibel .....	dB
Chaleur	quantité de chaleur .....	joule .....	J
	température thermody- namique .....	kelvin .....	K
Chimie physique et physique moléculaire	quantité de matière .....	mole .....	mol
Électricité	courant électrique (intensité) .....	ampère .....	A
	potentiel électrique .....	volt .....	V
	puissance active .....	watt .....	W
Espace et temps	accélération .....	mètre par seconde carrée	$m/s^2$
	accélération angulaire .....	radian par seconde carrée .....	$rad/s^2$
	aire .....	mètre carré .....	$m^2$
	longueur .....	mètre .....	m
	temps .....	seconde .....	s
	vitesse .....	mètre par seconde .....	m/s
	vitesse angulaire .....	radian par seconde .....	$rad/s$
	volume .....	mètre cube .....	$m^3$
Lumière	intensité lumineuse .....	candela .....	cd
Mécanique	contrainte .....	pascal .....	Pa ou $N/m^2$
	couple (de forces) .....	newton-mètre .....	$N\cdot m$
	densité (masse volumique) .....	kilogramme par mètre cube .....	$kg/m^3$
		énergie .....	joule .....
	force newton .....	$N$ ou $kg\cdot m/s^2$	
	masse .....	kilogramme .....	kg
	moment d'une force .....	newton-mètre .....	$N\cdot m$
	pression .....	pascal .....	Pa
	puissance .....	watt .....	W
	travail .....	joule .....	J ou $N\cdot m$
Phénomènes périodiques	fréquence .....	hertz .....	$Hz$ ou $s^{-1}$

## 5.4.2 Exemples de données

Voici des exemples de données pour deux projets d'ingénierie; le premier vise la conception d'une machine à laver, le second concerne la ventilation des galeries souterraines d'une mine.

### Exemple 1: machine à laver

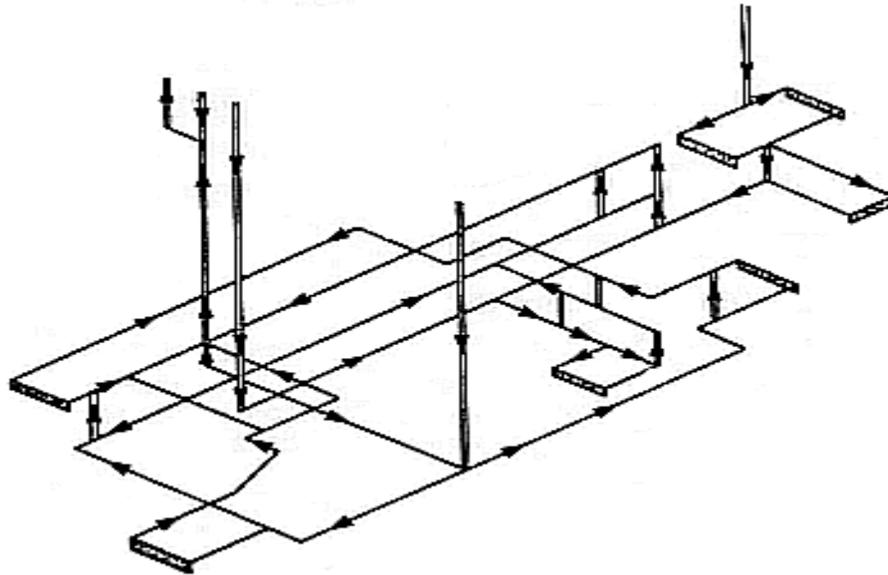
#### DONNÉES

- Une machine à laver enlève efficacement la saleté.
- L'utilisateur qui la fait fonctionner peut être d'une habileté moyenne (d'où la nécessité de ne pas concevoir une machine trop complexe).
- L'utilisateur peut utiliser du détergent en poudre ou du détergent liquide.
- La machine peut recevoir environ 4 kg de linge sec.
- La machine à laver est munie d'un sélecteur de programmes de lavage:
  - remplissage (niveaux d'eau variables dans la cuve),
  - lavage,
  - rinçage,
  - essorage et vidange.
- Les durées typiques de lavage sont:
  - tissus ordinaires: 8-10 minutes,
  - tissus sans repassage: 5-8 minutes,
  - tissus délicats: 3-5 minutes.
- À chacun de ces types de tissus correspond un programme de lavage.
- Une machine à laver est alimentée par une eau dont la pression varie généralement de 140 à 600 kPa (gamme des pressions habituelle des réseaux municipaux).
- L'utilisateur peut laver à l'eau froide ou à l'eau chaude à des températures allant de 5 à 70°C.

### Exemple 2: ventilation de galeries de mines souterraines

#### DONNÉES

- Le réseau de ventilation d'une mine souterraine est composé d'un ensemble tridimensionnel de tunnels (galeries) interconnectés (voir fig. 5.2).



**Figure 5.2** Réseau typique de ventilation d'une mine souterraine: un ensemble tridimensionnel de galeries interconnectées.

- L'agencement et les dimensions des galeries sont variables et dépendent soit du type de gisement, soit de la grandeur de la machinerie qui y circule.
- Les quantités d'air qui circulent ont pour but d'assurer la dilution des polluants en présence (gaz, poussières) de façon à en maintenir la concentration en deçà des normes imposées par le législateur.
- La circulation de l'air est assurée par des ventilateurs qui agissent comme des pompes et qui sont le plus souvent installés à la surface.
- Pour acheminer les débits d'air voulus aux lieux de travail, l'ingénieur en ventilation doit équilibrer son réseau en ajoutant, dans certaines galeries, des pertes de charges artificielles; pour cela, il recourt à des portes ou à d'autres moyens lui permettant d'atteindre les objectifs imposés.
- Étant donné les changements thermodynamiques que subit l'air, les écoulements peuvent être influencés par les variations de pression atmosphérique ou les changements de température.
- Pour fins de calculs, l'air circulant dans le circuit est généralement considéré comme un fluide visqueux incompressible.
- Les pertes de charges dues à la friction dans un tronçon de galerie dépendent à la fois de la section droite moyenne de ce dernier et de la rugosité des parois.

### 5.4.3 Restrictions

Les restrictions sont aussi des données du problème. Mais ce sont des données contraignantes, des limites imposées au problème à résoudre. Ainsi, les services publics imposent des normes que les ingénieurs doivent respecter: les voltages disponibles ou la pression de l'eau, par exemple. La concurrence oblige à ne pas dépasser certains prix ou encore à doter un nouveau produit d'une caractéristique en vogue. Les lois de la physique, le climat, la disponibilité de certains matériaux ou équipements, les possibilités de financement, les délais de production sont autant de sources possibles de restrictions.

Pour vous aider à déterminer les restrictions concernant votre problème, sachez que l'on peut classer les restrictions selon trois sources:

- les restrictions qui émanent de groupes qui font autorité,
- les restrictions imposées par le client,
- les restrictions fixées par l'ingénieur lorsqu'il n'existe pas de normes en provenance de groupes d'autorité ou en provenance du client.

Les groupes d'autorité sont souvent des gouvernements ou des associations professionnelles qui imposent des normes destinées à protéger le public. Au Canada, le Conseil canadien des normes (CCN) joue ce rôle très activement.

Le Conseil canadien des normes (CCN) est une société de la Couronne créée en 1970 par une loi du Parlement. Son objectif, qui est de favoriser et de promouvoir la normalisation volontaire au Canada, est considéré comme un moyen de faire progresser l'économie nationale, d'améliorer la santé, la sécurité et le bien-être du public, d'aider et de protéger les consommateurs, de faciliter le commerce national et international, et enfin de promouvoir la coopération internationale dans le domaine des normes.

Le Conseil canadien des normes remplit ses tâches par l'entremise des organismes suivants:

ISO	Organisation internationale de normalisation,
CEI	Commission électrotechnique internationale,
BNQ	Bureau de normalisation du Québec,
ACG	Association canadienne du gaz,
ONGC	Office des normes générales du Canada,
ACNOR	Association canadienne de normalisation,
ULC	Laboratoires des assureurs du Canada.

D'autres associations professionnelles canadiennes spécialisées édictent aussi des normes, chacune dans leur domaine de compétence:

SCG	Société canadienne de géotechnique,
SCGC	Société canadienne de génie civil,
SCGE	Société canadienne de génie électrique,
SCGM	Société canadienne de génie mécanique,
SCGCh	Société canadienne de génie chimique,
Etc.	

D'autres associations professionnelles, américaines celles-là, formulent aussi des restrictions dont leurs membres doivent tenir compte dans leurs activités et leurs réalisations. Vous pouvez vous informer sur la question en consultant la documentation que ces groupes publient régulièrement. Nous ne citons ici que quelques noms.

ACS	American Computing Society,
AIAA	American Institute of Aeronautics and Astronautics,
ACI	American Concrete Institute,
AIME	American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers,
AIP	American Institute of Physics,
AMS	American Mathematical Society,
ASM	American Society for Metals,
ASQC	American Society for Quality Control,
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,
ASLE	American Society of Lubrication Engineers,
ASME	American Society of Mechanical Engineers,
ASSE	American Society of Safety Engineers,
ASTM	American Society for Testing and Materials,
AWWA	American Water Works Association, Inc.,
IES	Illuminating Engineers Society,
IEEE	Institute of Electrical & Electronics Engineers,
IEE	Institute of Environmental Engineers,
ITE	Institute of Traffic Engineers,
NACE	National Association of Corrosion Engineers,
NAPE	National Association of Power Engineers,
NICE	National Institute of Ceramic Engineers,
SAE	Society of Automotive Engineers,
SME	Society of Manufacturing Engineers,
SPE	Society of Plastics Engineers,
Etc.	

Comme nous l'avons déjà mentionné, le client lui-même peut aussi imposer des restrictions à l'ingénieur. Selon le cas, ces restrictions peuvent concerner la nature de la matière première, le procédé de fabrication, la politique d'achat, l'utilisation de pièces existantes ou de pièces de rechange, etc. Ces restrictions varient tellement d'un projet à l'autre, d'un client à un autre, qu'il nous est impossible d'en faire une liste généralisable à l'ensemble de vos mini-projets d'ingénierie.

Il se peut que, pour certains projets, aucun palier de gouvernement ou groupe professionnel n'ait encore proposé de normes. Il se peut aussi que le client ne puisse formuler pour l'ingénieur des restrictions chiffrées susceptibles d'influencer le design de la solution finale. Ce sera alors l'ingénieur lui-même qui proposera ces restrictions. De telles situations se présentent, par exemple, dans le cas de projets d'ingénierie uniques, soit par leur taille, leur conception innovatrice, soit encore à cause de conditions externes exceptionnelles. La tour du CN à Toronto en est une bonne illustration.

Prenons la question de la résistance au vent de cette construction. Aucun code, aucun organisme professionnel, aucun client ne pouvait établir de façon certaine quelle devait être, pour une tour aussi

haute (553 m), la résistance au vent. Les ingénieurs ont dû fixer eux-mêmes le degré de résistance: ils déterminèrent que la tour devait tolérer des vents atteignant 210 km/h.

Pour conclure sur ce point, rappelons qu'il ne suffit pas d'établir soigneusement les données de votre problème; il faut encore chercher s'il n'existe pas chez votre client ou dans les organismes professionnels ou gouvernementaux des normes que votre solution finale devra obligatoirement respecter. Ces normes constitueront vos restrictions.

#### **5.4.4 Exemples de restrictions**

Voici des exemples de restrictions s'appliquant aux deux projets d'ingénierie déjà cités au paragraphe 5.4.2.

##### Exemple 1: machine à laver

###### RESTRICTIONS

- Les dimensions maximales de l'appareil ne doivent pas dépasser 80 cm de largeur x 80 cm de profondeur x 100 cm de hauteur.
- L'apparence de l'appareil doit permettre de l'intégrer aux autres éléments du mobilier électroménager.
- L'appareil doit fonctionner avec un courant alternatif de 115 volts à 60 hertz.
- L'appareil doit être approuvé par l'Association canadienne de normalisation (ACNOR).
- Le coût de fabrication ne doit pas dépasser 150 \$.
- L'appareil doit être chargé par le haut.
- L'appareil doit pouvoir effectuer un minimum de 1500 lavages sans problèmes d'entretien.

##### Exemple 2: ventilation de galeries de mines souterraines

###### RESTRICTIONS

- Pour maintenir une bonne dilution des polluants, la vitesse de l'air dans les galeries doit toujours être telle que le nombre de Reynolds dépasse la valeur de 4000.
- En tous points du circuit, il faut que la concentration en polluants soit telle que la santé de l'individu y travaillant ne subisse pas de dommages.

- Le réseaux de ventilation doit respecter les règlements qui suivent.

\* Règlement relatif à la qualité du milieu de travail qui fixe des normes sur la température, les concentrations en poussières et en gaz pour les lieux de travail; voici un extrait de ce règlement:

Article 60 - Ventilateurs pour l'aéragé au fond:

1° Aucun ventilateur pour l'aéragé d'une mine, sauf les ventilateurs secondaires et les ventilateurs de renfort, ne peut être installé au fond sans l'autorisation de l'inspecteur en chef.

2° L'installation du ventilateur principal et des ventilateurs de renfort doit permettre le renversement de l'air du circuit principal, si nécessaire.

3° L'installation des ventilateurs doit être faite de façon à réduire au minimum le danger d'incendie.

\* Règlement sur la salubrité et la sécurité du travail dans les mines et carrières; voici un extrait de ce règlement:

Article 23 - Débit d'air dans les ouvrages souterrains:

Tout chantier de construction souterrain et toute mine souterraine doivent être alimentés en air frais à raison d'un débit minimal d'air équivalent à la plus grande des exigences suivantes:

a) 5,50 mètres cubes par minute d'air frais pour chaque travailleur sous terre; ou

b) 15 mètres cubes par minute pour chaque mètre carré de section dans le cas d'un tunnel; ou

c) dans le cas où l'on utilise de l'équipement mobile mû par moteur diesel, tout débit d'air prescrit pour les équipements énumérés aux «Schedule 24» et «Schedule 31» du United States Bureau of Mines ou 5,50 mètres cubes par minute par kilowatt à l'arbre, pour les équipements non énumérés dans lesdits documents.

Lorsqu'on utilise simultanément dans le même circuit d'aéragé plusieurs appareils mobiles mus par moteur diesel, la quantité totale d'air frais doit être de 100 % du débit donné par l'unité la plus exigeante du point de vue de la ventilation, de 75 % du débit donné pour la seconde unité et de 50 % du débit donné pour toute unité supplémentaire.

- Les ventilateurs doivent être installés de telle sorte que le sens de l'écoulement de l'air puisse être inversé dans les galeries en cas d'incendie.

- Durant les périodes de froid, l'air extérieur doit être chauffé à une température d'au moins 2 degrés Celsius dans le but d'éviter la formation de glace dans les galeries.

- L'agencement des écoulements d'air doit être fait de telle sorte qu'il ne se produit pas de recirculation d'air dans les galeries.

- Lors de la détermination de la direction des écoulements d'air, il faut s'arranger pour que la zone respiratoire de l'ouvrier soit toujours située entre l'arrivée d'air frais et la source de polluants.

## **5.5 QUATRIÈME OPÉRATION: DÉTERMINER ET PONDÉRER DES CRITÈRES D'ÉVALUATION**

Si vous avez bien suivi les opérations précédentes de la formulation du problème, vous avez désormais en main une analyse détaillée des besoins de votre client à partir de la description de la situation actuelle ainsi que quelques objectifs résumant les grands axes de ces besoins. Vous avez aussi glané toutes sortes de données et de restrictions susceptibles d'influencer le choix de votre solution finale.

Dans la quatrième opération de la formulation du problème, vous allez utiliser les renseignements obtenus jusqu'à maintenant et en dégager des critères d'évaluation. Ensuite vous allez fixer l'importance relative de ces critères en pondérant chacun d'entre eux.

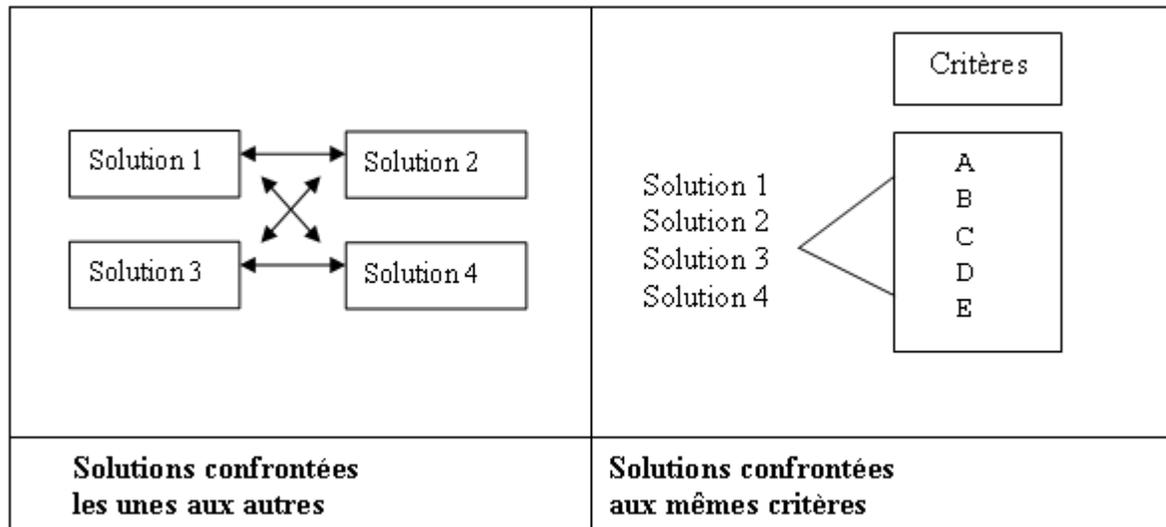
Un critère, c'est un caractère, un aspect ou un signe qui permet de porter un jugement appréciatif. C'est de votre analyse de besoins, de la formulation des objectifs ainsi que des données et des restrictions que vous allez dégager des critères d'évaluation; plus tard, lors de l'étape de la prise de décision, vous allez confronter à ces critères quelques solutions possibles pour en faire ressortir le meilleur concept.

### **5.5.1 Détermination de critères**

Pour arriver à déterminer des critères d'évaluation à ce stade-ci d'un projet d'ingénierie, l'ingénieur doit s'imposer une démarche rationnelle et objective. En effet, l'opération exige de lui que déjà il précise les qualités spécifiques objectives (les critères d'évaluation) que devra posséder sa solution finale. Cette démarche critériée réduit le risque que la solution finale soit le fruit d'une décision subjective fondée sur des préjugés favorables, des goûts personnels, des procédés dont on a l'habitude, etc.

Les critères d'évaluation que vous retiendrez vont vous permettre, comme l'illustre la figure 5.3, non pas de confronter les solutions les unes aux autres pour en dégager la meilleure, mais bien de confronter chaque solution à un certain nombre de critères objectifs pour en déduire la meilleure.

Dans la partie gauche de la figure 5.3, chaque solution est successivement confrontée à l'ensemble des autres solutions. Dans la partie droite de la figure, chaque solution est successivement confrontée à une même série de critères. C'est cette démarche que nous vous proposons.



**Figure 5.3** Deux méthodes d'estimation des solutions: les solutions confrontées les unes aux autres et les solutions confrontées aux mêmes critères d'évaluation.

Quels peuvent être les critères d'évaluation retenus par un ingénieur? Ils dépendent des catégories de défauts ou de lacunes rattachés à la situation actuelle, des objectifs que vous avez déduits des besoins du client, et enfin des données et des restrictions relatives à votre problème. Par exemple, si votre projet concernait la conception d'un casque de motocycliste, il se pourrait bien que, à la suite de l'analyse de la situation actuelle, de la formulation des objectifs et de l'inventaire des données et des restrictions, vos critères d'évaluation soient:

- la *sécurité*,
- le *confort* relié à la température,
- la *qualité acoustique*, pour la perception des bruits extérieurs,
- la *protection du visage*,
- la *légèreté* du casque,
- la *visibilité* permise par le casque,
- la *qualité esthétique* générale du casque,
- la *compatibilité* de production du casque avec les procédés manufacturiers actuels du client.

Toutefois, et c'est bien important de le comprendre, les critères d'évaluation de ce projet de casque pourraient être tout autres pour peu que les besoins du client soient différents. C'est à vous de dégager logiquement les critères d'évaluation de votre projet à partir des renseignements que vous avez accumulés jusqu'ici.

### 5.5.2 Pondération des critères

Une fois la liste des critères d'évaluation dressée, vous devez pondérer de façon à rendre compte de l'importance relative que vous accordez à chacun des critères. En effet, la pondération traduit en chiffres le fait que les critères n'ont pas tous la même importance et qu'ils obéissent à une certaine hiérarchie. Pour établir la pondération, vous pouvez travailler avec un système de poids relatif ou un

système de pourcentage. À chaque critère, demandez-vous: quelle est l'importance de ce critère par rapport aux autres? Est-il plus important? Moins important? Aussi important? Ensuite attribuez une pondération chiffrée, sous forme de poids relatif ou de pourcentage, de façon à traduire votre jugement. (Comme vous le verrez au chapitre 8, consacré à l'étude préliminaire et à la prise de décision, nous préconisons pour notre part l'emploi du pourcentage). Il se peut fort bien que, dans le processus de pondération, vous révisiez plusieurs fois votre estimation de l'un ou l'autre des critères avant d'arriver à une pondération définitive.

Reprenons l'exemple du casque de motocycliste. Dans ce projet, la pondération des critères d'évaluation pourrait bien ressembler au tableau 5.7, qui suit.

**Tableau 5.7** Exemple de pondération en poids relatif et en pourcentage, pour un projet de casque de motocycliste

Critères d'évaluation	Pondération	
	Poids relatif ou pourcentage	
- Sécurité	50	40 %
- Confort	10	8 %
- Qualité acoustique	10	8 %
- Protection du visage	15	12 %
- Légèreté	10	8 %
- Visibilité arrière	10	8 %
- Qualité esthétique	5	4 %
- Compatibilité	15	12 %
TOTAL	125	100%

Notez bien qu'une fois déterminée, la pondération ne doit plus changer. En effet, si vous preniez la liberté de la modifier dans les étapes ultérieures de votre travail sur le mini-projet, vous risqueriez d'enlever à votre système d'évaluation sa rigueur, son objectivité et sa cohérence. Les décisions que vous prenez en ce moment vont conditionner le choix de la solution définitive. La pondération doit faire l'objet d'une étude sérieuse, car elle est lourde de conséquences.

À un autre point de vue, notez qu'il ne faut pas chercher à énumérer le plus grand nombre de critères possible. Les critères les plus importants pour un ingénieur sont certainement ceux que l'on peut quantifier. Mieux vaut juger plusieurs solutions à partir de quelques critères quantifiables seulement plutôt que de fausser le jugement par une longue liste de critères dont certains sont peut-être plus ou moins utiles. La quantité de critères ne remplace pas la qualité, elle la dilue.

### 5.5.3 Détail des critères et de la pondération

Aucun des critères d'évaluation que nous avons présentés dans l'exemple du casque de motocycliste au tableau 5.7 n'est très explicite. En fait, chacun de ces critères pourrait se décomposer en plusieurs éléments. Ainsi, le critère sécurité, dans notre exemple, pourrait recouvrir la résistance à l'impact, la

résistance à la perforation, la solidité du système d'attache sous impact, etc. Il serait important que vous puissiez, lors de la formulation des critères d'évaluation, détailler chacun d'entre eux et répartir la pondération globale de chaque critère entre les éléments qui le composent.

Le tableau 5.8 présente des exemples de critères détaillés appliqués à un projet d'ingénierie concernant la conception d'une voiturette de golf. Dans cet exemple, la plupart des critères d'évaluation sont décomposés en un certain nombre d'éléments. À chacun de ces éléments est attribuée une partie de la pondération rattachée au critère. La somme de la pondération détaillée des éléments de chaque critère est égale au chiffre qui traduit la pondération du critère concerné. Notez que nous utilisons dans notre tableau une pondération en pourcentage.

**Tableau 5.8** Exemple de critères d'évaluation détaillés accompagnés de leur pondération respective, appliqués à un projet de voiturette de golf

Critères d'évaluation détaillés	Pondération en pourcentage	
	détaillée	générale
1. Rayon d'action estimé.....		30 %
2. Entretien et réparation.....		25 %
2.1 Fréquence des opérations d'entretien.....	10 %	
2.2 Facilité de réparation		
2.2.1 Nombre de pièces ou de modules sujets à réparation.....	10 %	
2.2.2 Accessibilité par le haut.....	5 %	
3. Préparation avant usage.....		15 %
3.1 Facilité de préparation du véhicule (alimentation en énergie).....	5 %	
3.2 Temps de préparation estimé.....	10 %	
4. Émission de bruits.....		5 %
5. Simplicité de conduite.....		20 %
5.1 Nombre de manettes, boutons, pédales.....	5 %	
5.2 Évidence des opérations.....	5 %	
5.3 Conduite des deux places (gauche-droite).....	5 %	
5.4 Conduite debout et assis.....	5 %	
6. Facilité à monter et à descendre du véhicule.....		5 %
TOTAL		100 %

## 5.6 CINQUIÈME OPÉRATION: ÉLABORER UN BARÈME EN VUE DE LA PRISE DE DÉCISION

Nous arrivons au terme de la première étape du processus de design d'un projet d'ingénierie, la formulation du problème. La dernière opération à effectuer pour en finir avec la formulation du problème consiste à élaborer un barème. Ce barème sera utilisé plus tard, à l'étape de la prise de décision, pour attribuer des «points» à chaque solution en regard de chaque critère d'évaluation.

Dans le cas spécifique d'un projet d'ingénierie, un barème est une échelle basée sur des repères quantitatifs ou qualitatifs mis en rapport avec une échelle de satisfaction pour aboutir à un résultat chiffré.

Voyons un exemple simple; reprenons, dans le tableau 5.9, l'exemple du casque de motocycliste; examinons seulement les trois éléments qui se rapportent au critère sécurité, soit la résistance à l'impact, la résistance à la perforation et la solidité du système d'attache sous impact.

**Tableau 5.9** Composantes du critère sécurité du projet de casque de motocycliste et leur pondération respective

Projet de casque de motocycliste		
Critère d'évaluation	Pondération en pourcentage	Barème
1. Sécurité		
1.1 résistance à l'impact	16 %	?
1.2 résistance à la perforation	12 %	?
1.3 solidité du système d'attache sous impact	12 %	?
TOTAL	40 %	

La question qui nous intéresse en ce moment est de savoir sur quoi nous allons nous fonder pour déterminer le nombre de points (en pourcentage) à accorder aux éléments résistance à l'impact, résistance à la perforation et solidité du système d'attache sous impact. C'est le barème qui va nous y aider. Comment faire pour déterminer le barème? Disons tout d'abord que vous n'allez pas élaborer un barème unique et universel, applicable à tous les critères de votre projet, mais plutôt plusieurs barèmes. À chaque critère, il vous faudra réfléchir au mode de répartition des points. Plusieurs types de repères qualitatifs ou quantitatifs sont envisageables.

Retournons au projet de casque de motocycliste. Voici un barème possible pour l'élément résistance à l'impact du critère sécurité:

- Si la résistance à l'impact est excellente, c'est-à-dire si le casque peut résister à un choc de 74 joules et plus ( $1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$ ), on attribue 100 points sur 100 (100 %).
- Si la résistance est très bonne, de 65 à 73 joules, on donne 80 %.
- Si elle est bonne seulement, de 49 à 64 joules, on donne 60 %.
- Si elle est faible, de 15 à 48 joules, on donne 40 %.
- Si elle est très faible, moins de 15 joules, on donne 0 %.

Avant de commenter cet exemple, rappelons ce que nous entendons par barème: une échelle basée sur des repères quantitatifs ou qualitatifs mis en rapport avec une échelle de satisfaction pour aboutir à un résultat chiffré. Dans l'exemple que nous venons de citer, les joules servent de repères quantitatifs; l'échelle de satisfaction est constituée des cinq niveaux «excellent», «très bon», «bon», «faible», «très faible», et le résultat chiffré correspondant est donné en pourcentage.

Le tableau 5.10 reprend ce barème. Il montre encore deux nouveaux barèmes pour des critères quantifiables: la résistance à la perforation est mesurée en kilopascals, la solidité du système d'attache sous impact est mesuré en joules.

Signalons que, dans le barème de la résistance à l'impact, le chiffre de 65 joules est tiré de la norme Snell 70, de la Snell Memorial Foundation. Le chiffre de 49 joules est tiré de la norme Z90 de l'American National Standard Institute Inc., tandis que le chiffre de 15 joules correspond à la résistance à l'impact du casque en acier de l'armée américaine.

**Tableau 5.10** Exemple de barèmes appliqués au critère sécurité d'un projet de casque de motocycliste

Critère	Pondé- ration	Barème		
		repère quantitatif ou qualitatif	échelle de satisfaction	résultat chiffré
1. Sécurité				
1.1 résistance à l'impact	16 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• si la résistance à l'impact est de 74 J et plus ⇒</li> <li>• si la résistance à l'impact est de 65 à 73 J ⇒</li> <li>• si la résistance à l'impact est de 49 à 64 J ⇒</li> <li>• si la résistance à l'impact est de 15 à 48 J ⇒</li> <li>• si la résistance à l'impact est de moins de 15 J ⇒</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>elle est <u>excellente</u>, donc on attribue ⇒</li> <li>elle est <u>très bonne</u>, donc on attribue ⇒</li> <li>elle est <u>bonne</u>, donc on attribue ⇒</li> <li>elle est <u>faible</u>, donc on attribue ⇒</li> <li>elle est <u>très faible</u>, donc on attribue ⇒</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>100 %</li> <li>80 %</li> <li>60 %</li> <li>40 %</li> <li>0 %</li> </ul>

**Tableau 5.10** (suite)

1.2 résistance à la perforation	12 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• si la résistance à la perforation est de 12,4 kPa ⇒</li> <li>• si la résistance à la perforation est de 11,0 à 12,3 kPa ⇒</li> <li>• si la résistance à la perforation est de 8,3 à 10,9 kPa ⇒</li> <li>• si la résistance à la perforation est de 2,5 à 8,2 kPa ⇒</li> <li>• si la résistance à la perforation est de moins de 2,5 kPa ⇒</li> </ul>	<p>elle est <u>excellente</u>, donc on attribue ⇒</p> <p>elle est <u>très bonne</u>, donc on attribue ⇒</p> <p>elle est <u>bonne</u>, donc on attribue ⇒</p> <p>elle est <u>faible</u>, donc on attribue ⇒</p> <p>elle est <u>très faible</u>, donc on attribue ⇒</p>	<p>100 %</p> <p>80 %</p> <p>60 %</p> <p>40 %</p> <p>0 %</p>
1.3 solidité du système d'attache sous impact	12 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• si le système d'attache résiste à un impact de 74 J et plus ⇒</li> <li>• si le système d'attache résiste à un impact de 65 à 73 J ⇒</li> <li>• si le système d'attache résiste à un impact de 49 à 64 J ⇒</li> <li>• si le système d'attache résiste à un impact de 15 à 48 J ⇒</li> <li>• si le système d'attache résiste à un impact de moins de 15 J ⇒</li> </ul>	<p>c'est <u>excellent</u>, donc on attribue ⇒</p> <p>c'est <u>très bon</u>, donc on attribue ⇒</p> <p>c'est <u>bon</u>, donc on attribue ⇒</p> <p>c'est <u>faible</u>, donc on attribue ⇒</p> <p>c'est <u>très faible</u>, donc on attribue ⇒</p>	<p>100 %</p> <p>80 %</p> <p>60 %</p> <p>40 %</p> <p>0 %</p>
TOTAL	40 %			

Comme nous l'avons déjà signalé, le repère de base d'un barème peut varier selon la nature du critère d'évaluation concerné: d'abord le repère pourra être quantitatif ou qualitatif, et, s'il est d'ordre quantitatif, la quantité de référence variera en fonction, encore une fois, de la nature du critère d'évaluation. Ainsi, pour un critère concernant la résistance à l'impact, on aura recours à un repère quantitatif, exprimé en joules; pour un critère concernant un coût, on aura aussi recours à un repère quantitatif, mais cette fois-ci exprimé en dollars, et ainsi de suite.

Certains critères d'évaluation sont difficilement quantifiables ou ne sont pas quantifiables du tout. C'est le cas de critères comme le confort, la qualité esthétique (l'apparence), entre autres. C'est pour ce type de critères qu'il faut utiliser des repères qualitatifs. Par exemple, le barème du critère qualité esthétique dans le projet de casque de motocycliste pourrait s'articuler sur les repères suivants: très beau, beau, banal, laid.

Vous sentez bien qu'il n'est pas facile de travailler avec ce genre de repères, qui sont souvent flous et qui, à cause de cela, prêtent à des interprétations subjectives. En fait, le barème à construire pour des critères d'évaluation non quantifiables devra se baser presque directement sur une échelle de satisfaction comme celle que nous avons utilisée dans le tableau 5.10. Il s'agira alors de choisir parmi les échelles possibles celle qui convient le mieux au critère concerné.

Le choix d'une échelle dépend du nombre de niveaux de discrimination dont vous estimez avoir besoin pour juger d'un critère non quantifiable. Voici deux modèles couramment utilisés:

1	pauvre	1	totalement insatisfaisant
2	passable	2	plutôt insatisfaisant
3	bon	3	plutôt satisfaisant
4	très bon	4	tout à fait satisfaisant
5	excellent		

Vous pouvez aussi vous inspirer du tableau 5.11 pour élaborer votre barème d'un critère non quantifiable. Mais vous n'êtes pas tenu de suivre ce modèle en tous points: ce n'est là qu'un guide. Ainsi, n'hésitez pas à fixer vous-même le pourcentage correspondant à chaque niveau de l'échelle, si vous estimez qu'une distribution différente est nécessaire. Au chapitre 8, nous reviendrons sur la façon d'associer des valeurs chiffrées à des repères qualitatifs.

**Tableau 5.11** Exemple-guide d'élaboration d'un barème pour des critères non quantifiables

Barème		
Critère d'évaluation	Échelle de satisfaction	Pourcentage traduisant votre jugement (résultat chiffré)
X	<ul style="list-style-type: none"><li>- très grande satisfaction</li><li>- grande satisfaction</li><li>- satisfaction moyenne</li><li>- satisfaction faible</li><li>- satisfaction très faible</li><li>- insatisfaction complète</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>100%</li><li>80%</li><li>60%</li><li>40%</li><li>20%</li><li>0%</li></ul>

Entre les critères quantifiables et les critères non quantifiables, il existe une catégorie intermédiaire pour laquelle on est forcé de recourir à des repères qualitatifs, lesquels repères sont toutefois dans ce cas presque aussi facilement évaluables que des quantités.

Nous illustrerons ceci à l'aide d'un exemple pris dans le tableau 5.12 que vous trouverez un peu plus loin. Ce tableau présente les critères d'évaluation, la pondération et le barème du projet de voiturette de golf déjà commenté à la section 5.5. L'un des critères retenus pour ce projet (voir 3.1 dans le tabl. 5.12) est la «facilité de préparation du véhicule (alimentation en énergie)». Si l'on ne peut quantifier le concept de «facilité», on peut en revanche identifier avec assez de précision les facteurs qui la déterminent, et utiliser ces facteurs comme repères.

Dans notre exemple, les facteurs à considérer sont les opérations qu'il faut effectuer sur la voiturette afin de l'alimenter en énergie. La préparation sera jugée facile (100 %) si l'utilisateur n'a qu'à faire le plein d'un carburant liquide; elle sera jugée moins facile (50 %) si l'utilisateur doit voir à remplacer la source d'énergie (changer les piles); la préparation sera carrément jugée difficile (0 %) si l'utilisateur doit voir à recharger, sur place, la source d'énergie.

Vous remarquerez qu'on n'a pas exprimé dans le tableau 5.12 les échelles de satisfaction qui mettent en rapport les repères avec les résultats chiffrés. Ainsi, pour le critère 3.1 que nous venons de commenter, les termes «facile», «moins facile», «difficile» n'apparaissent pas au tableau. La raison de cette omission est simple: elle permet de gagner de l'espace; c'est pourquoi elle est pratique courante dans les tableaux de ce type.

**Tableau 5.12** Exemple de critères, de pondération et de barèmes appliqués à un projet de voiturette de golf

PROJET DE VOITURETTE DE GOLF

Critère	Pondération en pourcentage		Barème	résultat chiffré
	détaillée	générale		
1. Rayon d'action estimé		30 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>· plus de 9 km</li> <li>· 8 à 9 km</li> <li>· 7 à 8 km</li> <li>· 6 à 7 km</li> <li>· moins de 6 km</li> </ul>	100 % 80 % 60 % 40 % 0 %
2. Entretien et réparation		25 %		
2.1 Fréquence des opérations d'entretien	10 %		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1 fois/mois (très peu)</li> <li>· 1 fois/2 semaines (peu)</li> <li>· 1 fois/semaine (assez)</li> </ul>	100 % 50 % 0 %
2.2 Facilité de réparation				
2.2.1 Nombre de pièces sujettes à réparation	10 %		<ul style="list-style-type: none"> <li>· de 0 à 10 pièces</li> <li>· de 11 à 20 pièces</li> <li>· 21 pièces et plus</li> </ul>	100 % 50 % 5 %
2.2.2 Accessibilité par par le haut	5 %		<ul style="list-style-type: none"> <li>· toutes pièces accessibles par le haut</li> <li>· sinon</li> </ul>	100 % 0 %

**Tableau 5.12 (suite)**

Critères	Pondération en pourcentage		Barème	
	détaillée	générale	repère quantitatif ou qualitatif	résultat chiffré
3. Préparation avant usage		15 %		
3.1 Facilité de préparation du véhicule (alimentation en énergie)	5 %		<ul style="list-style-type: none"> <li>· faire le plein de carburant liquide</li> <li>· remplacer la source d'énergie (changer piles)</li> <li>· recharger, sur place, la source d'énergie</li> </ul>	<p>100 %</p> <p>50 %</p> <p>0 %</p>
3.2 Temps de préparation estimé	10 %		<ul style="list-style-type: none"> <li>· moins de 15 minutes</li> <li>· de 15 à 45 minutes</li> <li>· de 46 à 90 minutes</li> <li>· plus de 90 minutes</li> </ul>	<p>100 %</p> <p>80 %</p> <p>50 %</p> <p>0 %</p>
4. Émission de bruits		5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>· moins de 40 dB</li> <li>· de 41 à 50 dB</li> <li>· de 51 à 60 dB</li> <li>· de 61 à 70 dB</li> <li>· plus de 70 dB</li> </ul>	<p>100 %</p> <p>80 %</p> <p>60 %</p> <p>30 %</p> <p>0 %</p>

**Tableau 5.12 (suite)**

5. Simplicité de conduite du véhicule		20 %		
5.1 Nombre de manettes, boutons, pédales	5 %		<ul style="list-style-type: none"> <li>· nombre = 1</li> <li>· nombre = 2</li> <li>· nombre = 3</li> <li>· nombre &gt; 3</li> </ul>	100 % 80 % 40 % 0 %
5.2 Évidence des opérations	5 %		<ul style="list-style-type: none"> <li>· indications simples et mouvements naturels</li> <li>· sinon</li> </ul>	% basé sur le tableau 5.11
5.3 Conduite des deux places	5 %		<ul style="list-style-type: none"> <li>· oui (2 places)</li> <li>· non (1 place)</li> </ul>	100 % 0 %
5.4 Conduite debout et assis	5 %		<ul style="list-style-type: none"> <li>· oui</li> <li>· assis seulement</li> </ul>	100 % 50 %
6. Facilité à monter et à descendre du véhicule		5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>· grand espace pour les jambes</li> <li>· espace moyen pour les jambes</li> <li>· espace étroit pour les jambes</li> </ul>	% basé sur le tableau 5.11
TOTAL		100 %		

Nous avons vu, dans les exemples que nous avons commentés, que, d'un critère d'évaluation à l'autre, les barèmes peuvent varier considérablement: repères quantitatifs, repères qualitatifs, échelles à cinq, à trois ou à deux niveaux. Mais remarquez bien que, en dépit de ces différences, le résultat chiffré auquel aboutit chacun des barèmes est en pourcentage, si bien que, malgré leur disparité, tous les critères ont une base commune. Veillez à ce que les différentes solutions considérées pour un même projet aient elles aussi une base commune: si vous utilisez un système de pourcentage pour la première solution, n'allez pas recourir à un système de poids relatif pour la deuxième. Respectez le principe de la base commune. De cette façon, vous éviterez les distorsions quand il faudra, lors de la prise de décision, comparer les diverses solutions retenues en regard de tel ou tel critère.

Vous êtes maintenant pleinement en mesure de comprendre que l'établissement de barèmes pour vos critères d'évaluation est aussi lourd de conséquences que l'a été l'établissement de la pondération. En effet, quand vous mettez au point vos critères et vos barèmes, vous mettez au point du même coup les

instruments d'évaluation qui vous seront indispensables au moment de trancher entre les diverses solutions qui s'offriront à vous. Il vous appartient donc de faire en sorte que ces instruments soient de toute première qualité.

## **CHAPITRE 6**

### **DEUXIÈME ÉTAPE: RECHERCHE DE SOLUTIONS**

#### 6.1 Production d'idées

6.1.1 Place de l'imagination et du jugement rationnel

6.1.2 Brainstorming, technique de production d'idées

6.1.2.1 Préparation au brainstorming

6.1.2.2 Conduite du brainstorming

6.1.2.3 Questions pour stimuler l'idéation

#### 6.2 Recherche de solutions

6.2.1 Traitement des idées

Nous l'avons déjà dit au chapitre 1: la profession de l'ingénieur, c'est l'innovation technologique. L'ingénieur doit constamment trouver des solutions à des problèmes inédits. C'est pourquoi il doit s'entraîner à produire des idées.

Une idée ne vient jamais seule! Ce sont les idées qui entraînent les idées. Plus vous produirez d'idées à propos d'un sujet donné, plus vous aurez de choix, et c'est justement l'étendue de la gamme des choix qui vous permettra d'arriver à une solution finale originale. Inversement, si votre production d'idées est maigre, votre solution finale n'aura peut-être pas toute la pertinence souhaitable.

On a souvent remarqué que lorsque l'ingénieur s'emploie à produire des idées, il a tendance à utiliser davantage sa capacité de raisonnement logique que son imagination créatrice. Il hésite à laisser tomber les barrières qui retiennent son imagination, parce qu'il a l'impression, bien à tort, que le recours à l'imagination est une perte de temps. Par insécurité, il s'en remet donc régulièrement aux procédés de la pensée hypothético-déductive qu'il connaît bien.

Dans ce chapitre, au lieu d'opposer l'imagination à la logique, nous expliquerons comment l'ingénieur peut, en les associant, tirer parti des deux. Nous verrons que, dans le premier temps de la production d'idées, il vaut mieux recourir exclusivement à l'imagination: les idées qui émergent alors sont généralement riches et nombreuses. Au second temps du processus, on recourt au jugement rationnel pour déduire de la somme des idées formulées des solutions viables, propres à satisfaire à la situation idéale I, de l'équation  $B = I - A$  commentée au chapitre 5.

## 6.1 PRODUCTION D'IDÉES

### 6.1.1 Place de l'imagination et du jugement rationnel

Quand vous avez travaillé à la formulation du problème de votre mini-projet d'ingénierie, il vous a fallu utiliser toutes les ressources de votre pensée rationnelle pour réunir et catégoriser des informations utiles à une définition précise du besoin de votre client.

L'étape de la recherche de solutions démarre sur une attitude opposée. Ainsi que nous l'avons schématisé dans la figure 6.1, nous vous suggérons de mettre d'abord à profit votre imagination et votre créativité pour trouver des idées. Ensuite seulement, vous utiliserez votre jugement rationnel pour traiter ces idées et en dégager éventuellement des solutions viables.



**Figure 6.1** Deux stades dans la recherche de solutions.

Pourquoi produire des idées en se servant d'abord de son imagination et réserver son jugement pour plus tard? Parce qu'il est prouvé que l'imagination, quand elle n'est pas bridée par la raison, peut donner naissance à une quantité impressionnante d'idées.

Pourquoi produire des idées en quantité? Parce qu'il est démontré que les premières idées émises à propos d'un sujet ne sont généralement pas les meilleures. Elles sont souvent superficielles et manquent d'originalité. Ces premières idées ont d'ailleurs peu de chances de s'avérer utiles. C'est pourquoi il faut pousser l'imagination à produire le plus grand nombre d'idées possible. Plus la quantité d'idées est grande, plus les chances sont grandes de tomber sur des idées valables.

Nous ne sommes pas en train d'affirmer qu'il est impossible de produire des idées en n'utilisant que le raisonnement. Mais le raisonnement s'accompagne souvent de réflexes d'autocensure. De ce fait, la pensée rationnelle, dans le contexte dont nous parlons ici, risque d'écarter des idées qui de prime abord lui paraissent dénuées de pertinence. En quelque sorte, la raison place des gardiens aux portes de l'imagination, d'où elle ne laisse filtrer que des idées logiques, valables et sûres. Ceci parfois au détriment d'idées peu prometteuses, mais dont la combinaison avec d'autres idées pourrait ouvrir des pistes très intéressantes.

La démarche que nous vous proposons permet de neutraliser l'action de censure de la raison. Comprenons-nous bien, elle n'élimine pas la raison; elle en retarde simplement l'intervention. La procédure que nous allons décrire vise d'abord, nous le répétons, à vous aider à produire des idées en quantité; une technique vous sera particulièrement utile: le brainstorming. Plus tard, nous verrons comment faire le traitement des idées issues du brainstorming.

### **6.1.2 Brainstorming, technique de production d'idées**

Le brainstorming (en français, «remue-méninges») est une technique créative dont le but est de susciter le plus d'idées possible autour d'un sujet donné. La règle d'or du brainstorming veut que l'on réserve son jugement. Toutes les idées sont accueillies, même les plus incongrues. Aucune limite n'est imposée à l'imagination.

Une, deux, trois...douze personnes peuvent ainsi laisser vagabonder leur imagination à propos d'un sujet donné. Généralement, un animateur stimule et oriente la production des idées en proposant différentes pistes.

Précisons bien que le brainstorming n'est pas un procédé permettant à lui tout seul de résoudre des problèmes; il n'est qu'une technique créative parmi d'autres, susceptible d'amener une production d'idées abondante. Une fois le brainstorming terminé, vous vous trouverez devant une somme d'idées brutes, qu'il vous faudra encore classer, croiser, combiner pour parvenir à en tirer des solutions à votre problème (voir fig. 6.1).

Dans les lignes qui suivent, nous allons décrire comment préparer et comment tenir une séance de brainstorming. La figure 6.2 schématise le déroulement du processus, que nous commentons aux alinéas 6.1.2.1, 6.1.2.2 et 6.1.2.3.

### 6.1.2.1 Préparation au brainstorming

Une séance de brainstorming suppose un travail individuel préalable. L'objectif principal de la préparation à un brainstorming est justement que chaque participant arrive à la séance avec sa propre liste de suggestions concernant le problème traité. Comment vous y prendrez-vous pour confectionner cette liste? D'abord vous devrez formuler le problème le plus clairement possible. Dans le cas de votre mini-projet d'ingénierie, c'est déjà fait (voir chap. 5). C'est la formulation du problème qui devrait vous inspirer des suggestions pouvant constituer des éléments de solutions. Or, dans le cas de problèmes technologiques, comme celui dont vous vous occupez dans votre mini-projet d'ingénierie, ces suggestions peuvent rarement embrasser la question dans toute sa complexité. C'est pourquoi vous avez intérêt à décomposer le problème global en éléments de base, plus simples; puis, pour chacun de ces éléments, vous dresserez une liste d'idées.

Par exemple, si votre problème était d'élaborer un système permettant de déterminer avec certitude qu'un but est bon ou non au hockey, vous pourriez, éventuellement, consacrer une liste de suggestions personnelles à chacun des points suivants: changement possible au filet, à la rondelle, à la glace, position des juges de lignes, emplacement des caméras de télévision, etc.

Ainsi, avant même que le brainstorming commence, chaque participant aura produit une quantité variable d'idées susceptibles d'être retenues ou combinées lors du travail en groupe. Chacun remettra sa liste à l'animateur avant le démarrage de la séance et toutes les idées émises seront consignées.

AVANT LE BRAINSTORMING

**Tâches de chaque participant**

chacun formule clairement le problème concerné

pour plus de facilité, chacun décompose le problème global en éléments simples

chacun dresse une liste de suggestions personnelles pouvant constituer des éléments de solutions



PENDANT LE BRAINSTORMING

**Opérations préliminaires**

l'animateur rappelle le problème au groupe

l'animateur rappelle les règles du brainstorming

l'animateur énonce la ou les questions et donne un exemple

l'animateur procède à un exercice de réchauffement du groupe



**Production d'idées**

l'animateur donne la parole aux participants qui, à tour de rôle, expliquent rapidement leur idée

le secrétaire prend note de chaque idée

si on a encore des idées

si on n'a plus d'idées

l'animateur fournit une autre piste

l'animateur demande au secrétaire de lire la liste des idées émises jusqu'ici

l'animateur fait une pause pour permettre à chacun de réfléchir en silence

FIN DU BRAINSTORMING  
Vers le traitement des idées

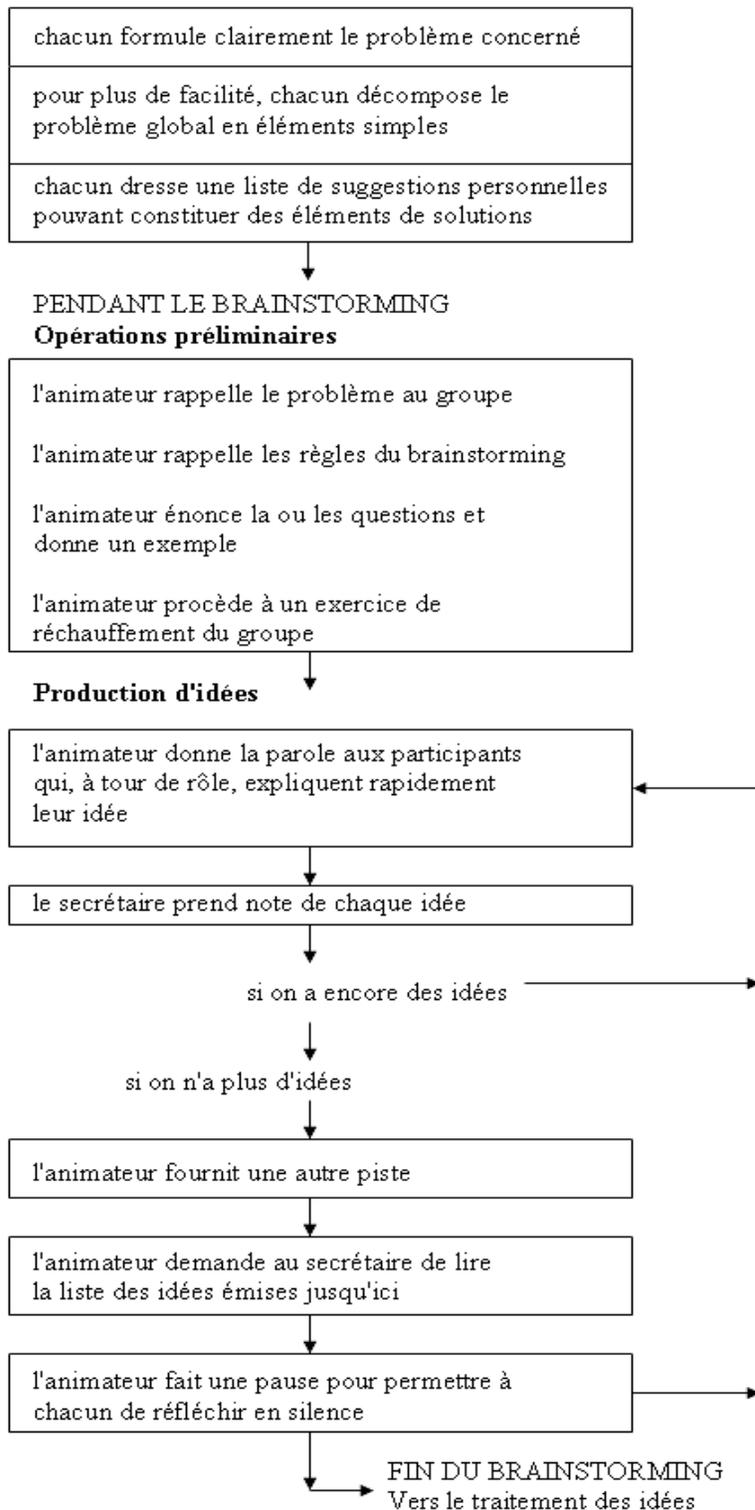


Figure 6.2 Déroulement d'un brainstorming.

### 6.1.2.2 Conduite du brainstorming

Une équipe idéale de brainstorming contient de dix à douze participants, dont un animateur et un secrétaire. Le secrétaire a la tâche de consigner l'essentiel de toutes les idées émises durant la séance, au fur et à mesure qu'elles émergent. Il numérote chacune des idées suivant l'ordre dans lequel elles sortent. Il ajoute à la liste finale du brainstorming les suggestions individuelles qui auraient pu être oubliées. Dans la liste, toutes les idées sont anonymes; le nom des auteurs n'apparaît pas. Il est souhaitable, mais non obligatoire, que le secrétaire affiche, sur un tableau par exemple, les idées émises. Le fait de les avoir constamment sous les yeux pourra éventuellement stimuler les croisements et les combinaisons.

Tout comme les autres participants, l'animateur devra arriver bien préparé au brainstorming. Si le problème à traiter est trop complexe, il devra le décomposer en plusieurs éléments, qui prendront la forme d'autant de questions qu'il adressera au groupe. Il établira lui aussi sa liste de suggestions personnelles. Quand le groupe connaîtra un creux, il pourra, s'il le juge nécessaire, relancer la production collective d'idées en se servant d'une de ses propres suggestions. Le plus souvent cependant, l'animateur préférera orienter la recherche d'idées sur différentes autres pistes, dont nous parlerons plus loin, à l'alinéa 6.1.2.3.

Avant de lancer un groupe de personnes dans une production collective d'idées, l'animateur doit, dans l'ordre:

- rappeler le problème et le situer dans son contexte;
- rappeler les règles du brainstorming;
- énoncer la ou les questions du brainstorming;
- procéder à une activité de réchauffement des esprits.

Dans le cas de votre mini-projet d'ingénierie, tous les membres de l'équipe ont contribué à la formulation du problème. C'est pourquoi l'animateur peut passer très vite sur cette étape et se contenter d'un bref rappel. Dans d'autres cas, l'animateur devrait faire un exposé plus complet du problème, mais rester bref tout de même.

L'animateur doit rappeler à tous les quatre règles du brainstorming:

- il est défendu de porter un jugement critique sur les idées émises; en aucune façon l'animateur ne tolérera qu'on se prononce sur la valeur des idées lancées; toutes les idées sont bonnes;
- il faut laisser libre cours à son imagination et ne pas hésiter à mentionner même les idées les plus farfelues;
- on vise une production d'idées abondante; plus le nombre d'idées émises est grand, plus il y a de chances qu'une bonne idée en sorte;
- on encourage les participants à suggérer des améliorations à des idées déjà émises; de même on encourage les combinaisons d'idées;

Une fois les règles clairement établies, l'animateur énonce la ou les questions du brainstorming;

autant que possible, il les affiche (tableau ou transparent). Ces questions doivent demeurer visibles en permanence. L'animateur peut fournir un ou deux exemples d'idées représentatives de ce que l'on recherche.

Enfin, comme tout exercice suppose une période de mise en forme, il peut être utile que l'animateur procède à un court réchauffement de l'imagination des participants en leur proposant de s'exercer sur un problème simple. Ce problème ne doit pas avoir de lien avec le sujet traité. Sa qualité première doit être d'inspirer rapidement des idées aux participants. Des exemples: comment empêcher le chien du voisin de piétiner vos fleurs? Quoi faire pour améliorer le confort sur une bicyclette? Comment pourrait-on améliorer une brosse à dents? l'oeil magique dans une porte? les draps d'un lit? etc.

Les activités préliminaires à la séance de brainstorming étant terminées, l'animateur peut enfin lancer la production collective d'idées. Après avoir posé la question à propos de laquelle il faut émettre des idées de solutions, il procède à un tour de table où chacun présente en quelques secondes une seule idée à la fois. Si quelqu'un bloque, l'animateur doit lui forcer (un peu) l'imagination. N'oublions pas que le but du brainstorming est de produire le plus d'idées possible: tous les cerveaux doivent y aller de leur contribution. Si le blocage subsiste, l'animateur peut passer à quelqu'un d'autre ou fournir à la personne une autre piste afin d'obtenir d'elle une idée.

Si jamais un participant veut interrompre le tour de table pour renchérir sur l'idée d'un autre ou pour y répliquer, il n'aura qu'à claquer des doigts ou à lever la main. L'animateur lui laissera la parole aussitôt, car les améliorations ou les combinaisons d'idées sont recherchées. Le tour de table reprendra ensuite où il avait été interrompu. L'animateur recommandera aux participants de prendre en note une idée venue subitement, afin de ne pas l'oublier dans le processus du tour de table.

Idéalement, un brainstorming dure environ trente minutes, qui peuvent être consécutives ou ponctuées d'arrêts: tout dépend de la dynamique du groupe. Par exemple, l'animateur pourra décider, s'il le juge nécessaire, de demander à un moment donné cinq minutes de silence pour permettre à chacun de réfléchir. Si, par ailleurs, trente minutes peuvent vous paraître longues, dites-vous bien que souvent ce ne sont pas les premières idées émises qui sont les meilleures et les plus utiles. C'est en forçant l'imagination et en construisant sur d'autres idées déjà avancées que peuvent apparaître des idées inédites ou d'une utilité insoupçonnée.

Le plus souvent, les personnes qui participent à une séance de brainstorming de trente minutes trouvent l'expérience très fatigante, car elles doivent y soutenir une concentration maximale. Si vous sortez d'un brainstorming aussi frais et dispos que vous l'étiez au moment d'y entrer, votre imagination n'a probablement pas travaillé très fort...

### ***6.1.2.3 Questions pour stimuler l'idéation***

La technique des questions est reconnue depuis longtemps comme un bon moyen de mettre l'imagination en marche. C'est pourquoi nous vous suggérons, au tableau 6.1, une liste de questions conçues et mises au point par du personnel du MIT (Massachusetts Institute of Technology). Ces questions s'avèrent utiles aussi bien lors de la préparation individuelle préalable au brainstorming

que lors de la séance collective elle-même. Grâce à elles, l'animateur peut lancer la réflexion sur de nombreuses pistes susceptibles d'inspirer encore plus d'idées. La liste que nous fournissons ici a été traduite et reproduite par Alex F. Osborn dans son ouvrage *L'imagination constructive* (p. 257).

### **Tableau 6.1** Liste de questions pour stimuler l'idéation

Voici le genre de questions qui peuvent vous mener vers des idées nouvelles:

**Quels autres usages?** De nouveaux usages pour s'en servir tel quel? D'autres usages par modification?

**Adapter?** Qu'est-ce qui ressemble à ceci? Quelles autres idées cela suggère-t-il? Le passé nous offre-t-il des analogies? Que pourrais-je copier? Que pourrais-je utiliser comme source d'émulation?

**Modifier?** Lui donner une nouvelle forme? En changer la destination, la couleur, le mouvement, le son, l'odeur, la forme, l'aspect? Faire d'autres changements?

**Agrandir?** Que peut-on y ajouter? Doit-on y consacrer plus de temps? Doit-on en augmenter la fréquence? Le rendre plus résistant? Plus haut? Plus long? Plus épais? Y ajouter une valeur supplémentaire? Augmenter le nombre d'ingrédients? Le dédoubler? Le multiplier? L'exagérer?

**Diminuer?** Que peut-on en soustraire? Doit-on le rendre plus petit? Plus compact? Miniature? Plus bas? Plus court? Plus léger? Que peut-on en supprimer? Comment le rendre plus aérodynamique? Comment le diviser en pièces? Comment le déclasser?

**Substituer?** Qui mettre à la place? Que mettre à la place? Quels autres ingrédients de remplacement? Quels autres matériaux, autres procédés, autre source d'énergie, autre endroit? Autre façon de le résoudre? Autre ton de voix?

**Réarranger?** En interchanger les composants? En établir d'autres modèles? En disposer les éléments dans un ordre différent? En changer la séquence? Intervertir la cause et l'effet? En changer l'allure? En changer l'horaire?

**Renverser?** Transposer le positif et le négatif? En considérer l'opposé? Le retourner? Le mettre la tête en bas? Renverser les rôles? Changer les positions des personnages? Et si nous en changions l'ordre de déroulement? Et si nous en présentions une autre face?

**Combiner?** Pourquoi ne pas essayer un mélange, un alliage, un assortiment, un ensemble? Ou combiner des unités? Des buts? Des attraites? Des idées?

Vous aurez compris que les questions de la liste sont formulées de manière à relancer des idées déjà

émises et à en susciter de nouvelles, dérivées des premières. De plus, certaines questions visent à déplacer le point de vue que l'on a habituellement sur un principe ou un produit pour en découvrir d'autres usages, par exemple. Ainsi, quels nouveaux usages (voir tabl. 6.1) pourrait-on faire d'une brique? de vieux pneus d'automobile? de cintres pour les vêtements? etc.

Nous ne sommes que des emprunteurs d'idées! Alors pourquoi ne pas nous demander: existe-t-il quelque chose de similaire que je puisse copier, incorporer, adapter? Par exemple, pourrait-on adapter la crosse d'un pistolet à d'autres objets conçus pour être tenus avec la main et actionnés par l'index?

Souvent on modifie des objets courants pour les adapter à un usage nouveau. Certaines questions du tableau 6.1 exploitent ce principe: par exemple, que se passerait-il si vous modifiiez la forme d'un volant d'automobile? Cela pourrait-il convenir à vos besoins? Comment pourriez-vous l'améliorer? Quels changements pourriez-vous y apporter? Comment en changer la forme? le volume? Quel accessoire ferait mieux encore? Etc.

Si on modifie, on peut diminuer ou agrandir. Pourriez-vous, par exemple, enlever des pièces à un réfrigérateur? À une automobile? À une agrafeuse? À un stylo? tout en préservant leur efficacité? Comment pourrait-on augmenter la durée de vie des savonnettes?

On peut, selon le même procédé, substituer, réarranger, renverser ou combiner autant d'idées que l'imagination peut produire, c'est-à-dire jusqu'à l'infini. Mentionnons que, parmi toutes les opérations citées dans le tableau 6.1, la combinaison d'idées est l'une des plus efficaces.

## **6.2 RECHERCHE DE SOLUTIONS**

Une séance de brainstorming peut produire des centaines d'idées. Que faut-il faire de tout ce matériel? Doit-on considérer chacune des idées formulées? toutes les idées sont-elles bonnes? Faut-il toutes les garder? En somme, comment traiter cette masse d'idées?

Il n'est pas facile de donner une réponse universelle à ces questions. Tout dépend du contexte dans lequel vous travaillez et du cas dont vous vous occupez. C'est pourquoi nous ne chercherons pas à vous imposer un protocole strict pour le traitement de vos idées. Nous allons plutôt vous suggérer des principes généraux que vous adapterez à votre cas.

### **6.2.1 Traitement des idées**

Une première opération utile serait certainement de procéder à une classification des idées. C'est à vous de déterminer selon quelles catégories le classement peut s'opérer. À cette étape, vous devriez, par ailleurs, conserver toutes les idées émises.

Nous l'avons déjà mentionné: dans le cas de problèmes technologiques complexes, le brainstorming n'apporte pas de solutions toutes faites et directement applicables. C'est pourquoi aucune des idées générées lors du brainstorming n'a de valeur en soi. Mais alors comment dégager des solutions viables de la masse des idées émises lors du brainstorming? Encore là, il n'y a pas de

recette magique. Il vous faudra utiliser simultanément votre intelligence, votre imagination et votre bon sens. Une solution viable peut, par exemple, ressortir du croisement de deux ou trois idées dissociées au départ. Une autre solution viable peut se bâtir et se développer à partir d'une seule idée d'origine. Une chose est certaine, vous arriverez à tirer des solutions de ces matériaux bruts que sont les idées du brainstorming si vous savez les croiser, les combiner et en exploiter tout le potentiel.

À ce stade, gardez-vous d'être trop critique. Toute solution qui a du sens devrait être envisagée. Vous pourrez peut-être ainsi en énoncer une dizaine ou une quinzaine. Ensuite, préparez pour chacune des solutions une courte description écrite qui en précise les caractéristiques. Si possible, joignez un croquis à la description. Toutes les solutions ébauchées ici seront examinées lors de l'étude de praticabilité, dont nous parlons au chapitre 7.

## **CHAPITRE 7**

### **TROISIÈME ÉTAPE: ÉTUDE DE PRATICABILITÉ**

- 7.1 Définition d'une étude de praticabilité
- 7.2 Praticabilité et aspects physiques
- 7.3 Praticabilité et aspects économiques
- 7.4 Praticabilité et facteurs de temps
- 7.5 Praticabilité et facteurs environnementaux
- 7.6 Compilation dans un tableau synthèse

Au terme de l'étape que nous avons vue au chapitre précédent, vous avez mis sur papier un certain nombre de solutions qui pour l'instant paraissent applicables à votre mini-projet.

Mais dans quelle mesure chacune de ces solutions est-elle concrètement réalisable? Dans quelle mesure permet-elle d'atteindre les objectifs que vous avez formulés? Les solutions sont-elles toutes scientifiquement, techniquement et économiquement réalisables? Respectent-elles toutes les contraintes de temps auxquelles vous devez obéir? Sont-elles toutes compatibles avec les conditions environnementales que vous devez respecter?

Vous répondrez sommairement à ces questions en travaillant à l'étude de praticabilité. À l'issue de cette troisième étape de votre travail sur le mini-projet, certaines solutions seront carrément rejetées, alors que d'autres seront temporairement retenues pour être approfondies lors de l'étape suivante, l'étude préliminaire et la prise de décision finale (voir chap. 8).

## **7.1 DÉFINITION D'UNE ÉTUDE DE PRATICABILITÉ**

Dans le contexte d'une démarche méthodique de conception et de réalisation d'un projet d'ingénierie, faire une étude de praticabilité consiste à évaluer sommairement la possibilité de réaliser une ou plusieurs solutions destinées à satisfaire les besoins d'un client. Plus précisément, le but de l'étude de praticabilité est de déterminer rapidement, sans examen poussé, quelles solutions doivent être rejetées et quelles solutions méritent d'être retenues pour le moment et approfondies ultérieurement. Pour mener à bien l'étude de praticabilité, il faut analyser chaque solution envisagée en fonction des quatre points suivants:

- aspects physiques,
- aspects économiques,
- facteurs de temps,
- facteurs environnementaux.

Pour chacune des solutions que vous avez dégagées de l'étape recherche de solutions, vous allez donc vous poser un certain nombre de questions portant sur les quatre dimensions que nous venons d'identifier. Les réponses à ces questions feront probablement ressortir les principaux problèmes inhérents à chacune des solutions envisagées. Vous compilerez vos réponses dans un tableau synthèse (tabl. 7.5), puis, pour chaque solution, vous rendrez un verdict de rejet ou d'approbation temporaire. Les solutions retenues passeront l'épreuve finale de la prise de décision (voir chap. 8).

Dans les pages qui suivent, nous allons expliquer en quoi consiste précisément l'analyse que vous devez faire en regard des quatre dimensions déjà citées. Pour chacune d'entre elles, vous vous référerez aux informations que vous avez déjà rassemblées lors de la formulation de votre problème. Peut-être même jugerez-vous utile d'aller chercher de nouvelles informations pour compléter les premières. Nous joindrons à nos commentaires sur les quatre volets de l'étude de praticabilité quatre listes de questions (une par volet) susceptibles de vous aider à porter un jugement sommaire, mais quand même éclairé, sur la praticabilité de vos solutions.

Une fois votre analyse terminée, vous devrez expliquer, dans votre rapport final, les raisons qui font que

vous écarter ou que vous retenez temporairement telles ou telles de vos solutions. Normalement, vous devriez retenir entre deux et six solutions. Quelques lignes suffiront pour chacune d'entre elles, car rappelez-vous bien que l'étude de praticabilité n'est pas une étude approfondie. C'est lors de la prise de décision finale que vous devrez faire une analyse plus complète.

## 7.2 PRATICABILITÉ ET ASPECTS PHYSIQUES

Le premier volet de l'étude de praticabilité vise à évaluer dans quelle mesure chaque solution est scientifiquement et techniquement réalisable.

On comprend bien qu'une solution qui viole une loi de la nature ne pourra être conservée. Pas plus d'ailleurs qu'une solution exigeant des outils technologiques trop sophistiqués pour votre client. D'autre part, certaines solutions vous amèneront, vous ou votre client, à faire des compromis technologiques. Ce sont là quelques jalons qui orienteront votre analyse de la praticabilité physique et technique de vos solutions.

Votre travail consistera ici à démontrer que les caractéristiques techniques et physiques de vos solutions justifient que vous les conserviez ou à démontrer, au contraire, qu'elles les rendent inacceptables. Toute cette opération exige évidemment du jugement et un certain sens de la réalité. Commencez par revenir à la définition des besoins de votre client et estimez les compromis que vous pensez qu'il est prêt à accepter; puis évaluez chacune de vos solutions en fonction des questions du tableau 7.1. D'autres questions sont évidemment recevables. Notre liste ne cite que quelques-uns des points typiques qu'un ingénieur prend en considération quand il s'emploie à jauger la faisabilité physique et technique d'une solution envisagée. Point n'est besoin d'élaborer longuement votre jugement. C'est plutôt le poids de vos arguments qui compte.

**Tableau 7.1** Liste de questions typiques pour évaluer la praticabilité physique et technique d'une solution

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Cette solution viole-t-elle une ou plusieurs loi(s) de la nature?</li><li>- Le niveau de performance de cette solution sera-t-il adéquat dans le contexte de ce problème? Est-ce suffisant pour faire face aux concurrents?</li><li>- Cette solution peut-elle être réalisée, considérant le talent des employés du client et les équipements disponibles dans son entreprise?</li><li>- Le produit sera-t-il fiable dans les conditions d'utilisation normales? Le sera-t-il dans des conditions anormales?</li><li>- Satisfait-t-il aux exigences minimales établies lors de la formulation du problème?</li><li>- Se peut-il que des interactions entre les diverses composantes amènent des complications?</li><li>- Le confort des utilisateurs de la machine ou de l'équipement est-il assuré?</li></ul> |
|--|

- Les composantes seront-elles facilement accessibles pour l'entretien? Les pièces seront-elles disponibles rapidement et à un coût acceptable?
- La technologie du produit ou du système à réaliser est-elle connue (ou du niveau) des gens devant le construire et l'entretenir?
- L'usage du produit ou du système se fait-il dans des conditions extrêmes ou inhabituelles de température, d'humidité ou autre?
- Le produit ou le système peut-il s'adapter à des changements futurs? Est-il modifiable?
- Etc.

### 7.3 PRATICABILITÉ ET ASPECTS ÉCONOMIQUES

Certaines solutions coûtent plus cher que d'autres, c'est un fait. Si certaines sont conformes à l'enveloppe budgétaire que vous avait fixée votre client, d'autres, par contre, peuvent dépasser un peu ou beaucoup cette limite. Ce dépassement est-il acceptable pour votre client? Aucune organisation ne possède des budgets illimités pour financer des projets...

C'est pourquoi vous devez déterminer si chacune des solutions envisagées est financièrement réalisable. Le tableau 7.2 cite les principales questions à se poser au moment d'établir la praticabilité économique d'une solution.

**Tableau 7.2** Liste de questions typiques pour évaluer la praticabilité économique d'une solution

- Y a-t-il suffisamment de capital dans l'entreprise pour financer un tel projet jusqu'à ce qu'il soit opérationnel?
- Le coût de fabrication vous permettra-t-il de faire un profit raisonnable tout en étant compétitif?
- Le personnel spécialisé nécessaire à votre solution sera-t-il disponible au moment désiré? Suffira-t-il à la tâche? Faudra-t-il embaucher du personnel supplémentaire?
- Faudra-t-il investir pour acheter des composantes standard sur le marché?
- Etc.

## 7.4 PRATICABILITÉ ET FACTEURS DE TEMPS

Le meilleur moment pour terminer un projet est habituellement fixé par des circonstances extérieures à ce projet.

Dans le cas d'un produit commercial, il faut choisir le moment opportun pour entrer sur le marché. C'est-à-dire qu'il faut tenir compte des variations saisonnières, de la compétition et du rendement économique à long terme.

Dans le cas d'un projet public, comme une autoroute ou un barrage, les facteurs de temps jouent différemment: si, par exemple, le projet est réalisé trop rapidement, l'investissement sera plus élevé que si l'on prend le temps d'aller en appel d'offres à un moment où les contracteurs sont à la recherche de nouveaux contrats parce que le travail est plus rare.

Par ailleurs, les délais de réalisation ne sont pas nécessairement les mêmes d'une solution à l'autre. Cela dépend de l'expertise requise et du niveau technologique demandé. L'innovation technologique exige toujours plus de temps, car on avance sur un terrain neuf. Il y a donc plus d'incertitude, et il faut répondre à plus de questions venant de la part du client et de l'équipe technologique.

Rappelons aussi qu'un projet comprend plusieurs phases et que chaque phase doit obéir à son calendrier particulier si l'on veut que le projet global se termine au moment prévu ou que le produit atteigne le marché au moment choisi.

Les questions du tableau 7.3 reprennent ces diverses considérations et devraient vous aider à déterminer si, du point de vue temps et délais, chacune de vos solutions est praticable.

**Tableau 7.3** Liste de questions typiques pour évaluer les effets des facteurs de temps sur la praticabilité d'une solution

- L'équipe actuelle peut-elle respecter le calendrier fixé si l'on choisit cette solution?
- Aurez-vous le temps de recruter du nouveau personnel et de le former pour implanter rapidement votre produit ou votre système?
- Le système ou le produit atteindra-t-il le marché à la période propice de demande des consommateurs?
- La nouvelle technologie nécessaire à cette solution sera-t-elle disponible à temps?
- Etc.

## 7.5 PRATICABILITÉ ET FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

De nos jours, les gens sont attentifs à la qualité de leur environnement. Il est donc souhaitable que les solutions que vous avancez tiennent compte de cette préoccupation. Ici, il faut prendre le terme environnement au sens large: environnement à l'école, au travail, dans le milieu urbain, rural, etc. C'est donc dire que les facteurs environnementaux mettent en jeu des notions et des phénomènes aussi divers que la sécurité, le confort, l'ergonomie, la pollution par le bruit, la pollution visuelle, la pollution chimique, etc.

Vous remarquerez que, dans la liste de questions que nous vous fournissons au tableau 7.4, nous assimilons les facteurs humains et socioculturels à des facteurs environnementaux. Il peut très bien arriver, en effet, que l'une des solutions soit jugée digne de l'emporter sur les autres à cause du fait qu'elle est compatible avec certains facteurs humains et socioculturels.

**Tableau 7.4** Liste de questions typiques pour évaluer les effets des facteurs environnementaux sur la praticabilité d'une solution

- Avec cette solution, l'utilisateur sera-t-il en sécurité? Le produit ou le système est-il conçu pour être à toute épreuve? Autrement dit, résistera-t-il à un emploi forcé ou abusif sans devenir dangereux?
- Le niveau de pollution (bruits, polluants chimiques, poussières, etc.) respectera-t-il les normes en vigueur?
- L'esthétique sera-t-elle acceptable pour la population ou pour l'utilisateur?
- Tient-on compte des facteurs humains (ou des règles de l'ergonomie) dans les opérations ou dans l'utilisation?
- Les gens du milieu accepteront-ils ce produit ou ce système dans leur environnement?
- Etc.

## 7.6 COMPILATION DANS UN TABLEAU SYNTHÈSE

Les informations que vous avez recueillies jusqu'à maintenant sont probablement notées pêle-mêle sur plusieurs feuilles de papier; ou, pire encore, vous vous êtes peut-être simplement fié à votre mémoire pour les enregistrer. Nous vous suggérons de procéder plus systématiquement en constituant un tableau qui résumera l'ensemble de vos jugements, selon les différentes dimensions de l'étude de praticabilité, et ce pour chaque solution considérée. Le tableau 7.5 est un modèle de tableau récapitulatif.

En haut du tableau (abscisse), on retrouve les quatre dimensions de l'étude de praticabilité, soit les aspects

physiques, les aspects économiques, les facteurs de temps et les facteurs environnementaux. Sous chacune de ces dimensions, vous voyez trois points de suspension (...), qui font référence aux critères d'évaluation formulés antérieurement. On place en ordonnée chacune des solutions envisagées dans l'étude de praticabilité.

Après avoir rempli le tableau, puis interprété les commentaires que l'on y a inscrits, on indique dans la dernière colonne de droite le sort réservé à chaque solution (rejet ou approbation temporaire).

**Tableau 7.5** Tableau synthèse servant à compiler l'étude de praticabilité

SOLUTIONS	PRATICABILITÉ				DÉCISION
	aspects physiques (...)	aspects économiques (...)	facteurs de temps (...)	facteurs environnementaux (...)	
1 (...)					
2 (...)					
3 (...)					
«n»					

Pour vous aider à compiler votre propre étude de praticabilité, nous en fournissons un exemple au tableau 7.6. Le projet concerne ici une brosse à dents électrique. Par manque d'espace, nous n'étudions que quatre des dix solutions initialement retenues à la suite du traitement des idées issues du brainstorming.

**Tableau 7.6** Étude de praticabilité concernant un projet de brosse à dents électrique

SOLUTIONS	PRATICABILITÉ				DÉCISION
	aspects physiques	aspects économiques	facteurs de temps	facteurs environnementaux	
	normes ULC et ACNOR; attrayante; égale ou supérieure à marque X	prix de vente moins de 110 % des concurrents	prête pour vente de Noël cette année si possible	usage par enfants; hygiénique, usage personnel ou cadeau	
1 Piles et chargeur intégré; brosse se déplace de bas en haut et latéralement	OUI	OUI	NON, on manque 1 <sup>re</sup> saison à cause du temps de développement	OUI	RETENUE
2 Sur prise 110 V; brosse se déplace de bas en haut et latéralement	OUI	OUI	NON, on manque 1 <sup>re</sup> saison à cause du temps de développement	OUI, mais certaine peur des chocs électriques	RETENUE

**Tableau 7.6 ( Suite)**

SOLUTIONS	PRATICABILITÉ				DÉCISION
	aspects physiques	aspects économiques	facteurs de temps	facteurs environnementaux	
	normes ULC et ACNOR; attrayante; égale ou supérieure à marque X	prix de vente moins de 110 % des concurrents	prête pour vente de Noël cette année si possible	usage par enfants; hygiénique, usage personnel ou cadeau	
3 Piles non rechargeables; brosse rotative comme celle des dentistes	OUI, si utilisée pour surface postérieure des dents	OUI	OUI, car technologie déjà utilisée	OUI intéressant pour polir surface antérieure des dents	RETENUE
4 Recharge par énergie solaire; brosse se déplace de bas en haut et latéralement	OUI	NON, trop cher: énergie économisée ne compense pas coût	NON, on manque 1 <sup>re</sup> saison à cause du temps de développement	OUI intéressant pour ceux qui économisent l'énergie	REJETÉE (à cause du prix)

Pour aboutir à un document comme le tableau 7.6, il faut, dans un premier temps, retourner aux informations recueillies lors de la formulation du problème et examiner les solutions une à une en s'aidant des différentes listes de questions fournies dans le présent chapitre. Voilà comment vous parviendrez à identifier les côtés praticables ou non praticables des différentes solutions envisagées. Ensuite vous consignerez dans votre tableau les éléments clés du jugement que vous portez sur vos solutions en fonction de toutes les dimensions de leur praticabilité.

Lorsque toutes les solutions auront été traitées, il faudra analyser le contenu du tableau. Dans notre exemple, la solution 4 est rejetée parce que son prix de vente anticipé est trop élevé et qu'elle ne pourra faire concurrence aux produits actuellement sur le marché. Les solutions 1, 2 et 3 sont retenues pour

l'étape qui suit habituellement celle-ci dans la phase design du processus de conception et de réalisation d'un projet d'ingénierie: l'étude préliminaire et la prise de décision. Si, comme c'est justement votre cas, nous avons un rapport à rédiger au terme de la phase design, il faudrait y justifier sommairement les conclusions de notre étude de praticabilité.

Rappelons en terminant que vous ne devez retenir de l'étude de praticabilité que les solutions qui vous paraissent utiles et vraiment réalisables en vue de les approfondir par des études préliminaires et d'en arriver enfin à choisir, lors de la prise de décision, le concept qui répondra le mieux aux besoins de votre client.

## CHAPITRE 8

### QUATRIÈME ÉTAPE: ÉTUDE PRÉLIMINAIRE ET PRISE DE DÉCISION

#### 8.1 Étude préliminaire

- 8.1.1 Élaboration des solutions prometteuses
- 8.1.2 Analyse en fonction des critères d'évaluation
- 8.1.3 Évaluation, ordres de grandeur et caractéristiques générales
- 8.1.4 Plan de l'étude préliminaire
- 8.1.5 Exemple d'une étude préliminaire simple

#### 8.2 Prise de décision

- 8.2.1 Matrice de décision
- 8.2.2 Exemple d'une matrice de décision

Dans le chapitre précédent, vous avez vu comment effectuer une étude de praticabilité; au terme de cette étude, seules quelques solutions utiles et physiquement réalisables ont été retenues. Vous devrez maintenant soumettre ces solutions prometteuses à deux autres analyses, plus fines que les précédentes: l'étude préliminaire et la prise de décision.

Comme les projets d'ingénierie (y compris vos mini-projets) sont très variés, nous pouvons difficilement proposer ici un cheminement strict et détaillé. Nous suggérons plutôt un cheminement global, que vous appliquerez à votre mini-projet.

Dans les pages qui suivent, nous expliquons en quoi consiste l'étude préliminaire et la prise de décision. Pour chacune, nous fournissons un exemple destiné à vous aider à appliquer la démarche à votre mini-projet.

## **8.1 ÉTUDE PRÉLIMINAIRE**

Le but de l'étude préliminaire est de déterminer plus précisément dans quelle mesure chaque solution (ou ses composantes) retenue à l'issue de l'étude de praticabilité permet de remplir les fonctions initialement envisagées dans la formulation du problème.

L'étude préliminaire comprend trois opérations. Il faut d'abord pousser plus loin l'élaboration des solutions retenues, en détaillant chacune de leurs composantes; ensuite on analyse chaque solution en fonction des critères d'évaluation fixés auparavant; enfin, on détermine certains ordres de grandeur et certaines caractéristiques générales pour chacune des solutions. À ce stade, on est prêt à passer à la prise de décision.

L'examen approfondi que suppose l'étude préliminaire doit être fait avec une égale rigueur d'une solution à l'autre, et cela selon une démarche (un plan de travail) acceptée par l'équipe.

### **8.1.1 Élaboration des solutions prometteuses**

À la fin de l'étape de la recherche de solutions, vous avez été invité à donner une première ébauche de chacune des solutions envisageables: vous en avez décrit brièvement certaines composantes et vous avez produit quelques croquis.

Nous vous demandons maintenant de pousser plus loin cette description et de mieux élaborer les composantes des solutions retenues, mais juste assez pour être en mesure d'en faire un modèle simple et de quantifier certains paramètres en relation avec les critères d'évaluation et le barème.

Voici les consignes à observer: produisez des croquis plus détaillés que les premiers pour bien faire comprendre votre idée au client; dimensionnez sommairement l'objet ou le système et analysez ses composantes. Décrivez aussi le fonctionnement ou le mode d'utilisation de chaque composante en vous appuyant au besoin sur les croquis.

### **8.1.2 Analyse en fonction des critères d'évaluation**

L'étude préliminaire requiert aussi que vous analysiez chaque solution prometteuse en fonction des critères d'évaluation que vous avez formulés plus tôt (voir chap. 5).

Les critères d'évaluation relatifs à un projet d'ingénierie touchent généralement les trois aspects suivants: fonctionnement, coût et temps. À l'occasion de l'étude préliminaire, vous traiterez donc ces trois aspects, illustrés par les critères d'évaluation, en analysant suffisamment chaque solution pour appliquer le barème lors de la prise de décision.

## FONCTIONNEMENT

L'analyse de l'aspect fonctionnement des solutions arrivées jusqu'à l'étude préliminaire implique que vous fassiez une étude théorique des composantes de chaque solution en faisant appel aux connaissances et à l'expérience issues de votre formation antérieure ou en cours. Vous devrez probablement aussi consulter plusieurs sources d'information. Le tableau 8.1 fournit une liste partielle des sources usuelles.

**Tableau 8.1** Sources de renseignements utiles pour l'étude préliminaire

<ul style="list-style-type: none"><li>- Bibliothèques<ul style="list-style-type: none"><li>· ouvrages spécialisés</li><li>· manuels (<i>handbooks</i>)</li><li>· codes et normes</li><li>· revues et journaux scientifiques</li><li>· etc.</li></ul></li> <li>- Produits des concurrents</li> <li>- Catalogues des manufacturiers</li> <li>- Expérience personnelle et expérience des collègues de l'équipe technologique</li> <li>- Ressources internes de l'entreprise</li> <li>- Connaissances scientifiques de l'ingénieur<ul style="list-style-type: none"><li>· lois de la physique</li><li>· statique</li><li>· dynamique</li><li>· dessin</li><li>· mathématiques</li><li>· matériaux</li><li>· procédés de fabrication</li><li>· analyse financière</li><li>· analyse des coûts</li><li>· etc.</li></ul></li></ul>
---

## COÛT

L'analyse de l'aspect coût doit déboucher sur une évaluation du coût de réalisation de chacune des solutions à l'étude (matériaux et ressources humaines). Voici une bonne façon de procéder: divisez le produit en composantes, en notant la fonction de chacune d'entre elles; ensuite, estimez le coût de ces composantes en les comparant avec d'autres pièces semblables déjà existantes. N'oubliez pas que le prix de vente ne dépend pas uniquement du designer, mais aussi de la marge de profit désirée et des politiques de l'entreprise.

## TEMPS

L'analyse de l'aspect temps consiste ici à évaluer la durée des différentes tâches importantes à effectuer pour produire la solution prometteuse envisagée. Cette analyse doit aussi démontrer dans quelle mesure les délais prévus sont réalistes. L'analyse du temps touche habituellement toutes les phases d'un projet d'ingénierie. Toutefois, dans le cas de votre mini-projet, vous vous contenterez de prévoir la durée des étapes de la phase 2 (design du projet) du processus de conception et de réalisation d'un projet d'ingénierie (voir chap. 4, fig. 4.2). Ceci vous donne un calendrier de travail d'au plus 13 semaines.

### 8.1.3 Évaluation, ordres de grandeur et caractéristiques générales

Pour mener à terme l'étude préliminaire, le designer est obligé d'évaluer et de déterminer des ordres de grandeur à partir de données incomplètes. Il devra donc formuler un certain nombre d'hypothèses et c'est la justesse de ces dernières qui contribuera d'autant à réduire les doutes et les incertitudes lors de la prise de décision. Bien qu'ici l'expérience soit un atout précieux, l'étudiant peut, dans bien des cas, faire des évaluations judicieuses s'il utilise à bon escient ses connaissances.

L'évaluation est une prédiction basée sur des informations limitées. Elle est bien différente d'une «devinette», qui bien souvent fait appel à l'instinct ou à l'émotivité. L'ingénieur doit souvent évaluer; il ne devrait jamais deviner.

Pour chaque solution, estimez donc les dimensions du produit ou du système concerné. Selon le cas, évaluez les forces, les déflexions acceptables, la vitesse, l'accélération, la pression, les débits requis et, s'il s'agit d'une machine, la puissance requise pour actionner les éléments, etc.

Évitez cependant pour l'instant d'entrer dans des détails superflus; ainsi, il est suffisant d'imaginer qu'une pièce sera faite de plastique, sans spécifier que ce sera du polycarbonate; il est suffisant de dire que l'on joindra deux composantes à l'aide d'une soudure, sans pour autant spécifier la forme et les emplacements exacts des cordons de soudure. On jugera l'étude préliminaire suffisamment documentée si elle permet d'établir, par exemple, qu'il sera avantageux d'utiliser une pièce de plastique plutôt qu'une pièce de métal, ou encore de joindre les composantes par soudure plutôt que par un ensemble de vis. Il ne faut pas chercher ici à dépasser ce degré de précision. On veillera à pousser plus loin l'étude à la toute fin du processus de design, autrement dit à l'étape du raffinement de la solution (voir chap. 4, fig. 4.2). Incidemment, cette étape n'est pas au programme du cours 2.190.

### 8.1.4 Plan de l'étude préliminaire

Pour éviter les pertes de temps, pour vous guider dans votre travail et faciliter le consensus entre les membres de l'équipe, nous vous suggérons de démarrer en préparant un plan d'étude préliminaire adapté à votre problème. Vous devez donc le rédiger en vous basant sur la formulation de votre problème. Le plan servira aussi à répartir le travail entre les membres de l'équipe.

Rappelez-vous que, pour chaque solution prometteuse, votre plan doit prévoir:

- l'élaboration suffisante de la solution avancée (croquis, caractéristiques et mode de fonctionnement);
- les analyses, les études ou les calculs permettant une appréciation globale des aspects fonctionnement (dimensions, matériaux, procédés de fabrication, etc.), coût et temps.

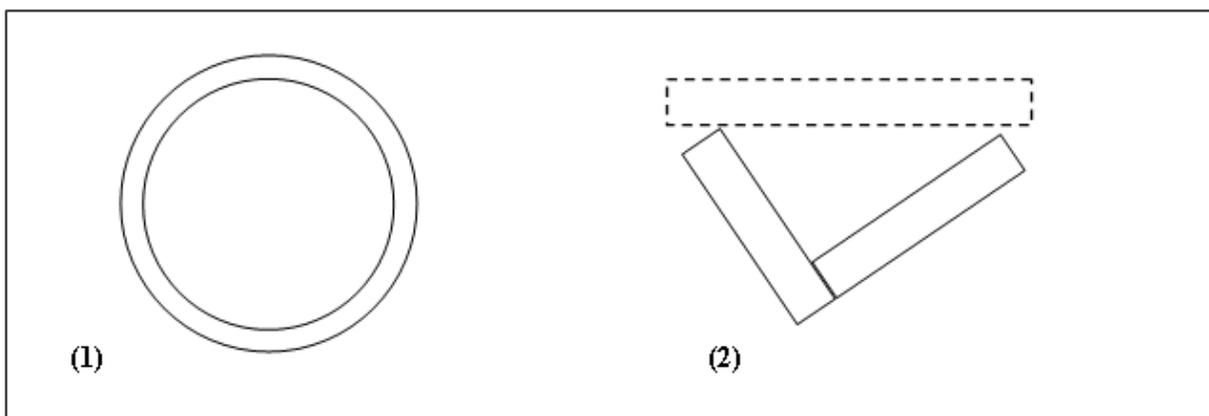
Lors des analyses, n'oubliez pas de formuler des hypothèses claires et de les justifier au besoin. Prenez également soin d'indiquer dans votre étude vos sources de références de manière à faciliter les consultations et les vérifications ultérieures.

### 8.1.5 Exemple d'une étude préliminaire simple

Projet: système d'approvisionnement en eau

Dans ce projet, il nous a fallu analyser de quelle façon le propriétaire d'un chalet pourrait transporter de l'eau depuis une source située à flanc de montagne jusque chez lui. Le propriétaire souhaite remplir par gravité un réservoir de 50 gallons impériaux ( \_ 230 litres) situé à 100 pieds ( \_ 30 mètres) de la source. Le problème, encore une fois: transporter cette eau.

Après l'étude de praticabilité, nous avons retenu les deux solutions montrées à la figure 8.1: un tuyau fermé (1) et un dalot en forme de V (2) qu'on décidera peut-être de couvrir pour éviter la contamination de l'eau.



**Figure 8.1** Solutions retenues lors de l'étude de praticabilité d'un système d'approvisionnement en eau.

Nous avons donc deux solutions raisonnables pour faire le travail. À ce stade-ci, ce n'est plus

qu'une question de facilité d'installation et de coût de fabrication. Notons que les coûts de main-d'oeuvre sont nuls, car le propriétaire compte faire les travaux lui-même.

## PLAN DE L'ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

- a) Élaboration des solutions (1) et (2)
- b) Hypothèses communes aux solutions (1) et (2)
- c) Évaluation de la section d'écoulement
- d) Évaluation de la grosseur du tuyau et du dalot
- e) Évaluation du coût de fabrication

*Remarque: Dans notre exemple, les grandeurs sont exprimées en unités du système impérial, puisqu'au Canada, les matériaux dont il sera question sont encore fabriqués et commercialisés sur la base de ce système.*

Après avoir adopté le plan précédent, nous passons à l'étude préliminaire proprement dite.

### a) Élaboration des solutions (1) et (2)

#### (1) Tuyau

- illustré dans la figure 8.1
- peut être enfoui ou posé sur le sol
- matériaux possibles: acier, cuivre, plastique

#### (2) Dalot

- avec couvercle pour éviter la contamination
- peut être attaché au tronc des arbres
- matériau: planches

### b) Hypothèses communes aux solutions (1) et (2)

- Si nous voulons remplir le réservoir de 50 gallons ( 230 litres) en 15 minutes, nous avons besoin d'un débit d'environ 4 gal/min ( 16 l/min).
- Une vitesse d'écoulement de 2 pi/s ( 0,6 m/s) nous semble réaliste.

### c) Évaluation de la section d'écoulement

Nous savons que le débit  $Q$  est égal au produit de la section d'écoulement  $A$  par la vitesse d'écoulement  $V$ . Ainsi:

$$A = Q/V \text{ ou } Q = 4 \text{ gal/min}$$

$$V = 2 \text{ pi/s} = 1440 \text{ po/min}$$

$$A = \frac{4 \text{ gal}}{\text{min}} \times \frac{227 \text{ po}^3}{\text{gal}} \times \frac{\text{min}}{1440 \text{ po}} = 0,63 \text{ po}^2$$

d) Évaluation de la grosseur du tuyau

Nous utilisons l'expression de la surface d'un cercle, soit:

$$A = \pi * D^2/4$$

et

$$D = (4A/\pi)^{1/2} = (4 \times 0,63/\pi)^{1/2} = 0,9 \text{ po}$$

Les diamètres standard de tuyau sont de 1/2, 3/4, 1, 1 1/4, 1 1/2 po et plus: nous choisissons donc le diamètre de 1 po.

Évaluation de la grosseur du dalot

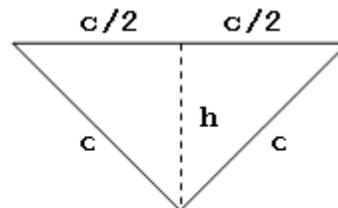
En supposant que le dalot aura la forme d'un triangle équilatéral inversé, nous pouvons évaluer la dimension du côté c du triangle comme suit:

$$A = c \times h / 2$$

$$A = \frac{c^2}{4} \sqrt{3}$$

$$c = (4A / \sqrt{3})^{1/2}$$

$$c = (4 \times 0,63 / \sqrt{3})^{1/2} = 1,2 \text{ po}$$



$$h^2 = c^2 - c^2/4$$

$$h = (c/2) \sqrt{3}$$

Comme les planches du V seront clouées à la base, on perdra l'épaisseur de la planche (voir fig. 8.1 (2)). Il faut donc choisir des planches de 1 po d'épaisseur sur 3 po de largeur. En fait, des planches blanchies ayant cette dimension nominale auront une dimension réelle de 3/4 po d'épaisseur sur 2 1/2 po de largeur. Cela semble raisonnable pour assurer la section désirée.

### e) Évaluation du coût de fabrication

Comme la main-d'oeuvre ne coûtera rien dans ce projet, il ne nous reste qu'à réaliser une première approximation du coût d'achat des matériaux (tuyaux et planches).

Imaginons qu'on ait obtenu les prix suivants:

planche de pin de 3 po x 1 po	= 0,60 \$/pi
tuyau d'acier galvanisé 1 po $\varphi$	= 0,80 \$/pi
tuyau de cuivre de type M 1 po $\varphi$	= 1,10 \$/pi
tuyau de plastique noir flexible (Carlou de 1 po $\varphi$ , 75 lb/po <sup>2</sup> )	= 0,25 \$/pi

Le dalot de bois reviendrait à 1,80 \$/pi en incluant la planche de protection, tandis que le tuyau reviendrait au maximum à 1,10 \$/pi et au minimum à 0,25 \$/pi.

Une étude plus poussée demanderait l'évaluation de la quantité de clous et de fil de fer nécessaire pour l'installation du dalot. On pourrait aussi envisager de calculer la longueur réelle du tuyau de plastique en relation avec le profil du terrain. Une telle étude pourrait s'avérer nécessaire si l'on se trouvait devant deux ou plusieurs solutions équivalentes et qu'il fallait se donner un moyen de les départager. D'après le plan proposé, l'étude préliminaire devrait s'arrêter ici.

Dans notre cas, le choix est clair et la prise de décision est facile: le tuyau de plastique est la solution la plus économique; de plus, il ne comporte pas de joint et est très facile à installer.

Cet exemple simple permet de constater comment on peut, en se basant sur un raisonnement logique et des hypothèses réalistes, arriver à des évaluations concluantes.

## **8.2 PRISE DE DÉCISION**

L'étude préliminaire terminée, il faut prendre une décision que l'on soumettra au client.

Avoir à prendre une décision est une situation stressante pour la majorité des gens. Et la manoeuvre reste délicate même pour un ingénieur qui a l'avantage de pouvoir s'appuyer sur des évaluations objectives. Il faut être vigilant et prendre en considération toutes les informations pertinentes avant de passer à la décision. Il est important de se poser les bonnes questions pour bien cerner le problème. L'avis des experts devrait être respecté, mais une confiance aveugle dans l'opinion d'un expert risque aussi de conduire à des difficultés.

Le choix d'une solution définitive ne devrait être envisagé que lorsque tous les éléments d'analyse ont été exploités dans l'étude préliminaire. C'est une grave erreur de confronter des solutions quand l'une d'entre elles n'a pas été examinée avec la même profondeur que les autres; cela fausserait au départ les règles du jeu.

La décision que vous allez prendre doit être objective; vos critères d'évaluation vont vous aider à faire ce choix objectif. Plutôt que de prendre une décision globale, vous allez diviser la décision

principale en une série de décisions secondaires. Vous emploierez pour ce faire une matrice de décision.

### 8.2.1 Matrice de décision

La matrice de décision est un outil simple et bien adapté aux décisions d'ordre technique; elle est toute désignée pour ceux qui s'initient à la méthode de conception et de réalisation des projets d'ingénierie. La matrice tient compte, sans en négliger aucune, de toutes les décisions secondaires à prendre, puisqu'elle intègre tous les critères d'évaluation détaillés établis lors de la formulation du problème. Comme nous allons le voir, une valeur numérique est attribuée à chacun de ces critères.

Nous utiliserons ici la démarche préconisée par Sydney F. Love. Elle consiste à évaluer très précisément dans quelle mesure chaque solution considérée satisfait à chaque critère d'évaluation détaillé, ceci en utilisant une base commune: le barème. Selon Love, le barème (élaboré au chap. 5) doit être exprimé en pourcentage de satisfaction pour chaque critère. De plus, comme tous les critères ou objectifs ne sont pas égaux, il est nécessaire d'utiliser un facteur de pondération représentatif pour chacun. La somme des facteurs de pondération devrait être égale à 1,0. Pour cela, il suffit de diviser par 100 tous les pourcentages des critères d'évaluation élaborés lors de la formulation du problème.

Examinons la matrice représentée au tableau 8.2. Sur les deux premières lignes, nous indiquons les critères d'évaluation détaillés avec leur pondération respective; la colonne de gauche identifie chacune des solutions prometteuses ayant fait l'objet d'une étude préliminaire.

Les symboles du tableau 8.2 sont définis comme suit, pour le critère «j» et la solution «i»:

$P_j$  = pondération du critère «j»

$S_{ij}$  = pourcentage de satisfaction selon le barème du critère «j» pour la solution «i»

$\sum_{j=1}^m P_j S_{ij}$  = total pondéré représentant le pourcentage global de satisfaction de la solution «i»

$m$  = nombre total des critères d'évaluation incluant les critères détaillés selon la formulation du problème.

Remplissez les éléments  $S_{ij}$  de la matrice, de préférence colonne par colonne, en utilisant les résultats ou les évaluations obtenus dans l'étude préliminaire. La valeur inscrite dans chaque case correspond au consensus de l'équipe qui prend les décisions.

Le total pondéré des résultats obtenus représente, pour chaque solution, le pourcentage global de satisfaction à l'ensemble des critères. Ce total est l'argument à considérer pour le choix final.

Il peut arriver que deux ou plusieurs solutions parmi les meilleures obtiennent des résultats trop rapprochés pour permettre de les départager. Dans une telle situation, il faut d'abord revoir l'étude

préliminaire afin d'approfondir certaines évaluations, en particulier celles reliées aux critères ayant des pondérations importantes, puis réviser les éléments du tableau. Si une certaine égalité persiste, vous avez probablement omis un critère ou un objectif important dans la formulation du problème. Cela signifie que vous devrez revenir en arrière et revoir le tout à partir du début en étant plus vigilant.

Quand vous aurez constitué votre propre matrice de décision, vous pourrez juger de la commodité de cet outil important. En effet, si vous parvenez à améliorer la façon dont une solution satisfait à un ou plusieurs de vos critères (ou objectifs), la matrice montrera immédiatement les conséquences de cette amélioration.

**Tableau 8.2** Tableau typique d'une matrice de décision

Critères d'évaluation détaillés	Crit. n° 1	Crit. n° 2	Crit. n° 3	.....	Crit. n° «j»	.....	Crit. n° «m»	Satisfaction globale aux critères (total pondéré en %)
Pondération ( $\sum P_i = 1,0$ )	$P_1$	$P_2$	$P_3$	.....	$P_j$	.....	$P_m$	
Solution 1	$S_{11}$	$S_{12}$	$S_{13}$	.....	$S_{1j}$	.....	$S_{1m}$	$\sum_{j=1}^m P_j S_{1j}$
Solution 2	$S_{21}$	$S_{22}$	$S_{23}$	.....	$S_{2j}$	.....	$S_{2m}$	$\sum_{j=1}^m P_j S_{2j}$
Solution «i»	$S_{i1}$	$S_{i2}$	$S_{i3}$	.....	$S_{ij}$	.....	$S_{im}$	$\sum_{j=1}^m P_j S_{ij}$
Solution «n»	$S_{n1}$	$S_{n2}$	$S_{n3}$	.....	$S_{nj}$	.....	$S_{nm}$	$\sum_{j=1}^m P_j S_{nj}$

### 8.2.2 Exemple d'une matrice de décision

Revenons au projet de brosse à dents électrique vu au chapitre 7 (tabl. 7.6). Tenons pour acquis que ce projet a franchi le cap de l'étude préliminaire. Après l'étude préliminaire et selon la démarche que nous venons d'exposer, on a constitué le tableau 8.3 avec les critères d'évaluation indiqués. Le but de notre exemple est de discuter les résultats obtenus.

La matrice de décision du tableau 8.3 montre que les solutions 1 et 2, qui obtiennent respectivement 71 % et 73 %, satisfont mieux aux critères (et donc aux objectifs) du projet que la solution 3, qui obtient 60 %. Cependant, l'écart entre les résultats de 1 et de 2 n'est pas assez grand pour bien départager les deux meilleures solutions.

Dans notre matrice actuelle, nous avons omis un critère important, d'ordre psychologique: le sentiment de sécurité. En effet, beaucoup de gens auraient peur d'utiliser le modèle de brosse de la solution 2 bien qu'il réponde aux normes ULC et ACNOR. Donc, si le critère sentiment de sécurité jouait dans la matrice de décision, il est évident que la solution 1 l'emporterait sur la solution 2. Vous constatez avec cet exemple qu'il est important d'avoir les bons critères pour parvenir à la meilleure solution, c'est-à-dire à la solution qui répondra adéquatement aux besoins du client et, dans ce cas-ci, aux besoins du marché.

**Tableau 8.3** Matrice de décision montrant les pourcentages globaux de satisfaction pour une brosse à dents électrique

Critères d'évaluation détaillés	Attrait du produit	Fonctions techn.	Prix de vente estimé	Coût pour satisfaire des besoins additionnels	Temps pour se rendre en production	Satisfaction globale aux critères (total pondéré en %)
Pondération (somme = 1,0)	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	
SOLUTION 1 Piles et chargeur intégré; brosse se déplace de bas en haut et latéralement	70 %	90 %	50 %	60 %	90 %	71 %
SOLUTION 2 Sur prise 110 V; brosse se déplace de bas en haut et latéralement	80 %	90 %	80 %	20 %	50 %	73 %
SOLUTION 3 Piles non rechargeables; brosse rotative comme celle des dentistes	40 %	50 %	100 %	100 %	40 %	60 %

## **CHAPITRE 9**

### **TRAVAIL EN ÉQUIPE EFFICACE**

#### 9.1 Répartition de l'énergie dans une bonne équipe de travail

9.1.1 Énergie de production

9.1.2 Énergie de solidarité

9.1.3 Énergie d'entretien

9.1.4 Énergie résiduelle

#### 9.2 Recommandations pour mieux travailler en équipe

##### 9.2.1 Démarrage de l'équipe

9.2.1.1 Premier contact

9.2.1.2 Comparaison des perceptions individuelles  
de la cible commune

9.2.1.3 Partage des rôles

##### 9.2.2 Participation dans l'équipe

9.2.2.1 Mobilité émetteur-récepteur

9.2.2.2 Participation positive

9.2.2.3 Partage du leadership

##### 9.2.3 Communication dans l'équipe

9.2.3.1 Manifestation d'attention

9.2.3.2 Partage des sentiments

9.2.3.3 Ouverture sur le groupe plutôt que  
sur un seul individu

Afin de répondre aux exigences de plus en plus grandes d'un monde où les projets deviennent de plus en plus complexes et nécessitent l'apport ponctuel de nombreux spécialistes, l'industrie, et finalement la société, se sont mises à valoriser le travail en équipe. Le monde de l'ingénierie n'échappe pas à cette tendance. C'est pourquoi vous devez, en tant que futur ingénieur, apprendre à travailler en équipe.

Comme ingénieur, vous vous retrouverez quotidiennement en situation de travail d'équipe. Plus encore, vous serez probablement appelé à diriger des équipes. Si vous savez comment vous y prendre, les équipes dont vous ferez partie ou que vous superviserez verront leur capacité de production s'accroître en même temps que grandiront, chez les membres, la satisfaction et le degré d'engagement personnel. Si vous ne savez pas travailler en équipe, attendez-vous à éprouver et à faire vivre beaucoup de frustrations!

Dans ce chapitre, nous exposerons les principes qui doivent régir un travail d'équipe que l'on souhaite productif, satisfaisant et harmonieux. La deuxième partie du chapitre est sous forme de recommandations directement applicables à votre situation d'équipe dans le cours 2.190.

## **9.1 RÉPARTITION DE L'ÉNERGIE DANS UNE BONNE ÉQUIPE DE TRAVAIL**

Une bonne équipe de travail est une équipe qui sait faire un usage judicieux de l'énergie totale disponible au sein du groupe. Ceci implique que l'équipe soit apte à transformer les énergies individuelles latentes en énergie de groupe.

Deux facteurs sont susceptibles de catalyser les énergies individuelles pour constituer une énergie de groupe: la perception et la valorisation d'une cible commune, et la création de relations interpersonnelles.

Le psychologue québécois Yves St-Arnaud nous montre, dans l'équation qui suit, comment l'énergie totale disponible dans un groupe doit se répartir pour assurer la vie et la production de l'équipe:

$$E_t = E_p + E_s + E_e + E_r$$

où

$E_t$  = énergie totale disponible

$E_p$  = énergie de production

$E_s$  = énergie de solidarité

$E_e$  = énergie d'entretien

$E_r$  = énergie résiduelle

L'énergie totale disponible ( $E_t$ ) recouvre donc quatre types d'énergie dont l'association est déterminante pour le bon fonctionnement de l'équipe. Nous nous arrêterons sur chacun des quatre types.

### **9.1.1 Énergie de production**

Une partie de  $E_t$  doit être consacrée à la production ( $E_p$ ), c'est-à-dire à l'atteinte d'une cible commune ou, si vous préférez, à la réalisation de la tâche à accomplir. L'énergie de production ( $E_p$ ) sera forte dans la mesure où les membres de l'équipe auront une perception claire et unanime de la tâche à accomplir. Plus les membres valoriseront ensemble l'atteinte de la cible commune, plus l'énergie de production du groupe sera forte. L'énergie de production vient spontanément dès que l'équipe perçoit et valorise la cible commune. Elle est efficace tant que des obstacles ne viennent pas la neutraliser momentanément.

### **9.1.2 Énergie de solidarité**

Une autre partie de  $E_t$  doit être orientée vers la solidarité du groupe ( $E_s$ ), c'est-à-dire vers la création de relations interpersonnelles fortes et confiantes. L'énergie de solidarité sera forte dans la mesure où les membres de l'équipe seront capables de se manifester de la sympathie, de la compréhension et du respect, malgré des différences de personnalité et des divergences de vues avouées. Toute personne a besoin d'aimer et d'être aimée. Si un ou plusieurs individus de l'équipe subissent ou font subir des frustrations d'ordre affectif, à cause d'un manque de respect par exemple, l'énergie de solidarité du groupe en souffrira. La satisfaction à communiquer harmonieusement et à établir des relations interpersonnelles gratifiantes produit de l'énergie affective. C'est la fusion des énergies affectives individuelles en énergie de groupe qui constitue l'énergie de solidarité.

### **9.1.3 Énergie d'entretien**

Une troisième partie de  $E_t$  doit être consacrée à l'entretien ( $E_e$ ) de conditions de travail favorables au sein de l'équipe. Malgré un fonctionnement harmonieux, il arrive fréquemment qu'un groupe rencontre des obstacles. Il doit alors convertir une partie de son énergie totale disponible en une énergie d'entretien propre à lever les obstacles qui entravent sa progression normale. Ces difficultés peuvent aussi bien concerner la tâche à accomplir par le groupe ( $E_p$ ) que le climat de travail ( $E_s$ ). Mais, attention, l'équipe risque d'étouffer si elle convertit trop de son énergie totale en énergie d'entretien: par le fait même, elle limitera la production et la communication dans le groupe. Une bonne équipe de travail n'est pas une équipe qui ne rencontre pas d'obstacles; c'est plutôt une équipe capable d'atténuer ou de dissiper les effets des obstacles nuisant à l'atteinte de la cible commune ( $E_p$ ) ou encore à la création des relations interpersonnelles ( $E_s$ ).

### **9.1.4 Énergie résiduelle**

Enfin, une bonne équipe de travail doit s'efforcer de limiter la quantité d'énergie résiduelle ( $E_r$ ) au sein du groupe. L'énergie résiduelle, c'est de l'énergie personnelle non transformée ou non investie dans le groupe. Bref, c'est de l'énergie non utilisée. Ainsi les équipiers qui refusent de s'engager, qui restent indifférents, qui taisent leur mécontentement ou un autre sentiment sont générateurs d'énergie résiduelle. Si l'énergie résiduelle est plus grande, dans un groupe, que la somme de l'énergie de production, de l'énergie de solidarité et de l'énergie d'entretien ( $E_r > E_p + E_s + E_e$ ), il y a peu de chances que l'équipe accomplisse sa tâche avec succès. À l'inverse, plus  $E_r$  est petit, plus les

chances de succès de l'équipe sont grandes.

En résumé une bonne équipe de travail doit:

- s'assurer que tous ses membres partagent et valorisent la même cible ( $E_p$ );
- veiller à maintenir un climat d'échanges interpersonnels harmonieux ( $E_s$ );
- s'efforcer de dissiper les obstacles qui entravent le fonctionnement de l'équipe ( $E_c$ );
- encourager chacun de ses membres à s'engager ( $E_r$ ).

## **9.2 RECOMMANDATIONS POUR MIEUX TRAVAILLER EN ÉQUIPE**

En tant qu'ingénieur, et même en tant qu'apprenti ingénieur, vous devez travailler en équipe. Chacune des équipes dont vous ferez partie sera en quelque sorte un «groupe à construire». En effet, dans chaque équipe, il vous faudra favoriser le développement d'énergies centrées sur la production, sur la solidarité et sur l'entretien du groupe, ceci en vous efforçant de maintenir l'énergie résiduelle à un niveau minimal.

Nous allons formuler, dans les lignes qui suivent, trois séries de recommandations propres à vous aider à:

- organiser le démarrage de votre équipe;
- stimuler la participation des équipiers;
- favoriser la communication au sein du groupe.

Nous verrons comment vous devriez procéder pour que l'équipe perçoive clairement la cible commune et comment vous pourrez faire en sorte que les équipiers valorisent cette cible. Nous verrons aussi comment créer et renforcer les relations interpersonnelles au sein de votre équipe.

### **9.2.1 Démarrage de l'équipe**

#### ***9.2.1.1 Premier contact***

Un groupe destiné à devenir une équipe de travail doit, dès sa naissance, se consacrer à certaines pratiques d'organisation propres à faciliter sa vie et sa croissance. La première tâche du groupe, c'est de permettre à ses membres d'établir le contact. Dès le départ, l'équipe doit mobiliser un peu d'énergie d'entretien afin de s'assurer que tous ses membres se connaissent. Dans certains cas, de simples présentations suffiront. Les équipiers en profiteront pour échanger leur adresse, leur numéro de téléphone, pour se communiquer leurs heures de disponibilité, etc. Dans d'autres cas, il sera peut-être utile que chacun des membres prenne la peine d'informer ses partenaires sur les ressources qu'il pense pouvoir apporter au groupe. En fait, une opération contact bien menée contribue à instaurer très tôt dans l'équipe un véritable esprit de solidarité.

### ***9.2.1.2 Comparaison des perceptions individuelles de la cible commune***

Au moment où une équipe de travail démarre, il est important de vérifier si chacun des membres du groupe tente bien d'atteindre la même cible. La plupart des gens engagés dans une équipe croient cette vérification inutile et la voient comme une perte de temps. Ils sont généralement convaincus que les autres membres de l'équipe ont la même perception qu'eux de la cible à atteindre. Or l'expérience prouve souvent le contraire et l'on observe fréquemment des variations étonnantes dans les perceptions individuelles de la cible commune. Pour éviter un malencontreux éparpillement de l'énergie de production de l'équipe, posez donc au groupe, chaque fois qu'il se réunit, l'une ou l'autre des questions suivantes, suggérées par St-Arnaud:

- Est-ce que chacun a une idée claire de ce qui nous réunit aujourd'hui?
- Quelqu'un pourrait-il formuler l'objectif de la rencontre?
- Est-ce que chacun voit la nécessité de la réunion d'aujourd'hui?

### ***9.2.1.3 Partage des rôles***

Notre dernière recommandation ayant trait au démarrage d'une équipe concerne le principe du partage des rôles.

Pour qu'une équipe fonctionne bien, il importe qu'elle définisse clairement les tâches qu'elle confie à chacun de ses membres. On évitera ainsi beaucoup de confusion. Par exemple, dans les activités de l'équipe, il faut déterminer qui se chargera de l'animation du groupe pour l'aider à s'organiser et à se sortir de situations difficiles. Il faut déterminer aussi qui sera le secrétaire ou le rapporteur. Ces rôles doivent être compris et acceptés par chacun des membres de l'équipe, ceci afin d'éviter l'improvisation et de favoriser une organisation cohérente, de même qu'un développement sûr et harmonieux.

## **9.2.2 Participation dans l'équipe**

### ***9.2.2.1 Mobilité émetteur-récepteur***

Dans une équipe, la participation des membres varie d'une minute à l'autre. Pendant que certains adopteront une position très active d'émetteurs de messages, leurs vis-à-vis auront l'attitude plus réservée de récepteurs. Quelques instants plus tard, la situation pourra se renverser.

Tous les individus d'une équipe ne peuvent jouer en même temps le rôle actif d'émetteur. Il est donc normal qu'à certains moments, des individus soient en position d'émetteurs tandis que d'autres assument les fonctions de récepteurs, c'est-à-dire se montrent attentifs et disposés à l'écoute. Par contre, ce qui n'est pas normal, c'est que les mêmes individus soient émetteurs plus souvent qu'à

leur tour, et que les autres soient confinés dans le rôle de récepteurs. C'est pourquoi nous vous recommandons de veiller à la mobilité des rôles dans l'équipe. Autrement dit, faites en sorte que chacun des membres puisse assumer en alternance le rôle d'émetteur et le rôle de récepteur.

Dans une équipe, il ne faut pas laisser constamment l'activité verbale ou physique aux mêmes individus. Chaque membre du groupe doit pouvoir contribuer à l'atteinte de la cible commune tantôt par ses opinions, tantôt par sa capacité d'écoute. Qu'un membre soit figé dans un seul rôle est un handicap pour l'équipe. L'énergie de production et l'énergie de solidarité de l'équipe dépend dans une bonne mesure de la faculté qu'ont les équipiers de passer du rôle de récepteur au rôle d'émetteur, et vice-versa.

Si un individu sait être versatile, il ne risque pas, par exemple, de monopoliser l'attention du groupe parce qu'il se place toujours en position d'émetteur; il ne risque pas non plus de tomber dans l'inactivité parce qu'il s'en tient exclusivement à la position de récepteur. C'est sa souplesse qui enrichira sa participation aux travaux de l'équipe et qui contribuera à leur progression.

### ***9.2.2.2 Participation positive***

Outre les rôles fonctionnels (et donc relativement neutres) d'émetteur et de récepteur, il existe tout un répertoire de rôles psychologiques dans une équipe. Il y a des rôles positifs et des rôles négatifs. La personnalité de chaque individu, les tâches en cours, l'état émotif de l'équipe sont autant de facteurs qui influencent la participation et donc le rôle que chaque équipier adoptera consciemment ou non.

Le rôle de leader est un rôle positif; les propos et les attitudes du leader influencent les idées et le climat du groupe de travail. Le pacificateur calme les esprits et réduit les tensions quand les choses vont mal. L'orienteur écourte les digressions, il rappelle l'objectif commun et incite à un travail soutenu et systématique. Le clarificateur pose souvent les questions que personne n'ose formuler de peur d'être jugé. Quant au motivateur, c'est le type de personne capable de montrer à chacun combien son apport est précieux. Grâce à lui, le climat d'un groupe est au beau fixe.

Tous ces rôles relèvent d'une participation positive. Chacun contribue aux deux facteurs les plus importants de la vie d'un groupe: la perception et la valorisation d'une cible commune, et la création de relations interpersonnelles.

Les rôles négatifs sont ceux qui, dans une équipe, peuvent empêcher l'utilisation optimale de l'énergie totale disponible. On peut penser au critiqueur qui conteste tout ce qui se dit et se fait; il y a aussi l'inhibiteur qui ralentit le groupe en prenant constamment des positions de principe ou en affichant des attitudes strictes et rigides. Le pessimiste, quant à lui, croit que le problème ne pourra pas être résolu, qu'on va manquer de temps, de compétence, etc. L'indifférent et le silencieux sont là, mais on ne les entend pas. Le prétentieux surestime ses capacités et s'attribue souvent le mérite des solutions proposées par des camarades. Enfin, le manipulateur poursuit des objectifs secrets au détriment de l'objectif commun du groupe. C'est souvent un flatteur qui utilisera la démagogie pour amener les autres à ses idées. Il emploiera la ruse, l'humour, le chantage... C'est une personne

habile et souvent très intelligente.

Tous ces rôles négatifs empêchent l'écllosion d'une véritable énergie de production et de solidarité au sein du groupe. Ils grossissent l'énergie résiduelle et bloquent l'énergie d'entretien.

Il va de soi que la participation optimale des membres d'une équipe est celle qui est positive, c'est-à-dire celle qui aide l'équipe à s'approcher de son but et non celle qui fait obstacle à cette quête commune.

### ***9.2.2.3 Partage du leadership***

On appelle communément meneurs naturels ou leaders les personnes qui exercent de fortes influences dans un groupe. Cette façon de dire laisse croire que le leadership appartient, dans une équipe, à un être plus fort, à une personne supérieure aux autres; nous croyons, pour notre part, que le leadership peut être une expérience non pas individuelle mais collective.

Plutôt que de parler de leader-individu, nous préférons concevoir le leadership comme une force d'attraction que se partagent et s'échangent les membres d'une équipe: cette force d'attraction se concrétise dans tous les comportements des individus du groupe qui ont pour effet de créer des liens d'affinité. Le soi-disant meneur naturel n'est alors qu'un membre comme les autres, mais dont la force d'attraction peut être plus grande, sous certains aspects, que celle de ses pairs. Il est évident que le leadership assumé par l'ensemble des membres de l'équipe peut être aussi bien positif que négatif. Il sera positif s'il favorise le rendement optimal du groupe et négatif s'il y fait obstacle.

Vu de la sorte, un leadership efficace n'est pas le propre d'un seul individu; un leadership est efficace lorsqu'il intègre la diversité de la force d'attraction que peut exercer chaque membre sur ses pairs.

## **9.2.3 Communication dans l'équipe**

### ***9.2.3.1 Manifestation d'attention***

Notre première recommandation sur la façon d'établir une communication optimale au sein de l'équipe pourrait s'exprimer comme suit: manifestez de l'attention aux personnes réunies et reconnaissez les ressources que chacune apporte au groupe.

Chacun des membres d'une équipe éprouve naturellement le besoin d'être estimé et bien considéré. Si ce besoin primaire de sécurité personnelle n'est pas comblé, il lui sera impossible de participer à l'aise, d'actualiser ses possibilités, bref de communiquer. L'équipe doit répondre à ces nécessités affectives d'abord à travers l'opération contact dont nous avons déjà parlé: elle donnera ainsi aux équipiers l'occasion d'accueillir leurs nouveaux partenaires et d'être accueillis par eux. Mais la sollicitude et l'attention aux autres doit aussi faire partie du quotidien de l'équipe pour en assurer le développement harmonieux et entretenir la solidarité des membres. Les équipiers peuvent manifester de l'attention et de la sympathie à leurs collègues de bien des façons: en accueillant chaleureusement chacun d'entre eux, en exprimant leur satisfaction devant le travail de quelqu'un,

en se montrant intéressés au point de vue d'autrui, en s'informant des sentiments d'un collègue, etc.

### ***9.2.3.2 Partage des sentiments***

Si vos sentiments et vos émotions à l'égard du groupe vous amènent à vous en désolidariser, parlez-en à vos partenaires.

Toutes sortes de circonstances dans la vie d'un groupe peuvent vous amener à une situation de désaccord. Faut-il taire ou exprimer ce désaccord? Jusqu'où faut-il l'exprimer? Dans une équipe qui poursuit un objectif commun, il est utile et même nécessaire que chaque membre puisse exprimer un sentiment qui l'empêche de passer librement du rôle d'émetteur au rôle de récepteur, ou vice-versa. Il s'agit là d'une dépense normale d'énergie d'entretien, destinée à aider la personne concernée à restaurer sa solidarité avec le groupe. Toutefois, l'expression de tels sentiments ne devrait pas se faire sur le ton d'un procès ou d'une protestation d'innocence.

### ***9.2.3.3 Ouverture sur le groupe plutôt que sur un seul individu***

Lorsque vous prenez la parole, adressez-vous au groupe et non pas à un seul individu.

Sans que vous en ayez conscience, il se peut que vos interventions, dans votre équipe, soient régulièrement dirigées vers une seule personne, l'animateur par exemple. Il se peut que les autres membres de l'équipe fassent de même. Si tel est votre comportement, vos interventions cristallisent de l'énergie résiduelle chez tous les autres membres à qui vous ne vous adressez pas. Sans le savoir, vous ébranlez la solidarité et la cohésion du groupe, car vous négligez les ressources des membres que vous ne considérez pas.

C'est pourquoi chaque équipier doit s'entraîner à s'adresser à l'ensemble du groupe lorsqu'il intervient et non pas exclusivement à l'animateur ou encore à un seul collègue. Cette façon de faire élargira la participation à tout moment et empêchera que seulement quelques membres interagissent.

## **CHAPITRE 10**

### **TENUE DE RÉUNIONS EFFICACES**

#### 10.1 Préparation d'une réunion

##### 10.1.1 Objectif de la réunion

##### 10.1.2 Documents à préparer

###### 10.1.2.1 Avis de convocation de la réunion

###### 10.1.2.2 Ordre du jour

#### 10.2 Conduite d'une réunion

##### 10.2.1 Démarrage de la réunion

##### 10.2.2 Accueil des participants

##### 10.2.3 Explication de l'objectif de la réunion

##### 10.2.4 Détermination des modalités et des procédures de fonctionnement

##### 10.2.5 Répartition des tâches

#### 10.3 Clôture d'une réunion

##### 10.3.1 Résumé du travail accompli

##### 10.3.2 Évaluation du fonctionnement du groupe

##### 10.3.3 Documents à rédiger

###### 10.3.3.1 Compte rendu

###### 10.3.3.2 Procès-verbal

Les réunions de travail sont tellement bien intégrées à nos vies personnelles et professionnelles qu'elles font partie de notre routine. On fait des réunions à tout propos. Mais peut-être avez-vous eu l'occasion de constater que beaucoup de gens convoquent des réunions sans savoir les conduire. Il s'ensuit inévitablement des frustrations, une impression de perte de temps et subséquemment une baisse de l'engagement des membres dans le groupe de travail qui tient les réunions.

Que faut-il faire pour avoir des réunions efficaces? Comment peut-on arriver à obtenir en réunion des résultats concrets et rapides sans pour autant manipuler les participants? Nous allons tenter ici de répondre à ces questions. Nous n'avons pas la prétention d'affirmer qu'après la lecture de ce chapitre toutes vos réunions se dérouleront sans accroc; malheureusement, les relations interpersonnelles sont tellement complexes et imprévisibles que les réunions suscitent toujours des difficultés. Cependant, après avoir pris connaissance des pages qui suivent, vous serez probablement plus exigeant et plus critique face au fonctionnement des réunions auxquelles vous participerez; de ce fait, vous deviendrez plus habile dans l'art de tenir une bonne réunion.

## **10.1 PRÉPARATION D'UNE RÉUNION**

Dire qu'une réunion doit être préparée semble une évidence; pourtant, beaucoup de personnes ne prennent pas ce soin.

La nature humaine est ainsi faite que l'on croit toujours pouvoir s'en sortir en improvisant, encomposant avec les circonstances du moment. Hélas, en matière de réunion, l'improvisation n'est pas la mère de l'efficacité. Voici donc quelques suggestions pour vous aider à préparer vos propres réunions de travail.

### **10.1.1 Objectif de la réunion**

Si vous convoquez une réunion, votre première préoccupation devrait être de vous demander pourquoi faire?

De façon générale, dans le monde de l'ingénierie, on convoque une réunion pour l'un ou l'autre des motifs suivants:

- informer,
- échanger des informations,
- mettre d'accord deux ou plusieurs parties,
- produire des idées,
- prendre des décisions.

Dans le premier cas, où il s'agit d'informer, c'est l'instigateur de la réunion qui transmet aux participants des informations. Généralement, une période de questions suit l'exposé, de façon à donner des renseignements complémentaires aux participants. Ce genre de réunion est très formel et ne correspond probablement pas à vos préoccupations ni à vos besoins actuels. Il est cependant fréquent chez les ingénieurs.

Le second type de réunion sert à échanger des informations. Vous pratiquez déjà et pratiquerez

abondamment ce genre de réunions en exerçant votre profession d'ingénieur. Il s'agit de rencontres où les participants, par exemple, s'informent mutuellement de l'évolution d'un projet, des conséquences d'un retard ou d'un coût imprévu, etc.

Le troisième type de réunion sert à mettre d'accord deux ou plusieurs parties en présence. Ce genre de réunion est également très fréquent dans le monde de l'ingénierie; l'objectif de la réunion est alors de parvenir à une entente ou à une solution devant mettre fin à un désaccord ou à un conflit.

Le quatrième type de réunion que nous avons identifié rassemble des personnes qui ont pour seul objectif de produire des idées relativement à un projet donné. Curieusement, dans le monde de l'ingénierie, on pratique peu ce genre de réunion et quand on le fait, on se contente du tour de table traditionnel, alors qu'essentiellement ces rencontres ne peuvent ni ne doivent se tenir de cette manière. Pour qu'elles soient productives ou créatives, on doit y utiliser de façon systématique une technique de créativité (le brainstorming, la synectique, l'approche analogique, par exemple), sans déroger aux exigences de cette technique. Lorsque l'on bloque sur un problème, que l'impasse nous guette, ce type de réunion peut s'avérer des plus efficaces parce qu'il permet d'envisager le problème initial sous des angles nouveaux. Bien conduites, ces réunions produisent généralement des résultats étonnants.

Enfin, les réunions que l'on convoque quand on veut prendre des décisions constituent la cinquième catégorie de notre liste. Ce type de réunion fait partie de la routine de la vie d'un ingénieur. Quand les critères de décision sont objectifs, l'animation d'une telle réunion ne pose généralement pas de problème; cependant, quand les enjeux personnels, professionnels, idéologiques, financiers ou autres entrent en ligne de compte, la tâche est tout autre.

Les cinq types de réunion que nous venons d'évoquer existent rarement à l'état pur. La réalité quotidienne amène plutôt à combiner, dans une même réunion, plusieurs objectifs: informer, consulter, prendre des décisions, etc. C'est pourquoi la typologie que nous avons présentée n'a pas

d'importance en soi; ce qui compte, c'est que tous les participants sachent clairement, à chaque étape d'une réunion, ce qu'on attend d'eux: "Veut-on simplement m'informer? Est-ce qu'on s'attend à ce que je fasse part de l'avancement de mes travaux? Doit-on discuter aujourd'hui des deux solutions proposées la semaine dernière? Faut-il prendre une décision? Avons-nous un poids dans la décision ou sommes-nous seulement consultés?"

Un manque de clarté dans les objectifs de la réunion et dans les résultats escomptés peut créer de faux espoirs, engendrer des frustrations et décourager la bonne volonté des participants. Et ceci a malheureusement les conséquences que l'on peut deviner.

### **10.1.2 Documents à préparer**

Quel que soit le type de réunion que l'on tienne, un certain niveau de formalisme est essentiel soit pour convoquer les participants, soit pour leur expliquer l'objet de la réunion, soit encore pour leur préciser à quel titre leur participation est requise: pour cela, on préparera des documents écrits. Les documents classiques qui servent à la préparation d'une réunion sont

- l'avis de convocation,
- l'ordre du jour.

### ***10.1.2.1 Avis de convocation de la réunion***

L'avis de convocation d'une réunion prend la forme d'une lettre ou d'une note. On y trouve généralement les informations suivantes:

1. ville, date et année de convocation;
2. mention de la nature du document (titre);
3. formule d'appel désignant le destinataire;
4. court texte donnant les coordonnées de la réunion (numéro de la réunion, sujet, objectif, endroit, date et heure d'ouverture et de clôture, consignes de préparation préalable, s'il y a lieu);
5. ordre du jour proposé et demande de feedback;
6. formule de salutation d'usage;
7. titre et signature (ou vice-versa, si le signataire est le seul à porter ce titre), suivis du nom de la personne convoquant la réunion, de son adresse et de son numéro de téléphone;
8. liste des autres personnes convoquées et qui recevront une "copie conforme" (c.c.) de la convocation;
9. mention des pièces jointes (p.j.), si c'est requis.

La figure 10.1 montre un exemple d'avis de convocation rédigé sous forme de lettre. Les chiffres renvoient aux rubriques que nous venons d'identifier.

### ***10.1.2.2 Ordre du jour***

Comme vous le constatez dans l'exemple donné à la figure 10.1, l'ordre du jour fait déjà partie de la convocation écrite de la réunion. Toutefois, on ne convoque pas toujours des réunions par écrit. Dès lors, le seul document que l'on remettra aux participants sera l'ordre du jour. n devrait généralement contenir les éléments suivants:

1. ville, date, année et endroit où se tient la réunion;
2. titre du document ("ordre du jour");
3. numéro de la réunion et de l'organisme concerné;
4. sujet de la réunion;
5. heure d'ouverture et heure de clôture;
6. objectifs;
7. liste des points à discuter.

Dans la liste des points à discuter (voir n° 7), a est d'usage d'inclure, avant les sujets de la réunion proprement dits, les éléments suivants:

- ouverture de la réunion,
- lecture et adoption de l'ordre du jour,
- lecture et approbation du procès-verbal ou du compte rendu de la dernière réunion.

Souvent, on verra aussi dans l'ordre du jour une rubrique finale intitulée “questions diverses”.

Les

participants peuvent faire inscrire sous cette rubrique un sujet qui n'apparaissait pas dans le document initial.

**École Polytechnique de Montréal**

Montréal, le 8 juin 1990 (1)

**CONVOCATION (2)**

Madame, (3)  
Monsieur,

Nous vous convoquons par la présente à la deuxième réunion relative à la préparation du colloque sur l'informatisation de l'enseignement, prévu pour le mois d'août 1991. (4)

Cette réunion aura lieu à la salle B-524 de l'École Polytechnique de Montréal, le mercredi 20 juin 1990, de 9 h à 12 h. Nous ferons le point sur l'avancement des travaux.

Nous vous proposons l'ordre du jour suivant et vous invitons à le compléter, si vous le jugez nécessaire:

1. Ouverture de la réunion; (5)
2. Lecture et adoption de l'ordre du jour;
3. Lecture et approbation du procès-verbal de la réunion du 21 mai 1990;
4. Rapport verbal de l'avancement des travaux du comité de coordination;
5. Rapport verbal de l'avancement des travaux du comité des services (réservations, salles, repas);
6. Révision du programme de travail et calendrier final;
7. Questions diverses.

Veuillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos sentiments distingués, (6)

**Le secrétaire (7)**



**Louis Régnier**  
**École Polytechnique de Montréal**  
**CP. 6079, Succursale A**  
**Montréal (Québec)**  
**H3C 3A7**

c.c. M<sup>me</sup> Marie Bélanger (8)  
Monique Durand  
MM. Youssef Abram  
Vassili Carcu

p.j. Procès-verbal de la réunion du 21 mai 1990 (9)

**Figure 10.1** Exemple d'avis de convocation d'une réunion.

## **10.2 CONDUITE D'UNE RÉUNION**

### **10.2.1 Démarrage de la réunion**

L'heure de la réunion est arrivée et la plupart des participants sont là. Deux personnes manquent encore à l'appel. Faut-il les attendre? Combien de temps? Et si elles ne venaient pas? Allez-vous retarder tout le groupe pour ces seuls retardataires? La réponse est non. Il faut respecter la ponctualité et l'engagement des personnes qui se sont présentées à l'heure et démarrer sans retard la réunion planifiée. Ce serait une bavure de ne pas mettre en marche la réunion à l'heure annoncée, quitte à ce que le groupe décide lui-même, dans les minutes qui suivent, de suspendre le travail jusqu'à l'arrivée d'un participant dont la présence serait jugée essentielle au bon déroulement de la rencontre. Une telle décision serait alors considérée comme une initiative du groupe lui-même et non pas comme la conséquence déplorable de la mollesse, du manque d'organisation ou de méthode de l'animateur.

### **10.2.2 Accueil des participants**

Admettons que tous les participants soient présents. Se connaissent-ils tous? Ont-ils l'air à l'aise? Vont-ils pouvoir s'exprimer franchement, sans crainte?

Dans toute réunion, il faut au départ briser la glace ou, selon le cas, permettre aux gens de renouer des liens. Dans un groupe où les personnes ne se connaissent pas, les présentations sont d'usage. On sait ainsi à qui l'on a affaire.

Lorsque les participants se connaissent, les présentations sont évidemment inutiles; les échanges amicaux constituent alors une bonne forme de réchauffement, susceptible de créer rapidement un climat propice à la discussion.

Ces brefs échanges en début de réunion se traduiront souvent ultérieurement par un accroissement

de l'efficacité, accroissement dû à la connivence et à la confiance mutuelle suscitées ou ravivées entre les membres de l'équipe.

### **10.2.3 Explication de l'objectif de la réunion**

La réunion démarre à l'heure comme prévu et les participants ont déjà eu quelques brefs échanges amicaux. Mais chacun sait-il précisément de quoi on va parler et ce qu'on attend de lui? L'objectif de la réunion est-il évident pour tous? Probablement pas. Ceci même si tout le monde a lu la convocation et l'ordre du jour. C'est pourquoi il importe, en commençant, d'énoncer, d'afficher et d'expliquer les objectifs de la réunion. L'affichage des objectifs permettra à chacun, durant la rencontre, de constater la pertinence des propos énoncés et de mesurer à la fin les écarts entre le travail accompli et le travail escompté.

La typologie des objectifs de réunion présentée au paragraphe 10.1.1 peut certainement vous aider

à préciser vos propres objectifs.

Après le rappel des objectifs, il importe de vérifier si le groupe en voit l'utilité et la pertinence. À

cette étape, on peut faire ressortir les conséquences pratiques des objectifs proposés pour l'ensemble des participants, ou alors en signaler l'impact pour un individu ou un service particulier. Une fois que les objectifs et le sujet de la réunion sont clairement perçus et que l'assentiment du groupe est acquis, il reste à s'entendre sur certaines modalités de fonctionnement.

#### **10.2.4 Détermination des modalités et des procédures de fonctionnement**

Chaque groupe de travail a ses modalités de fonctionnement. Certaines sont tellement évidentes et usuelles qu'elles ne valent pas la peine d'être discutées. Les mentionner suffit. Dans d'autres cas, il faudra les définir avec le groupe.

Ces modalités et procédures de fonctionnement peuvent toucher, par exemple, la méthode de travail: qui prendra la parole le premier? Comment peut-on l'obtenir par la suite? Comment allons-nous décider, voter? Quelle sera la durée maximale des interventions? Quand pourra-t-on poser des questions? Quels types d'interventions accepte-t-on de l'animateur? Etc..

L'aspect sous lequel la question à l'ordre du jour sera discutée peut aussi être l'une des modalités à

à définir. D'autres modalités peuvent concerner la définition qu'il faut donner à certains termes dans

le cadre des travaux. Des procédures peuvent également se rapporter au déroulement de la rencontre; par exemple, il y aura un exposé suivi de travail en sous-groupes et la réunion se terminera par une plénière et un vote.

Toutes ces modalités et procédures visent à faciliter le travail du groupe et à lui permettre d'atteindre le plus aisément possible les objectifs acceptés précédemment. Et si l'on craint que des conflits sur la méthode de travail surviennent et annihilent les efforts des participants, ce n'est certes pas pendant ou à la fin de la réunion qu'il faut en discuter! Un compromis initial sur le fonctionnement du groupe évitera bien des écueils et des mésententes.

#### **10.2.5 Répartition des tâches**

L'expérience a permis de constater qu'il faut définir et attribuer au début d'une réunion certaines tâches fonctionnelles; ainsi, il faut nommer un animateur et un secrétaire.

L'animateur doit veiller à ce que l'objectif de la réunion soit atteint. Pour ce faire, il s'assurera que chacun peut exprimer librement ses idées et qu'elles sont comprises par les autres. On doit veiller à maintenir un climat sain dans le groupe, afin de permettre la verbalisation et l'acceptation collective de la charge émotionnelle de chacun.

Le rôle du secrétaire est de consigner par écrit les propos, les arguments et les résolutions du groupe de travail. A partir de ses notes. Il rédigera le procès-verbal (ou le compte rendu, si les travaux n'ont pas un poids officiel), ainsi que la convocation et l'ordre du jour de la prochaine réunion. Il assurera ainsi le contact écrit entre les membres.

Théoriquement, l'animateur et le secrétaire n'ont pas à intervenir sur le contenu de la réunion Car à ce moment, ils deviennent juges et parties face au sujet discuté. En pratique, cependant, il est

rare que l'on puisse se payer le luxe d'un animateur ou d'un secrétaire régulier externe. Les solutions de rechange sont alors variables et s'accordent aux modalités de fonctionnement choisies par le groupe. Par exemple, on peut décider que, lorsque l'animateur ou le secrétaire veulent intervenir, ils cèdent momentanément leur rôle à quelqu'un d'autre. Ou encore, on établit une rotation des rôles au sein des membres du groupe.

### 10.3 CLÔTURE D'UNE RÉUNION

Le groupe avait planifié la réunion pour prendre une décision et convenir d'un calendrier d'activités. Il ne reste que quelques minutes, les objectifs semblent avoir été atteints, et les participants ont déjà commencé à rassembler leurs dossiers et à reculer leurs chaises. Le signal de clôture de la réunion semble imminent. Faut-il laisser la rencontre se terminer de la sorte? Franchement, nous croyons que non. Nous croyons qu'il faut éviter les départs précipités qui font qu'une réunion se termine en queue de poisson. Lorsque la réunion semble achevée, en fait elle ne l'est pas. Il reste une étape importante à franchir, trop souvent escamotée d'ailleurs: la conclusion.

Conclure une réunion, c'est une opération qui s'accomplit en deux temps: d'abord, on fait la synthèse du travail accompli, puis l'évaluation du fonctionnement ou des comportements du groupe.

#### 10.3.1 Résumé du travail accompli

Le résumé final du travail accompli est habituellement fait par l'animateur. Il doit avoir les qualités suivantes: concis, structuré et objectif.

Le résumé est concis, il ne dépasse jamais cinq minutes. Les participants sont fatigués; ils sont capables d'un dernier sprint, mais pas d'un marathon! Le résumé doit aller à l'essentiel et éviter les détails ou les digressions. Les gens retiennent plus aisément un résumé "bien ramassé" qu'un exposé qui ne distingue pas l'essentiel de l'accessoire.

Le résumé final doit aussi être structuré. Les grands thèmes de la réunion, les décisions prises, l'ordre chronologique des discussions doivent être autant de fils directeurs à partir desquels le résumé peut être bâti. L'important, c'est de faire en sorte que la structure soit perçue des auditeurs.

Enfin, un bon résumé doit être objectif: l'animateur ne doit pas montrer de parti pris pour une idée ou pour une autre. Il doit présenter les faits de la rencontre sans distorsion. Il ne doit pas non plus réduire ou minimiser des conflits ou des accords. En deux mots, il doit être fidèle à ce qui s'est passé en rendant compte à la fois des résultats de la réunion et, si nécessaire, de la procédure et des émotions du groupe.

Si l'on a pris soin de l'annoncer et de l'inscrire à l'ordre du jour, le résumé final ne surprendra personne. Grâce à cette activité de récapitulation, les participants prendront mieux conscience des

phénomènes qui se sont produits lors de la réunion et ils garderont un souvenir précis des résultats obtenus, des conclusions et du partage des tâches, ce qui accroîtra leur impression de

travailler avec efficacité.

### 10.3.2 Évaluation du fonctionnement du groupe

Un groupe peut trouver beaucoup de profit à jeter un oeil critique sur son propre fonctionnement. Un échange sur différents aspects de la communication dans le groupe peut amener à prendre conscience de faiblesses à compenser, et ultérieurement favoriser un échange beaucoup plus utile et productif. Selon le climat qui règne dans un groupe et selon la maturité de celui-ci, on optera pour une évaluation verbale ou pour une évaluation écrite. Dans les deux cas, l'opération aura lieu à la fin de la réunion. L'évaluation verbale est évidemment plus stimulante, parce qu'immédiate et interactive. L'évaluation par questionnaire écrit est plus discrète, mais ses effets sont retardés puisque les résultats doivent être compilés, analysés et résumés avant d'être communiqués en général à la réunion suivante. Les interactions qu'elle provoque sont donc bien moindres qu'avec l'évaluation directe.

On peut évaluer le fonctionnement d'un groupe en réunion sous trois principaux aspects : le déroulement de la réunion, la qualité de la participation des personnes présentes ainsi que la qualité de l'animation.

En ce qui concerne le déroulement, on peut questionner le groupe sur la procédure : a-t-on été fidèle aux règles établies? A-t-on suivi les étapes prévues? La démarche intellectuelle ou pratique adoptée était-elle cohérente? On peut aussi s'interroger sur la communication dans le groupe: l'atmosphère de travail était-elle agréable? Y a-t-il eu de l'agressivité? Chacun a-t-il pu prendre la parole ? Y a-t-il eu des répétitions inutiles? Etc...

Relativement à la participation dans le groupe, on peut inviter les gens à se prononcer sur plusieurs

points : a-t-on eu l'impression d'être écouté et compris? A-t-on senti l'engagement et la collaboration de chacun autour de l'objectif commun? Certains membres ont-ils eu, sans le vouloir des comportements qui ont ralenti ou nui au groupe? Etc.

En ce qui concerne l'animation, on peut poser les questions suivantes: la réunion était-elle bien préparée et bien organisée? La façon dont l'animateur s'y est pris pour conduire la réunion répond-elle aux attentes du groupe? L'animateur a-t-il été trop directif, ou pas assez ? A-t-il bien su coordonner et articuler les interventions? A-t-il su faire des mises au point utiles pour encourager le groupe dans sa progression vers l'objectif commun? Son résumé final était-il satisfaisant? Etc...

Vous aurez compris qu'il n'est ni possible ni souhaitable qu'un groupe de travail s'interroge à toutes

ses réunions sur tous les points que nous venons de soulever. En pratique, il est préférable d'en aborder seulement quelques-uns à la fois; peut-être vaut-il mieux aussi les aborder seulement à des

tournants particuliers de la vie du groupe. Tout cela exige du jugement. À vous de déterminer le moment où ce genre d'interventions est susceptible d'améliorer la qualité de vos réunions de travail

### **10.3.3 Documents à rédiger**

A la suite d'une réunion, le secrétaire doit résumer dans un document les débats et les résultats de la rencontre. Ce travail peut prendre deux formes, assez proches l'une de l'autre:

- le compte rendu,
- le procès-verbal.

#### ***10.3.3.1 Compte rendu***

Le compte rendu d'une réunion est un document plutôt court; il résume de façon objective les points importants de la réunion. Le compte rendu est donc essentiellement une synthèse rapportant dans ses grandes lignes, le travail accompli lors de la réunion. Il n'obéit pas à un protocole de présentation particulier. On s'attend cependant à ce qu'il soit bref, bien structuré et à ce que les informations qu'il contient soient facilement repérables. Le compte rendu comprend habituellement les éléments suivants:

1. ville, date et année de rédaction;
2. titre du document ("compte rendu");
3. numéro de la réunion, date, lieu, heure, organisme concerné;
4. sujet de la réunion;
5. liste des personnes présentes et des personnes absentes;
6. résumé des propos, suivant l'ordre du jour de la réunion;
7. signature, nom et titre du rédacteur du compte rendu.

Vous trouverez un exemple de compte rendu de réunion en annexe de ce photocopie (pour le n° de l'annexe, consulter la liste des annexes "communication" (AC) dans tes pages préliminaires) Vous pouvez aussi examiner un autre exemple de compte rendu de réunion dans les premières pages de *Rédaction technique et administrative* d'Hélène Cajotet Laganière et collab.

#### ***10.3.3.2 Procès-verbal***

Le procès-verbal d'une réunion est un document à la fois plus strict et plus complet que le compte rendu. Il contient généralement les mêmes éléments que le compte rendu, sauf que le résumé des propos tenus lors de la réunion y est plus détaillé. Le procès-verbal reprend souvent très inutilement le déroulement de la réunion: Il précise les propos des intervenants, il consigne les positions, résume les discussions qui ont mené aux conclusions, etc. Il constitue donc, en quelque sorte le scénario en rétrospective de la réunion.

Certains procès-verbaux retranscrivent même textuellement (par enregistrement magnétique) tous les échanges de la réunion. On parle alors du *Verbatim* de la réunion. Cette pratique est peu répandue et n'est utilisée que dans des cas très litigieux comme on en rencontre dans tes

domaines de la justice et des discussions internationales ou diplomatiques. Vous trouverez un exemple de procès-verbal dans les premières pages de *Rédaction technique et administrative* d'Hélène Cajotet-Lagarnière et collab.