

## Table des matières

Introduction .....	2
Un modèle du raisonnement de l'ingénieur .....	3
Liste de vérification sur le raisonnement de l'ingénieur .....	10
L'esprit de la pensée critique .....	11
Étude d'un document d'ingénierie .....	12
Analyse d'un design à l'aide des composantes de la pensée.....	14
Deux types de questions se posent à l'ingénieur.....	16
Analyse d'une discipline : le génie aérospatial .....	17
Analyse d'une discipline : le génie électrique.....	18
Analyse d'une discipline : le génie mécanique .....	19
Analyse des outils du génie : la modélisation et la simulation.....	20
Le raisonnement de l'ingénieur utilise les normes intellectuelles.....	21
Questions d'évaluation de la conception en regard des normes intellectuelles .....	25
Utilisation des normes intellectuelles pour l'évaluation des illustrations .....	26
Évaluation du raisonnement d'un ingénieur ou d'un auteur .....	29
Analyse et évaluation de la recherche en génie.....	31
Objectif.....	32
Question ou problème central .....	33
Information.....	34
Inférence et interprétation .....	35
Hypothèses .....	36
Concepts et idées .....	37
Point de vue.....	38
Implications et conséquences .....	39
La curiosité d'esprit en génie : les frères Wright .....	40
Le coût d'un mode de pensée défectueux .....	42
Similitudes et distinctions dignes de mention .....	43
Éthique et génie .....	45
Objectifs du raisonnement de l'ingénieur .....	47
Évaluation du travail de l'étudiant en génie .....	48
Le problème de la pensée égocentrique .....	50
Étapes du développement de la pensée critique .....	51

## Introduction

### ***Pourquoi un mini guide sur le raisonnement de l'ingénieur?***

Ce guide du penseur s'adresse aux administrateurs, aux facultés et aux étudiants. Il comprend l'essence même des notions et des outils propres au raisonnement de l'ingénieur. Aux Écoles d'ingénieurs, il propose un cadre conceptuel et un vocabulaire commun. Pour l'étudiant, il constitue une source supplémentaire d'information sur le raisonnement, qui s'ajoute aux manuels des cours d'ingénierie. Les facultés peuvent y avoir recours pour concevoir leurs cours, travaux et examens. Les étudiants peuvent également s'en servir pour élargir leurs perspectives, dans n'importe quel domaine de leurs études en génie.

Les capacités de raisonnement propres à l'ingénierie sont les mêmes dans tous les domaines technologiques. Par exemple, la pensée de l'ingénieur établit clairement la nature de la tâche ou du problème. L'ingénieur met en doute et vérifie les informations, les conclusions et les points de vue. Il recherche l'exactitude, la précision et la pertinence. Il tente de voir au-delà des évidences, d'être logique et objectif. Cette approche, il l'applique aussi bien dans ses lectures et ses communications écrites que dans son écoute et ses interventions orales. Il le fait aussi bien dans sa vie personnelle que professionnelle.

Lorsque le présent guide est utilisé comme supplément aux manuels dans le cadre de plusieurs cours, les étudiants en viennent à trouver de nouvelles applications au raisonnement de l'ingénieur pouvant être mises en oeuvre dans leur vie quotidienne. De plus, pour peu que les professeurs donnent des exemples de l'application du raisonnement de l'ingénieur dans la vie de tous les jours, les étudiants prendront conscience que de bonnes habitudes de raisonnement constituent un outil de choix pour l'amélioration de leur existence.

Si vous êtes un étudiant, prenez l'habitude de toujours apporter ce guide dans vos cours d'ingénierie. Consultez-le fréquemment lorsque vous analysez vos nouvelles connaissances et faites la synthèse de vos apprentissages. Visez une profonde appropriation des principes que vous y trouverez, de telle sorte que leur utilisation devienne une seconde nature.

Bien que ce guide et *A Miniature Guide to Scientific Thinking* aient beaucoup en commun, de même que les ingénieurs et les scientifiques se partagent beaucoup de choses, ces deux catégories de penseurs ont des objectifs fondamentaux différents et font appel à des modes de questionnement distincts, qui les différencient. La lecture du présent manuel devrait faire apparaître clairement cette distinction.

## Un modèle du raisonnement de l'ingénieur

L'analyse et l'évaluation de notre pensée comme ingénieur exige un vocabulaire couvrant les domaines de la pensée et du raisonnement. Il faut donner voix à l'intellect. Le modèle présenté à la page suivante n'est pas réservé à l'ingénierie; de fait, sa force réelle réside dans sa flexibilité qui lui permet de convenir à tous les domaines, qu'il s'agisse des choses de l'esprit ou de la vie en général. D'autres guides du penseur de la collection *Thinker's Guides*<sup>1</sup> appliquent également ce modèle à d'autres disciplines. Les ingénieurs et les scientifiques n'éprouvent pas de difficulté à travailler dans le cadre de modèles conceptuels. Nous utilisons des modèles thermodynamiques, électriques, mathématiques, informatiques ou même réels, en argile ou en bois. Nous appliquons ici un modèle à notre façon de raisonner, une architecture aidant à l'analyse et à l'évaluation de la pensée, un modèle qui pourrait l'améliorer notre raisonnement. Un coup d'oeil aux autres guides du penseur montre que seulement un ajustement du poids relatif des constituants du modèle est nécessaire pour l'appliquer aux sciences exactes, aux sciences humaines ou aux arts.

Le modèle décrit dans les pages qui suivent offre un survol de tout le livre, en partant de la base du diagramme jusqu'à son sommet. Le but final : favoriser le développement d'une pensée d'ingénieur mature. Par conséquent, cet objectif final est abordé dès le début par une brève présentation des qualités intellectuelles mises à contribution dans la pratique quotidienne de l'ingénieur.

Dans un second temps, on présente les huit composantes de la pensée. Il s'agit des outils permettant l'analyse des mécanismes de la pensée aussi bien chez soi que chez les autres. Ces composantes sont ensuite présentées dans des exemples et utilisées dans l'analyse de textes, d'articles, de rapports et de l'ensemble des disciplines du génie.

Par la suite, les normes intellectuelles sont présentées avec l'aide d'exemples. Elles constituent les outils d'évaluation du penseur. Elles sont reliées aux composantes de différentes façons afin d'illustrer comment les appliquer à l'évaluation et à l'analyse de notre raisonnement.

Finalement, le présent guide comprend plusieurs études de cas présentant une réflexion excellente ou une réflexion déficiente. Il conclut par le traitement de différents sujets touchant la profession de l'ingénieur, comme l'esthétique, l'éthique et les rapports des ingénieurs avec les autres professionnels.

### **Comment utiliser ce mini guide**

Tout comme pour les autres guides de la collection *Thinker's Guide*, le contenu du présent guide ne doit pas être lu comme un texte suivi. Le guide est principalement construit autour de plusieurs exemples, surtout à l'aide de questions exploratrices, relativement à un modèle de raisonnement critique appliqué dans le contexte de l'ingénierie. Ces exemples peuvent être utilisés dans des exercices en classe, à titre de matériel de référence ou comme canevas pour des travaux hors classe que les étudiants adaptent à leur propre cours, discipline ou projet. Une présentation plus poussée des détails du modèle, sous forme de ressources ou d'articles, est disponible sur le site Web de la *Foundation for Critical Thinking*, [www.criticalthinking.org](http://www.criticalthinking.org). Pour acquérir une compréhension plus approfondie de la théorie de

---

<sup>1</sup> Voir les titres de la collection à la page 54.

base de la pensée critique, nous vous recommandons tout particulièrement le livre *Critical Thinking : Tools for Taking Charge of Your Professional and Personal Life*, également offert par la *Foundation for Critical Thinking*.

**Les ingénieurs qui se soucient du raisonnement utilisent de façon routinière les normes intellectuelles et les composantes de la pensée afin de développer les traits d'un esprit d'ingénieur mature.**

Les normes	
Clarté	Précision
Exactitude	Importance relative
Pertinence	Exhaustivité
Logique	Équité
Ouverture	Profondeur

Doivent être appliquées aux :

Composantes	
Fonctions	Inférences
Enjeux	Concepts
Points de vue	Implications
Information	Hypothèses

Dans le but de développer :

Les traits intellectuels	
Humilité intellectuelle	Persévérance intellectuelle
Autonomie intellectuelle	Confiance en la raison
Intégrité intellectuelle	Empathie intellectuelle
Courage intellectuel	Impartialité

## Traits intellectuels essentiels au raisonnement de l'ingénieur

Aucun ingénieur ne peut prétendre à une parfaite objectivité. Son travail est inévitablement influencé par les forces et les carences résultant de son éducation, de ses expériences, de ses attitudes, de ses croyances et intérêts personnels.

Les ingénieurs très doués reconnaissent l'importance de cultiver de bonnes dispositions intellectuelles. Ces attributs sont essentiels à l'excellence d'une pensée. Ils déterminent avec quelle perspicacité et quelle intégrité une personne pense. L'ingénierie amène l'ingénieur en quête de chacun de ces attributs à se poser plusieurs questions.

L'**humilité intellectuelle** consiste à admettre son ignorance, à être conscient de ce que l'on sait et de ce que l'on ignore. Cela implique de connaître ses partis pris, préjugés, tendances à se mentir ainsi que d'accepter les limites de son point de vue et de son expérience. La licence d'ingénieur professionnel demande explicitement aux ingénieurs de restreindre consciemment l'exercice de leur jugement professionnel aux domaines dans lesquels ils sont vraiment qualifiés<sup>2</sup>. Voici certaines questions qui encouragent l'humilité dans la réflexion de l'ingénieur :

- Que sais-je vraiment concernant les aspects technologiques dont il est question?
- Jusqu'à quel point mes préjugés, attitudes ou expériences passées influencent-ils mon jugement? Mon expérience me permet-elle vraiment de faire face à la situation?
- Suis-je prompt à admettre que je suis dépassé dans un domaine?
- Suis-je ouvert à de nouvelles approches pour ce problème? Suis-je disposé à étudier et à acquérir les connaissances qu'il me manque?

Le **courage intellectuel** est une disposition de l'esprit qui permet de mettre en doute ses certitudes les plus profondes. Cela signifie, entre autres, de remettre en cause les croyances de sa culture, ou de sa sous culture, et d'avoir le courage d'exposer ses vues même lorsqu'elles sont impopulaires (auprès de la direction, de ses pairs, de ses subordonnés ou des clients). Voici certaines questions qui favorisent le développement du courage intellectuel :

- Jusqu'à quel point aie-je analysé mes croyances qui peuvent avoir un impact sur mon jugement critique?
- Dans quelle mesure aie-je démontré une facilité à céder sur mes positions lorsqu'on me présente des arguments convaincants les invalidant?
- Jusqu'à quel point suis-je prêt à défendre mes opinions contre la majorité, même si on me ridiculise?

L'**empathie intellectuelle** consiste à savoir qu'il est nécessaire de considérer activement les visions qui diffèrent de la sienne, en particulier celles avec lesquelles on est en profond désaccord. Il s'agit de reconstruire avec précision le point de vue et le raisonnement de ses opposants à partir de leurs sources, hypothèses et idées qui ne sont pas les siennes propres. Voici certaines questions qui favorisent le développement de l'empathie intellectuelle :

---

<sup>2</sup> National Society of Professional Engineers. 2003. *Code of Ethics for Engineers*. [www.nspe.org/ethics/codeofethics2003.pdf](http://www.nspe.org/ethics/codeofethics2003.pdf).

- Jusqu'à quel point suis-je disposé à écouter et essayer de comprendre le raisonnement des autres?
- Dans quelle mesure suis-je capable de présenter correctement les points de vue avec lesquels je suis en désaccord?
- Jusqu'à quel point suis-je capable de rendre compte honnêtement des opinions de mes opposants? Seraient-ils d'accord?
- Jusqu'à quel point suis-je prêt à reconnaître et apprécier les connaissances techniques des autres et admettre l'existence de préjugés dans les miennes?

L'**intégrité intellectuelle** consiste à avoir pour soi les mêmes exigences au plan intellectuel qu'on a pour des autres (absence de double standard). Voici certaines questions qui favorisent le développement de l'intégrité intellectuelle :

- Jusqu'à quel point aie-je les mêmes attentes envers moi qu'envers les autres?
- Jusqu'à quel point y a-t-il des contradictions ou des incohérences dans ma façon d'aborder les questions techniques?
- Dans quelle mesure est-ce que je m'efforce d'éviter de me leurrer lorsque je réfléchis à une question d'ingénierie? Est-ce que je fais également un effort pour identifier et taire mes intérêts personnels?

La **persévérance intellectuelle** est la capacité à persister dans un travail intellectuel complexe malgré la frustration inhérente à la tâche. Voici certaines questions qui favorisent le développement de la persévérance intellectuelle :

- Suis-je disposé à faire face à la complexité d'un problème d'ingénierie ou aie-je tendance à abandonner lorsque le défi est important?
- Puis-je me rappeler un problème d'ingénierie pour lequel j'ai démontré de la patience et de la ténacité?
- Est-ce que j'ai des stratégies pour faire face aux situations complexes en ingénierie?

La **confiance en la raison** est basée sur l'idée que les intérêts d'une personne et de l'humanité sont mieux servis en laissant la raison s'exprimer librement. Cela signifie d'utiliser des normes rationnelles comme critères fondamentaux lorsqu'on doit choisir entre accepter ou rejeter une position ou une proposition. Voici certaines questions qui favorisent le développement de la confiance en la raison :

- Suis-je disposé à changer ma position lorsque les faits suggèrent une interprétation plus logique?
- Est-ce que j'adhère aux principes techniques et m'en tiens aux faits lorsque je tente de convaincre les autres du bien fondé de ma position? Est-ce que je fausse la réalité pour favoriser ma position?
- Est-ce que j'encourage les autres à faire part de leurs propres conclusions sur le plan technique ou bien est-ce que je tente de forcer l'unanimité?

L'**autonomie intellectuelle** implique de réfléchir par soi-même tout en adhérant aux normes de la rationalité. Cela signifie de faire le tour d'une situation en n'utilisant que son propre jugement plutôt que d'accepter d'autres points de vue, opinions ou jugements sans esprit critique. Voici certaines questions qui favorisent le développement de l'autonomie intellectuelle :

- Dans quelle mesure est-ce que j'accepte ce qu'on me dit (supérieurs, pairs, gouvernements, etc.) sans démontrer un esprit critique?
- Dans quelle mesure est-ce que j'accepte les solutions traditionnelles à un problème?
- Est-ce que je développe mes propres interprétations concernant une question technique au lieu de me fier aux conclusions et au jugement des autres?
- Lorsque j'ai étudié une situation de façon rationnelle, suis-je prêt à faire face seul aux critiques irrationnelles?

L'**impartialité** consiste à traiter tous les points de vue de manière équitable, sans tenir compte de ses propres intérêts, de ses sentiments, des intérêts d'amis, de la société, de la communauté ou de la nation. Elle implique d'adhérer à des normes intellectuelles sans tenir compte des intérêts particuliers d'un individu ou d'un groupe. Voici certaines questions qui favorisent le développement de l'impartialité :

- Dans quelle mesure est-ce que j'accepte les solutions traditionnelles à un problème?
- Dans quelle mesure mes tendances et intérêts personnels viennent-ils fausser mon jugement?
- Quelle est mon attitude face aux points de vue pertinents? Aie-je tendance à favoriser certains au détriment des autres? Dans l'affirmative, pourquoi?
- Jusqu'à quel point est-ce que je pèse le pour et le contre de chaque point de vue pertinent lorsque je réfléchis à une situation?



**Pour analyser la pensée, il faut apprendre à identifier ses structures de base et à s'interroger sur leur nature.**

Structures universelles de la pensée

1. Nous pensons toujours dans un but
2. à partir d'un point de vue
3. en se basant sur des hypothèses
4. menant à des conséquences et des implications
5. nous utilisons des données, des faits et des expériences
6. nous réalisons des inférences et posons des jugements
7. en se basant sur des concepts et des théories
8. pour résoudre un problème ou répondre à une question.

Structures universelles de la pensée

1. Quel est mon but premier?
2. Quel est mon point de vue à ce sujet?
3. Quelles hypothèses sont utilisées dans mon raisonnement?
4. Quelles sont les implications qui en découlent, si mon raisonnement est exact?
5. De quelles informations ai-je besoin pour répondre à mes questions?
6. Quelles sont mes principales inférences et conclusions?
7. Quel est le principal concept en jeu dans question?
8. Quelle est la question clé à laquelle je tente de répondre?

Note : lorsque l'on comprend les structures de la pensée, on en vient à poser les questions importantes les concernant.

## Liste de vérification sur le raisonnement de l'ingénieur

- 1. Tous les raisonnements de l'ingénieur ont un objectif. Prendre le temps de déterminer clairement les buts.**
  - Séparer l'objectif des autres objectifs reliés.
  - S'assurer à intervalle régulier que l'on ne dévie pas de son but.
  - Établir des objectifs raisonnables et réalisables.
- 2. Tous les raisonnements de l'ingénieur visent à comprendre quelque chose, à régler une question, à résoudre un problème d'ingénierie.**
  - Prendre le temps de bien poser le problème, clairement et précisément.
  - Exprimer la question de plusieurs façons pour en clarifier le sens et la portée.
  - Décomposer la question en sous questions.
  - Évaluer si la question n'a qu'une seule bonne réponse possible, ou si elle demande d'être traitée à partir de plusieurs points de vue ou hypothèses.
- 3. Tous les raisonnements de l'ingénieur sont basés sur des hypothèses.**
  - Identifier clairement les hypothèses et s'assurer qu'elles soient justifiées.
  - Réaliser comment les hypothèses donnent forme à la réflexion.
  - Évaluer l'incidence d'autres hypothèses, exprimées ou non.
  - Évaluer les conséquences du retrait des hypothèses.
- 4. Tous les raisonnements de l'ingénieur sont faits à partir d'un point de vue, d'une perspective.**
  - Identifier votre point de vue.
  - Prendre en considération le point de vue des autres intervenants.
  - S'efforcer d'être impartial dans l'évaluation de tous les points de vue pertinents.
- 5. Tous les raisonnements de l'ingénieur ont pour base des *données*, de l'*information* et des *faits avérés*.**
  - Vérifier les sources de vos données.
  - Limiter vos affirmations à celles soutenues par les données.
  - Chercher de l'information et des théories pouvant contredire votre position.
  - S'assurer que toute l'information utilisée est claire, exacte et pertinente en égard à la situation.
  - S'assurer de recueillir une quantité suffisante de données.
- 6. Tous les raisonnements de l'ingénieur s'expriment, et prennent forme, grâce aux *concepts* et aux *théories*.**
  - Déterminer quels sont les concepts clés et les expliquer clairement.

- Prendre en considération d'autres concepts ou d'autres définitions des concepts.
  - Utiliser les concepts et les théories avec soin et précision.
- 7. Tous les raisonnements de l'ingénieur comprennent des inférences et des interprétations d'où sont tirées des conclusions. Elles donnent son sens au travail de l'ingénieur.**
- Réaliser seulement des inférences permises par des données.
  - Vérifier la cohérence interne et externe des inférences.
  - Identifier les hypothèses ayant mené aux conclusions.
- 8. Tous les raisonnements de l'ingénieur mènent à quelque chose. Elles ont des implications et des conséquences.**
- Évaluer les conséquences et les implications qui découlent de vos données et de vos raisonnements.
  - Chercher aussi bien les implications négatives que positives (sur le plan technique, social, environnemental, financier, éthique).
  - Tenir compte de toutes les implications possibles.

## L'esprit de la pensée critique

Il y a de la logique dans tout cela et je vais la découvrir!

La logique de X

**Notez bien : les ingénieurs très doués ont confiance en leur habileté à saisir la logique derrière toute chose. Ils sont constamment à la recherche de l'ordre, du système, et des relations entre les éléments.**

## Étude d'un document d'ingénierie

Analyser la structure du raisonnement de l'auteur est une des principales manières de comprendre un article traitant d'ingénierie, un texte, un rapport technique. Une fois cela fait, on peut évaluer ce raisonnement en utilisant les normes intellectuelles (voir page 26). Voici un modèle d'analyse :

1. Le **but** premier de ce document d'ingénierie est de \_\_\_\_\_.

*(Énoncer le plus clairement possible la raison pour laquelle l'auteur a rédigé le document. Que tentait-il d'accomplir?)*

2. La **question** clé que l'auteur aborde est \_\_\_\_\_.

*(L'objectif est de trouver la question qui occupait l'esprit de l'auteur lorsqu'il/elle a écrit le document. En d'autres mots, quelle est la question clé abordée?)*

3. L'**information** la plus importante dans ce document est :

\_\_\_\_\_.

*(Identifier l'information clé utilisée (ou présumée utilisée) par l'auteur pour soutenir ses principaux arguments. Ici, on est à la recherche de faits, d'expériences, de données que l'auteur utilise pour étayer ses conclusions ainsi que les sources de ces éléments.)*

4. Les principales **inférences** et conclusions sont

\_\_\_\_\_.

*(Mettre en évidence les conclusions les plus importantes auxquelles l'auteur arrive.)*

5. Les **concepts** clé qu'il faut maîtriser pour comprendre ce document d'ingénierie sont

\_\_\_\_\_.

Par ces **idées**, l'auteur veut signifier \_\_\_\_\_.

*(Pour trouver ces concepts, il faut se demander quelles sont les idées les plus importantes et les théories que l'ont doit maîtriser pour être en mesure de suivre le raisonnement de l'auteur. Par la suite, il suffit d'élaborer brièvement sur le sens donné par l'auteur à ces concepts.)*

## Étude d'un document d'ingénierie (suite)

6. Les principales **hypothèses** soutenant la thèse de l'auteur sont : \_\_\_\_\_.

*(Il faut s'interroger sur ce que l'auteur prend pour acquis [et qui pourrait être contesté]. Les hypothèses sont des généralisations que l'auteur ne juge pas nécessaire de justifier dans le contexte; elles ne sont généralement pas exprimées. Il s'agit du point de départ du raisonnement logique de l'auteur. )*

7. a) Si on accepte cette ligne de pensée, les **implications** sont \_\_\_\_\_.

*(Quelles sont les conséquences découlant de l'acceptation par les gens du raisonnement de l'auteur? Il s'agit ici de déterminer les implications logiques de la position de l'auteur. Il faut inclure aussi bien les implications énoncées par l'auteur que celles qui ne le sont pas. )*

- b) Si on n'accepte pas le bien fondé de cette ligne de pensée, les **implications** sont \_\_\_\_\_.

*(Quelles sont les conséquences si on refuse le raisonnement de l'auteur?)*

8. Les principaux **points de vue** présentés dans ce document sont \_\_\_\_\_.

*(La question principale à laquelle on cherche à répondre, ce qui préoccupe l'auteur et comment le voit-il? Par exemple, dans le présent guide nous traitons du raisonnement de l'ingénieur en tant que « discipline intellectuelle exigeante et le développement des habiletés intellectuelles ».)*

Si on comprend ces structures et leurs rapports dans un article, ou un rapport technique, on peut reconstruire de façon emphatique le cheminement de l'auteur. Il ne faut pas oublier que les huit structures de base de la pensée présentées ici définissent toutes les formes de raisonnement, peu importe la discipline ou le domaine de pensée. Par conséquent, elles sont également essentielles au raisonnement de l'ingénieur.

## Analyse d'un design à l'aide des composantes de la pensée

Fonction technique	<p>Quelle est la fonction du design?          Quelles sont les opportunités commerciales ou les exigences?          Qui détermine les opportunités commerciales ou les exigences?          Qui est le client?</p>
Enjeux	<p>Quel système, produit ou processus remplira le mieux les exigences du client en ce qui a trait au rendement, au coût et à l'échéancier?          Quels sont les critères de « valeur » pour le client?          Est-ce qu'une nouvelle conception ou une nouvelle technologie sont nécessaires?          Peut-on adapter un design existant?          Quelle importance revêt le délai de mise en marché?</p>
Point de vue	<p>On présume généralement un point de vue centré sur le design et la fabrication. Quels autres points de vue méritent considération? Celui des actionnaires? Des fournisseurs? Des gens responsables de la mise en marché et des ventes? Des clients? Quelle importance accorder à l'entretien et aux pièces de rechange? Au point de vue des législateurs, du monde des affaires, des politiciens, des environnementalistes?</p>
Hypothèses	<p>Quelles sont les conditions environnementales ou d'exploitation prévues?          Quels sont les risques informatiques, financiers, de marché ou techniques qui ont été jugés acceptables à ce jour?          Quels contextes de marché, économiques et concurrentiels sont présumés?          Quelles hypothèses sont retenues en ce qui concerne la sécurité et l'environnement? Sont-elles acceptables?          Quels délais sont prévus pour la maturation des nouvelles technologies? quel niveau de maturité est espéré?          Quelles sont les conséquences d'un changement ou de l'abandon d'une hypothèse?          Quels critères ont, dans le passé, servi à choisir les meilleures solutions?          Quelles hypothèses ont été faites quant à la disponibilité des matériaux?          Quelles capacités de fabrication sont prévues?          Quels sont les qualifications et les attributs présumés des ouvriers?</p>

Information technique	<p>Quelle est la source de l'information technique servant de base à la démarche (manuels, archives, expériences, savoir corporatif, codes de la construction, réglementation gouvernementale)?</p> <p>Quelle information manque? Comment l'obtenir? Par analyse, simulation, mise à l'épreuve des composants ou à l'aide d'un prototype?</p> <p>Quelles expériences devraient être menées?</p> <p>Toutes les sources pertinentes ont-elles été consultées?</p> <p>Quelles solutions existantes, lacunes ou problèmes devraient être étudiés et évalués?</p> <p>L'information disponible est-elle suffisante? D'autres données sont-elles nécessaires? Quelle est la meilleure façon de les obtenir?</p> <p>Est-ce que les résultats expérimentaux et d'analyse ont été vérifiés?</p> <p>En quoi l'expérience et les connaissances du personnel sur le terrain peut-elle être utile?</p>
Concepts	<p>Quels concepts ou théories s'appliquent à ce problème?</p> <p>Y a-t-il des modèles concurrents?</p> <p>Quelle nouvelle théorie pourrait s'avérer utile?</p> <p>Quelles technologies et théories conviennent à la situation?</p> <p>Quelles technologies en développement pourraient être disponibles bientôt?</p>
Inférences	<p>Quelles sont les solutions envisageables?</p> <p>Pourquoi certaines solutions acceptables ont-elles été écartées?</p> <p>Y a-t-il une autre façon d'interpréter l'information?</p> <p>Est-ce que la solution est réalisable et économiquement viable?</p>
Implications	<p>Quelles sont les principales implications résultant des données recueillies?</p> <p>Quelles sont les principales implications de la technologie en regard du marché?</p> <p>Quelles seraient les principales implications du retard dans la maturation d'une technologie cruciale?</p> <p>Quelle est l'importance de la durabilité du marché secondaire?</p> <p>Y a-t-il place pour une évolution ou une amélioration du produit?</p> <p>Existe-il des questions relatives à la mise au rebut ou à la mise hors service du produit qui doivent être prises en considération?</p> <p>Quelles seraient les principales conséquences d'un mauvais fonctionnement du produit?</p> <p>Quels éléments de conception peuvent avoir un impact important sur les autres si on les modifie?</p> <p>Quels éléments de conception ne sont pas influencés par des modifications aux autres?</p> <p>Quels sont les avantages possibles des produits dérivés?</p> <p>Est-ce que des questions sociales ou une gestion du changement doivent être envisagées?</p>

## Deux types de questions se posent à l'ingénieur

Au moment d'aborder une question, il est utile de déterminer à quel type de système elle s'apparente. S'agit-il d'une question n'ayant qu'une seule réponse possible ou, au contraire, d'une question qui exige d'évaluer plusieurs réponses concurrentes, voire même des approches différentes pour la conceptualisation et l'énoncé de la solution?

Un système	Plusieurs systèmes
demande de raisonner à partir d'un système et des faits appartenant à ce système	demande de raisonner dans le cadre de plusieurs systèmes et des faits leur appartenant
une seule bonne réponse	plusieurs réponses de qualité différente
savoir de l'ingénieur	jugement de l'ingénieur

**Questions de marche à suivre** (établissement d'un système) – Il s'agit de questions posées dans le cadre d'une marche à suivre établie, ou méthode, servant à trouver des réponses. On trouve réponse à ces questions en fonction des faits, des définitions, ou des deux. On les retrouve de façon majoritaire dans des sciences comme les mathématiques, la physique ou la biologie. On peut leur répondre par l'expérimentation ou la simple consultation d'un manuel de référence.

- Selon les codes du bâtiment, quel matériau doit-on utiliser pour cette application?
- Quelle est la limite d'élasticité de ce matériau?
- Quelle puissance électrique est utilisée par cet équipement?
- Quelle est la température de combustion de ce carburant?

**Questions de jugement** (systèmes en contradiction) – Il s'agit de questions demandant une démarche raisonnée mais qui offrent plus d'une réponse possible. On peut débattre de ces questions, évaluer les réponses en les classant de meilleures à pires (en fonction de la qualité du raisonnement et des éléments justificatifs). On cherche ici la meilleure réponse parmi un éventail de possibilités. On les évalue en fonction des normes intellectuelles admises, comme l'exhaustivité, la profondeur, la logique, et ainsi de suite. Certaines des questions d'ingénierie les plus importantes appartiennent à la catégorie des questions reliées à des systèmes en contradiction (par exemple, celles présentant une dimension éthique). La réponse à ces questions dépend largement des conditions de marché et d'exploitation.

- Quelle sera la durée de vie de cette pièce?
- Devrait-on opter pour une gestion de type spirale ou chute d'eau?
- Le client se préoccupe-il davantage du coût que du rendement?
- En quoi consiste la définition du « risque acceptable » pour le client?
- Quel modèle employer pour prédire les effets sur l'environnement?



## Analyse d'une discipline : le génie aérospatial

**Fonction.** Le génie aérospatial produit des systèmes aériens ou basés dans l'espace pour des missions et des marchés scientifiques, civils, de loisir ou de défense nationale. Les énoncés de mission pour ces marchés sont en général reliés au transport, à l'étude de la terre et de l'espace et aux communications. En général, les produits de ce secteur sont des véhicules comme les fusées, les avions, les missiles, les satellites et les astronefs. Il peut également s'agir d'équipement au sol ou de logiciel/matériel intégré.

**Questions clés.** Quels sont les éléments de conception précis qui répondent le mieux aux exigences du marché ou de la mission? Comment allons-nous concevoir, vérifier et fabriquer les véhicules? Comment allons-nous assurer leur support?

**Point de vue.** Le profil de mission fournit généralement le cadre organisationnel pour toutes les décisions et les exigences de conception. L'objectif visé est de définir la valeur principalement du point de vue du responsable de la mission, celui qui en défraie les coûts. D'autres perspectives peuvent s'avérer pertinentes : celles des pilotes, du personnel d'entretien, du fabricant, des spécialistes en logistique, de même que celles du personnel technique (ingénieurs en structures, aérodynamiciens, ingénieurs en commande, ingénieurs en propulsion, etc.). Les politiciens peuvent également être influencés dans les grands programmes aérospatiaux. L'opinion publique, sensible à la dimension éthique et environnementale, soulève souvent des questions pertinentes et doit alors être prise en considération.

**Concepts clés.** Ils comprennent tous les concepts de la physique classique, en insistant particulièrement sur : la mécanique orbitale et newtonienne, la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie, les lois de l'aérodynamique à haute et basse vitesse, les propriétés des matériaux et les structures légères, les technologies de propulsion.

**Postulats de base.** Les postulats de base sont en partie partagés par tous les scientifiques et les ingénieurs. Un de ces postulats est que l'univers est régi par des lois s'appliquant partout et qui s'expriment mathématiquement par des expressions et des formules. De plus, les ingénieurs en aérospatial prennent pour acquis qu'une solution implique l'intégration de plusieurs disciplines techniques et un compromis entre les différents points de vue, comme ceux de l'aérodynamique, de l'astrodynamique, de la commande et de la stabilité en vol, de la propulsion, de la structure et de l'avionique. Un système aérospatial est également un système de systèmes, devant aussi s'interfacer avec d'autres systèmes plus importants (par exemple, les avions cargo doivent communiquer avec les structures de contrôle du trafic aérien en place, les missiles utilisent les rampes de lancement existantes; les satellites sont lancés par des véhicules porteurs de conception indépendante).

**Les données et l'information.** Les ingénieurs en aérospatial utilisent des données de source expérimentale, provenant de calculs informatiques ou de designs existants. Ils incluent également dans leur réflexion les exigences réglementaires, les études de marché et les énoncés de mission.

**Inférences, généralisations, hypothèses.** Dans la majorité des cas, le résultat des activités du génie aérospatial est un produit prêt à être livré au client.

**Implications.** Les implications des produits du génie aérospatial sont très étendues. Elles ont une incidence sur l'économie mondiale, du pays et de la région. Elles touchent des questions éthiques, de défense nationale, de sécurité, d'environnement (pollution et bruit) et les infrastructures comme les aéroports. Chacun de ces aspects peut avoir un impact sur la qualité de vie des populations, des communautés et des régions touchées.

## Analyse d'une discipline : le génie électrique

**Fonction.** Les ingénieurs en électricité conçoivent des systèmes électriques et électroniques pour les marchés publics, commerciaux et de consommation. C'est un très vaste champ d'application couvrant plusieurs domaines comme les produits de consommation électronique, l'éclairage résidentiel, les communications par satellite et les services d'électricité.

**Questions clés.** Quels sont les éléments de conception précis qui répondent le mieux aux exigences du marché ou de la mission? Comment allons-nous concevoir, implanter et exploiter les systèmes et produits électriques ou électroniques?

**Point de vue.** Le point de vue est en général celui de l'équipe de conception et de fabrication. Parmi les autres points de vue pertinents, notons celui des clients, des actionnaires, de la mise en marché, du personnel chargé de l'entretien et des opérateurs.

**Concepts clés.** Parmi les concepts, on remarque l'électromagnétisme (les équations de Maxwell), les propriétés électrochimiques des matériaux, les mathématiques discrètes et analogiques, la résistance, le courant, la charge, la tension, les champs et les ondes, etc.

**Postulats de base.** Les postulats de base sont en partie partagés par tous les scientifiques et les ingénieurs. Un de ces postulats est que l'univers est régi par des lois s'appliquant partout et qui s'expriment mathématiquement par des expressions et des formules. Ils estiment aussi que ces principes peuvent être utilisés pour la modélisation de systèmes électriques. Les ingénieurs en électricité croient que les produits électriques et électroniques peuvent le mieux combler certains besoins importants du marché. De plus, ils prennent souvent pour acquis que le résultat de leur travail devra être intégré avec d'autres disciplines du génie (comme le génie mécanique, chimique, etc.), soit au moment de la conception ou à celui de la mise en oeuvre d'un produit.

**Les données et l'information.** Les ingénieurs en électricité utilisent des données de source expérimentale, provenant de calculs informatiques ou de designs existants. Ils incluent également dans leur réflexion les exigences réglementaires, les études de marché et les énoncés de mission.

**Inférences, généralisations, hypothèses.** Dans la majorité des cas, le résultat des activités du génie électrique est un produit prêt à être livré au client.

**Implications.** Les implications des produits et services du génie électrique sont très étendues. Elles ont une incidence sur l'économie mondiale, du pays et de la région. Elles touchent les infrastructures publiques, les services de santé et le domaine des communications. Chacun de ces aspects peut avoir un impact positif ou négatif sur la qualité de vie des populations, des communautés et des régions touchées.

## Analyse d'une discipline : le génie mécanique

**Fonction.** Les ingénieurs en mécanique conçoivent des systèmes mécaniques et du matériel pour les marchés publics, commerciaux et de consommation. C'est un très vaste champ d'application couvrant plusieurs domaines comme le transport, les mécanismes, l'architecture, les systèmes de production d'énergie, les matériaux, etc.

**Questions clés.** Quels sont les éléments précis de conception du système qui répondent le mieux aux exigences du marché ou de la mission? Comment allons-nous concevoir, implanter et exploiter les systèmes, produits et composants mécaniques?

**Point de vue.** Le point de vue est en général celui de l'équipe de conception et de fabrication. Parmi les autres points de vue pertinents, notons celui des clients, des actionnaires, de la mise en marché, du personnel chargé de l'entretien et des opérateurs.

**Concepts clés.** Parmi les concepts, on note la science des matériaux, la contrainte, la déformation, la charge, la friction, la mécanique dynamique et statique, la thermodynamique, la mécanique des fluides, l'énergie, le travail, la CFAO, les machines, etc.

**Postulats de base.** Les postulats de base sont en partie partagés par tous les scientifiques et les ingénieurs. Un de ces postulats est que l'univers est régi par des lois s'appliquant partout et qui s'expriment mathématiquement par des expressions et des formules. Ils estiment aussi que ces principes peuvent être utilisés pour la modélisation de systèmes mécaniques. Les ingénieurs en mécanique croient que les matériaux et les produits mécaniques peuvent le mieux combler certains besoins importants du marché. De plus, ils doivent souvent intégrer le résultat de leur travail avec d'autres disciplines du génie (comme l'automobile, l'aérospatial, l'électricité, les ordinateurs, la chimie, etc.), soit au moment de la conception ou bien de la mise en oeuvre d'un produit.

**Les données et l'information.** Les ingénieurs en mécanique utilisent des données de source expérimentale, provenant de calculs informatiques ou de designs existants. Ils incluent également dans leur réflexion les exigences réglementaires, les études de marché et les énoncés de mission.

**Inférences, généralisations, hypothèses.** Dans la majorité des cas, le résultat des activités du génie mécanique est un produit prêt à être livré au client ou à être intégré dans un plus grand ensemble.

**Implications.** Les implications des produits et services du génie mécanique sont très étendues. Elles ont une incidence sur l'économie mondiale, du pays et de la région. Elles touchent les infrastructures publiques, les transports, les services de santé et le domaine des communications. Chacun de ces aspects peut avoir un impact positif ou négatif sur la qualité de vie des populations, des communautés et des régions touchées.

## Analyse des outils du génie : la modélisation et la simulation

**Fonction.** La modélisation et la simulation sont soit un produit direct de l'ingénierie, soit un outil de développement utilisé pour concevoir d'autres systèmes complexes. Ils offrent une représentation du monde réel servant à l'entraînement des opérateurs, à la réalisation d'études commerciales, au développement de composants, à la mise à l'épreuve de prototypes. Ils sont également utilisés pour la vérification et l'évaluation lorsqu'il serait trop compliqué, dangereux ou coûteux de réaliser un test réel à pleine échelle.

**Questions clés.** Comment les caractéristiques du monde réel peuvent-elles être simulées afin de fournir une vision précise des interactions et des comportements pouvant servir par la suite à la conception de systèmes dédiés à une fonction précise? Quelle précision est nécessaire pour obtenir un rendu précis du comportement des systèmes?

**Point de vue.** La simulation et la modélisation partent du point de vue que le monde réel se plie à la modélisation mathématique et informatique à un point tel que les comportements observés dans la simulation sont une représentation fidèle des comportements et du rendement d'un système dans le monde réel.

**Concepts clés.** Les concepts couvrent tous les domaines du génie, mais aussi, en particulier, les méthodes numériques, les équations du mouvement, la vérification par simulation manuelle ou par simulateur dans la boucle du matériel, la simulation par lots, la réalité virtuelle, la latence des affichages, l'identification des systèmes et la puissance de calcul.

**Postulats de base.** La simulation se base sur des postulats qui simplifient les choses; les détails du monde réel nous échappent. Une simulation simple comprend une foule de postulats. L'amélioration d'une simulation pour la rendre plus conforme à la réalité implique que l'on ajoute des détails au modèle physique qu'on juge négligeables pour les modèles plus simples. Pour qu'une simulation se rapproche de la réalité, il faut retirer des postulats et, par le fait même, augmenter la complexité.

- Lorsqu'ils ont recours à la modélisation et à la simulation, les ingénieurs prennent pour acquis qu'ils sont capables de concevoir des modèles suffisamment précis du monde réel.
- En général, les ingénieurs utilisant la modélisation et la simulation croient qu'il y a une relation entre le coût et la complexité, la valeur et la fidélité du modèle.
- Les ingénieurs croient que dans certaines situations la modélisation et la simulation fournissent des informations vitales (à noter que la simulation peut être utilisée durant tout le cycle de vie du produit, de la conception à l'exploitation). Ils reconnaissent toutefois que des phénomènes écartés de la modélisation peuvent s'avérer importants (ce qui en limite la valeur).

**Les données et l'information.** L'information utilisée par la modélisation et la simulation dépend de modèles mathématiques pour l'interaction des systèmes simulés. On utilise aussi les attributs physiques du système faisant l'objet de l'étude, de l'information provenant des essais réels, des designs existants ou des identifications de systèmes.

**Inférences.** Les conclusions auxquelles arrive la simulation incluent les choix de conception ainsi que les pratiques éducationnelles et les pratiques d'entraînement.

**Implications.** La simulation offre la possibilité de réduire les risques et les coûts du développement et de la mise à l'épreuve. Elle peut également fournir de l'information concernant la réponse d'un système à des conditions qu'on ne peut reproduire facilement ou de façon sécuritaire (par exemple, défaillances et conditions d'urgence). Cependant, si un produit conçu par simulation affiche un problème, des impacts négatifs peuvent survenir lorsqu'il sera utilisé en situation réelle.

## Le raisonnement de l'ingénieur utilise les normes intellectuelles

Dès qu'on décide d'évaluer la qualité du raisonnement relativement à un problème ou une situation, on doit appliquer à la pensée les normes intellectuelles universelles. Ces normes ne sont pas le propre du génie, elles se retrouvent dans tous les domaines de la pensée. Penser comme un ingénieur hautement qualifié ne se fait pas sans considérer ces normes et les appliquer avec régularité. Bien qu'il existe plusieurs normes universelles, seules les plus importantes sont présentées ici.

**Clarté** : Compréhensible; le sens peut être déterminé.

*La clarté est une norme de base. Si un énoncé manque de clarté, on ne peut déterminer son exactitude ou sa pertinence. De fait, on ne peut rien en dire puisqu'on ne comprend pas son sens.*

Voici certaines questions visant à évaluer la clarté :

- Pourrait-on en dire davantage sur ce sujet?
- Peut-on exprimer ce point d'une autre façon?
- Peut-on l'illustrer ou donner un exemple?
- Est-ce que l'énoncé de mission ou les exigences de marché sont clairs?
- Est-ce que la terminologie et les symboles ont été précisés?
- Quelles exigences sont prioritaires et lesquelles peuvent être réduites?
- Les hypothèses sont-elles clairement énoncées?
- Est-ce que la terminologie spécialisée est expliquée, ou sinon maintenue à un niveau adéquat pour être comprise?
- Les photos, dessins, plans et annotations à ces documents montrent adéquatement les rapports importants entre les éléments?<sup>3</sup>
- Comment les personnes concernées définissent-elles la « valeur »?

**Exactitude** : Dépourvu d'erreurs ou de distorsion; vrai

*Un énoncé peut être clair sans pour autant être exact, par exemple « La plupart des vertébrés ont une masse de plus de 150 kg ».*

Voici certaines questions visant à juger de l'exactitude :

Est-ce effectivement vrai?

Comment vérifier cela?

Comment déterminer si cela est exact?

Quelle confiance avons-nous dans les données?

Les instruments ont-ils été calibrés? Quand et comment?

Les modèles de simulation ont-ils été validés?

Les hypothèses et postulats ont-ils été mis en doute et vérifiés?

Quelles sont les conséquences si les conditions varient par rapport à celle attendues (par exemple, température plus chaude, plus froide, présence de poussière, d'humidité)?

Y a-t-il des hypothèses cachées, ou non énoncées, qui devraient être vérifiées?

<sup>3</sup> Voir la page 26 pour plus de précision concernant les éléments graphiques. On recommande instamment aux étudiants et aux facultés préoccupés par la communication graphique de lire ces livres d'Edward Tufte : *Visual Explanation, Envisioning Information*, et *Visual Display of Quantitative Information*. Éditeur : *Graphics Press*, Cheshire, Connecticut.

**Précision** : démontrant autant d'exactitude que nécessaire

*Un énoncé peut être à la fois clair et vrai, mais manquer de précision, par exemple « La solution dans le becher est chaude. » (On ignore sa température.)*

- Voici quelques questions qu'un ingénieur peut poser concernant la précision :
- Pouvez-vous me donner plus de détails?
- Pouvez-vous être plus précis?
- Quelle est la tolérance pour chaque élément d'information?
- Quelles sont les limites de tolérance et de confiance concernant les données expérimentales et celles obtenues dans des manuels ou de façon analytique?
- À partir de quel seuil un plus grand souci du détail, ou des éléments additionnels, n'ajoutent plus rien à la valeur du projet?

**Pertinence** : ayant un rapport avec l'objet concerné

*Un énoncé peut être à la fois clair, vrai et précis, mais ne pas avoir rapport à la question. Un rapport technique peut préciser l'heure de la journée et la phase de la lune lors d'une mise à l'épreuve. Cela serait pertinent pour un dispositif de vision de nuit, mais pas pour un four à micro-ondes.*

Voici quelques questions qu'un ingénieur peut poser concernant la pertinence :

- En quoi est-ce relié à la question?
- Quelle est l'incidence sur la question?
- Est-ce que tous les facteurs pertinents ont été évalués (par exemple, les facteurs environnementaux, le marché)?
- Est-ce qu'une foule de détails inutiles cache les facteurs les plus importants?
- Est-ce que des données non pertinentes ont été incluses?
- Est-ce que les interrelations importantes ont été identifiées et étudiées?
- A t-on inclus des capacités et des caractéristiques (donc des coûts supplémentaires) dont le client n'a pas besoin ou qu'il ne désire pas?

**Profondeur** : offrant une certaine complexité et plusieurs interrelations.

*Un énoncé peut être à la fois clair, vrai, précis et pertinent, mais superficiel. Par exemple, l'affirmation « Les déchets produits par les réacteurs nucléaires menacent l'environnement » est claire, vraie, précise et pertinente. Néanmoins, il faut ajouter plus de détails et pousser plus loin le raisonnement pour faire de cet énoncé le début d'une analyse approfondie.*

- Voici quelques questions qu'un ingénieur peut poser concernant la profondeur :
- Dans quelle mesure l'analyse tient-elle compte de la complexité de la question?
- Comment traite-t-on les problèmes soulevés par la question?
- Est-ce qu'on prend en considération les facteurs les plus importants?
- Par rapport au monde réel, dans quelle mesure le modèle de conception présente-il une complexité et une richesse de détails suffisantes?

**Exhaustivité** : englober plusieurs points de vue.

*Une façon de penser peut être à la fois claire, vraie, précise, pertinente et avoir de la profondeur, mais manquer d'exhaustivité (par exemple, des opinions contradictoires entre deux théories opposées, mais qui sont toutes deux en accord avec les faits observés).*

Voici quelques questions qui s'appliquent à la multiplication des points de vue :

- Est-il nécessaire de considérer un autre point de vue?
- Existe-il une autre façon de voir le problème?
- De quoi cela aurait-il l'air si on prenait le point de vue d'une théorie, d'une hypothèse ou d'un schéma conceptuel en contradiction avec celui adopté?
- Est-ce que toutes les options possibles ont été considérées?
- A t-on considéré toutes les interactions avec d'autres systèmes?

**Logique** : tout se tient, sans contradictions.

*Lorsqu'on réfléchit, on assemble plusieurs idées avec un certain ordre. La réflexion est « logique » lorsque les conclusions respectent les données et les propositions de départ. La conclusion est par contre « illogique » si elle contredit des faits avérés ou que l'argumentation n'est pas cohérente.*

Voici quelques questions et énoncés concernant la logique.

- Est-ce que cela est vraiment sensé?
- Est-ce que cela a un lien logique avec les affirmations qui précèdent? Quel est ce lien?
- Tout à l'heure vous avez dit ceci, maintenant vous dites cela. Je ne vois pas comment les deux peuvent être vrais.
- Est-ce qu'une analyse logique est à l'origine des décisions de conception?

**Impartialité** : décisions justifiables, sans parti pris

*L'impartialité est particulièrement nécessaire dans les situations où il existe plusieurs points de vue (en contradiction) pertinents permettant de comprendre une question. Elle l'est aussi lorsque les intérêts de chaque partie divergent. L'impartialité offre à chaque position une chance de s'exprimer tout en reconnaissant que tous les points de vue ne sont pas nécessairement égaux, en valeur et en importance.*

Voici quelques questions au sujet de l'impartialité.

- Est-ce que les autres points de vue ont été considérés (celui des actionnaires, de la fabrication, des ventes, des clients, de l'entretien, des citoyens, l'intérêt de la communauté, etc.)?
- Est-ce que des intérêts personnels ont influencé la conception de façon inappropriée?
- Les vues divergentes au sein de l'équipe de conception ont-elles été traitées avec équité?
- Est-ce que les considérations environnementales et de sécurité ont été correctement évaluées?
- L'intérêt public a-t-il été pris en compte?
- A t-on réfléchi aux implications éthiques de la décision?

<b>Clarté</b>	Pouvez-vous préciser ce point? Pouvez-vous me donner un exemple? Pourriez-vous illustrer ce que vous affirmez?
<b>Exactitude</b>	Comment pourrait-on vérifier cela? Comment déterminer si cela est vrai? Comment pourrait-on vérifier cela, par un test?
<b>Précision</b>	Pourriez-vous mieux préciser votre pensée? Pouvez-vous me donner davantage de détails? Pourriez-vous être plus précis?
<b>Pertinence</b>	En quoi cela est-il relié au problème? Quelle est l'incidence de ce point sur la question? En quoi cela nous aide-il?
<b>Profondeur</b>	Quels sont les facteurs qui rendent ce problème complexe? Quels sont les principaux points de ce problème qui présentent de la complexité? Quelles sont les principales difficultés auxquelles nous sommes confrontés?
<b>Exhaustivité</b>	Doit-on aborder cela avec une autre perspective? Doit-on considérer un autre point de vue? Doit-on regarder cela de d'autres façons?
<b>Logique</b>	Est-ce que tout cela est logique? Est-ce que vos conclusions sont cohérentes avec votre introduction? Est-ce que vos affirmations sont basées sur des faits?
<b>Importance relative</b>	Est-ce le problème le plus important à considérer? Est-ce l'idée centrale sur laquelle se concentrer? Lequel de ces faits est le plus important?
<b>Impartialité</b>	Aie-je des intérêts personnels dans cette affaire? Est-ce que je présente les points de vue des autres de façon avantageuse?



## Questions d'évaluation de la conception en regard des normes intellectuelles

<b>Clarté</b>	Les exigences sont-elles bien définies (coût, échéancier, rendement, interopérabilité)? Est-ce que les normes de test sont bien définies? Quels sont les critères de réussite?
<b>Exactitude</b>	Est-ce que les hypothèses de modélisation sont valables dans le contexte où elles sont utilisées? Est-ce que tous les résultats expérimentaux et analytiques ont été vérifiés?
<b>Précision</b>	Quel niveau de détail est requis dans le modèle de conception ou de modélisation? Quel est l'intervalle de confiance pour les données utilisées? Quels écarts dans les caractéristiques des matériaux et dans le processus de fabrication peut-on attendre?
<b>Profondeur</b>	Est-ce que la complexité du problème a bien été prise en compte? Est-ce que le design offre une interface adéquate avec les systèmes actuels ou futurs avec lesquels il devra interagir? A t-on considéré les possibilités d'expansion du système? Est-ce que le design utilise bien l'espace de conception? A t-on tenu compte de l'obsolescence du logiciel et du matériel durant la vie utile du produit? Est-ce que les considérations relatives à la mise au rancart du produit ont été identifiées?
<b>Exhaustivité</b>	Est-ce que des approches différentes ont été considérées? Y a-t-il d'autres technologies, ou des technologies en développement, qui offrent davantage en terme de coût ou de rendement?
<b>Pertinence</b>	Est-ce que le design répond aux exigences? Le design est-il inutilement développé? Y a-t-il des fonctionnalités ou des caractéristiques inutiles?
<b>Importance relative</b>	Est-ce que nous nous occupons des questions les plus importantes concernant le design? Quels sont les facteurs ayant le plus d'influence, positive ou négative, sur la conception?
<b>Impartialité</b>	Est-ce que les intérêts des consommateurs et des fournisseurs ont été correctement évalués? Est-ce que les intérêts du public ont été considérés?

## Utilisation des normes intellectuelles pour l'évaluation des illustrations

Les documents techniques et les présentations utilisent souvent des photographies, des illustrations et des graphiques pour transmettre de l'information. Le graphisme occupe une place de choix pour différentes raisons : 1) Il offre une information très concentrée; 2) les graphiques peuvent fournir de l'information sur des tendances et illustrer des comparaisons qu'il serait difficile de saisir sous un format tabulaire; 3) il permet de mettre en évidence des interconnexions et des relations qu'il serait difficile de saisir dans un texte normal. Les illustrations peuvent réaliser ces objectifs, mais ne le font pas *nécessairement*. Les présentations graphiques peuvent aussi simplifier, tromper, nuire à la compréhension ou apporter de la confusion.

Le professeur Edward Tufte (Yale) présente, dans le paragraphe qui suit, ce qui est le plus important dans tout livre ou toute communication graphique.

*La représentation graphique d'information doit être faite en tenant compte des principes de raisonnement s'appliquant aux faits mesurables. Aux fins d'illustration, le raisonnement du concepteur doit correspondre au raisonnement du scientifique. Une vision claire et précise découle d'une pensée claire et précise.<sup>4</sup>*

Donc, les normes intellectuelles s'appliquent également aux communications visuelles, tout comme aux autres formes d'information!

### Clarté

- Est-ce que la couleur améliorerait la lisibilité de ce graphique (souvent, « oui »)?
- Dois-je tenir compte du fait que des copies seront faites en noir et blanc (souvent, « oui », encore) ?
- Les symboles sont-ils définis? Est-ce que des notes pourraient remplacer les symboles?
- Est-ce que les unités de mesure sont clairement étiquetées?
- Est-ce que les axes et les unités sont cohérents?
- Est-ce que le graphique est auto-explicatif ou doit-il être accompagné d'une légende?
- Plusieurs graphiques pourraient-ils être superposés pour faciliter les comparaisons?
- Les données sont-elles toutes reliées? Certains graphiques gagneraient-ils à être séparés?

### Précision

- Ce graphique sera-t-il présenté sur papier ou bien sur un autre support de plus faible résolution qui ne pourra rendre tous les détails (par exemple, sur le Web ou à l'aide d'un projecteur multimédia)?
- Aie-je choisi des axes appropriés? Un des axes ne devrait-il pas être logarithmique?
- Est-ce que des barres d'incertitude ou d'erreur donneraient plus de crédibilité?

---

<sup>4</sup> Tufte E. 1997. *Visual Explanations*. Cheshire, Connecticut : Graphics Press, 53.

**Exactitude**

- Est-ce que le choix de perspective ou d'axe fausse la perception?
- Est-ce que les tendances illustrées le sont de façon réaliste ou sont-elles amplifiées ou diminuées par des subterfuges visuels ou des axes faussés?

**Pertinence**

- Les programmes informatiques qui automatisent la création de graphiques, les *cliparts* et les logos ont la réputation d'ajouter des effets visuels cosmétiques qui diluent le contenu en ajoutant du bruit de fond (ils abaissent le rapport signal à bruit). Un graphique pertinent est au service du contenu et vise à la compréhension et à la rétention de l'information.
- Est-ce que chaque goutte d'encre est au service du contenu?
- Est-ce que la grille est nécessaire? Si oui, est-elle aussi pâle que possible?
- Est-ce que ce graphique aide le client à mieux saisir le contenu?
- Est-ce que tous les facteurs significatifs sont illustrés?

**Importance relative**

- Le graphique met-il en évidence les relations et les concepts d'importance?
- Le graphique donne-t-il une importance démesurée à des relations sans importance?
- Est-ce qu'un autre format donnerait une meilleure représentation des éléments significatifs?

**Exhaustivité**

- Est-ce que toutes les perspectives visuelles significatives sont représentées?

**Complexité/profondeur**

- Le graphique suggère-t-il une simplicité qui n'existe pas?
- Le graphique est-il inutilement compliqué?
- Le graphique dépeint-il adéquatement la complexité du sujet?
- Une échelle de temps plus longue exprimerait-elle mieux le contexte?
- Est-ce que la mise de côté des données à long terme a pour effet d'amplifier les variations aléatoires, sur une courte période de temps?

**Efficacité**

L'efficacité ne fait pas partie de notre liste initiale des normes intellectuelles. Elle apparaît ici car l'utilisation efficace de l'espace de l'écran ou du papier demande une intégration soignée d'éléments graphiques et de données de façon à favoriser la clarté, l'exhaustivité. Elle a pour fonction également de faire ressortir les interactions complexes (par exemple, les relations de cause à effet ou les différences contrastées). L'efficacité graphique complète les autres normes intellectuelles. Tufte note à ce propos :

*L'excellence en graphisme consiste à transmettre des idées complexes avec clarté, précision et efficacité. Elle offre au lecteur le plus grand nombre d'idées dans le plus court laps de temps avec le moins d'encre possible.*<sup>5</sup>

- Est-ce que plusieurs graphiques pourraient être superposés pour n'occuper qu'une page ou qu'un écran?
- Est-il possible de placer tous les graphiques similaires sur une seule page pour mettre en évidence les tendances et favoriser les comparaisons directes?
- Toutes les perspectives visuelles pertinentes sont-elles correctement rendues?
- Les perspectives visuelles pertinentes sont-elles correctement pondérées?

---

<sup>5</sup> Tufte E. 1997. *Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press, Cheshire, Connecticut, 51.

## Évaluation du raisonnement d'un ingénieur ou d'un auteur

L'évaluation du raisonnement implique l'application des normes intellectuelles aux différents aspects du raisonnement.

Aspects du raisonnement	Normes intellectuelles impliquées
<b>Fonction</b>	
L'objectif du rapport (ou design) est-il clairement exprimé ou implicite? Y a-t-il de l'information inutile?	Clarté Pertinence
<b>Questions</b>	
La principale question est-elle traitée?	Précision
Les questions explicites sont-elles pertinentes?	Pertinence
La question rend-elle bien la complexité des enjeux?	Profondeur
Les questions sans réponse sont-elles bien identifiées?	Clarté
La question favorise-t-elle la considération de tous les points de vue pertinents?	Exhaustivité
<b>Données et informations</b>	
Quelles données sont présentées?	Clarté
Que mesurent-elles?	Clarté
Comment ont-elles été acquises et traitées?	Exactitude
Quelles sont les limites de précision des instruments?	Précision
Est-ce que la précision disponible était suffisante pour obtenir les données voulues?	Précision
Quelles sont les sources des données?	Exactitude
Archives, expérimentation, analyse, modélisation, simulation?	profondeur
Les données sont-elles exactes? Comment cette exactitude fut établie?	Exactitude
Manque-t-il des données? Y a-t-il assez de données?	Exactitude
La qualité des données est-elle adéquate?	Exactitude
Quelles mesures ont été prises pour isoler les facteurs causaux?	Exactitude
Est-ce que toutes les données sont fournies? Quels critères ont été retenus pour choisir les données présentées parmi l'ensemble des données obtenues?	Profondeur
<b>Concepts clés</b>	
Les concepts clés sont-ils identifiés?	Clarté
Les théories appropriées ont-elles été appliquées?	Pertinence
Les théories applicables ont-elles été correctement expliquées et supportées?	Profondeur
A t-on considéré d'autres concepts?	Profondeur
L'utilisation de ces concepts est-elle justifiable?	Justification

<b>Aspects du raisonnement</b>	<b>Normes intellectuelles impliquées</b>
<b>Points de vue</b>	
Le point de vue de l'auteur est-il évident?	Clarté
Existe-il d'autres théories compatibles avec les données obtenues?	Exhaustivité
Est-ce que les autres points de vue pertinents ont été pris en considération?	Exhaustivité
Est-ce que des points de vue valables ont été écartés ou déformés pour favoriser des intérêts personnels?	Impartialité
Est-ce que des points de vue valables ont été écartés pour laisser toute la place à un seul point de vue privilégié?	Impartialité
Les objections au point de vue proposé ont-elles été considérées?	Impartialité
<b>Hypothèses</b>	
Quelles sont les hypothèses?	Clarté
Les hypothèses sont-elles assumées et bien pensées?	Clarté
Les hypothèses sont-elles nécessaires et justifiables?	Justification
Les hypothèses tiennent-elles compte de la complexité du problème?	Profondeur
Y a-t-il d'autres hypothèses valables qui devraient être considérées?	Justification
<b>Inférences</b>	
Les conclusions sont-elles clairement énoncées?	Clarté
Les conclusions sont-elles justifiées par les données?	Logique
Les conclusions sont-elles importantes?	Importance relative
D'autres conclusions sont-elles possibles?	Logique
Est-ce que des spéculations sont faussement montrées comme des faits?	Exactitude
Est-ce que la complexité du problème est évacuée ou considérée?	Profondeur
Est-ce que les conclusions dépendent des hypothèses?	Logique
<b>Implications</b>	
Les recommandations sont-elles clairement présentées?	Clarté
Est-il nécessaire de réaliser d'autres tests?	Profondeur
En quoi ces découvertes ont-elles de l'importance?	Importance relative
Les conclusions ont-elles des applications possibles en dehors de la question traitée?	Logique
Est-ce que d'autres implications plausibles ont été considérées?	Logique
Quelles sont les implications de la réfutation d'une hypothèse?	Logique

## Analyse et évaluation de la recherche en génie

### Utiliser cette liste pour évaluer la qualité de tout document ou projet de recherche en génie

- 1) Toute recherche en génie a un OBJECTIF et un but fondamentaux.
  - Les buts et les objectifs de la recherche doivent être clairement énoncés.
  - Les objectifs secondaires doivent être identifiés comme tels.
  - Toutes les étapes de la recherche doivent être pertinentes en regard de l'objectif.
  - Tous les objectifs doivent être réalistes et avoir une importance réelle.
- 2) Toute recherche en génie traite d'une QUESTION fondamentale, d'un problème ou d'une situation.
  - Les questions secondaires doivent être clairement présentées comme telles et développées.
  - Toutes les étapes de la recherche doivent être pertinentes en regard de la question centrale.
  - Toutes les questions relatives à la recherche doivent être réalistes et avoir une importance réelle.
  - Toutes les questions relatives à la recherche doivent préciser clairement quelles tâches intellectuelles, une fois réalisées, apporteront une réponse à la question.
- 3) Toute recherche en génie précise les INFORMATIONS, les données et les faits qui sont pertinents en fonction de la question fondamentale et de son objectif.
  - Toute information utilisée doit faire preuve de clarté, de précision et de pertinence par rapport à la question traitée.
  - La collecte d'information doit être suffisante pour régler la question.
  - Les informations qui contredisent les principales conclusions de la recherche doivent être expliquées.
- 4) Toute recherche en génie contient des INFÉRENCES ou des interprétations desquelles sont tirées les conclusions.
  - Toutes les conclusions doivent être claires, exactes, et pertinentes.
  - Les conclusions tirées ne doivent pas aller plus loin que ce que les données permettent.
  - Les conclusions doivent être en accord avec les données et expliquer celles qui ne concordent pas avec l'ensemble.
  - Les conclusions doivent indiquer comment les questions clés ont été réglées.
- 5) Toute recherche en génie est réalisée à partir d'un POINT DE VUE ou d'un cadre de référence.
  - Tous les points de vue dans la recherche doivent être énoncés.
  - Les objections provenant de points de vue différents doivent être rapportées et considérées équitablement.
- 6) Toute recherche en génie est basée sur des HYPOTHÈSES.
  - Présenter et évaluer clairement les principales hypothèses.
  - Expliquer comment les hypothèses influencent le point de vue.
- 7) Toute recherche en génie prend forme et s'exprime par des CONCEPTS et des idées.
  - S'assurer de la clarté des concepts clés.
  - S'assurer de l'importance relative des concepts clés.
- 8) Toute recherche en génie mène à quelque chose, elle a des conséquences et des IMPLICATIONS.
  - Relever les implications et les conséquences qui découlent de la recherche.
  - Chercher aussi bien les conséquences négatives que positives.
  - Prendre en compte toutes les conséquences et implications importantes.

## Objectif

(Tout raisonnement vise un objectif)

**Normes primaires :** (1) Clarté, (2) Importance relative, (3) Réalisme, (4) Cohérence, (5) Justifiable.

**Problèmes usuels :** (1) Manque de clarté, (2) Simplification, (3) Irréalisme, (4) contradiction, (5) Iniquité.

**Principe :** Pour raisonner correctement, il faut bien saisir l'objectif et celui-ci doit être réaliste et équitable.

Les penseurs doués ...	Les penseurs peu doués ...	Réflexion critique
prennent le temps de définir clairement leur objectif.	n'expriment pas toujours clairement leur principal objectif.	Mon objectif est-il clair? Que veut-on réaliser? Mon objectif est-il présenté de plusieurs façons?
le distingue des objectifs secondaires.	vont d'un objectif à l'autre, parfois même vers un objectif contradictoire.	Quels sont les différents objectifs que j'ai à l'esprit? Quels sont les liens entre les objectifs? Est-ce que je m'éparpille? Comment puis-je réconcilier ces objectifs contradictoires?
se rappellent périodiquement leur objectif, afin de ne pas s'en éloigner.	perdent de vue leur objectif fondamental ou leur but.	Est-ce que je m'éloigne de mon objectif dans la rédaction de cette proposition? Comment mon 3 <sup>ème</sup> et mon 4 <sup>ème</sup> paragraphe sont-ils reliés à mon objectif?
se fixent des objectifs et des buts réalistes.	se fixent des objectifs et des buts irréalistes.	Est-ce que j'essaie d'en faire trop pour ce projet?
se fixent des objectifs reliés aux aspects importants de la question.	adoptent des objectifs futiles comme s'ils étaient importants.	Quelle importance revêt la poursuite de cet objectif? Y a-t-il un objectif plus important sur lequel je devrais me concentrer?
se donnent des objectifs et des buts qui sont cohérents avec leurs autres buts et objectifs.	nuisent inconsciemment à leur objectif. Ne sont pas à l'affût de l'incohérence dans leur réflexion.	Est-ce qu'un aspect de ma réflexion nuit à l'autre? Mes agissements sont-ils compatibles avec mes objectifs?
ajustent régulièrement leur raisonnement afin d'atteindre leur objectif.	n'ajustent pas leur raisonnement en fonction de l'objectif à atteindre.	Mon raisonnement est-il approprié pour cette question? Mes agissements sont-ils cohérents en fonction de l'objectif à atteindre?
choisissent des objectifs équitables, en considérant sur un même pied les désirs et les droits des autres.	choisissent des objectifs en fonction de leur intérêt et au détriment de celui des autres.	Mon objectif est-il intéressé ou ne vise-t-il qu'à satisfaire mes propres intérêts? Tient-il compte des intérêts et des besoins des autres?



## Question ou problème central

(Tout raisonnement vise à comprendre quelque chose, à résoudre un problème ou à répondre à une question.)

**Normes primaires :** (1) Clarté et précision, (2) Importance relative, (3) Peut être résolu, (4) Pertinence.

**Problèmes usuels :** (1) Manque de clarté et de précision, (2) Manque d'importance, (3) Ne peut être résolu, (4) Manque de pertinence.

**Principe :** Pour qu'on puisse répondre à une question, il faut qu'elle ait une solution. On doit faire preuve de clarté et savoir quelle information est requise pour lui répondre.

Les penseurs doués ...	Les penseurs peu doués ...	Réflexion critique
ont une idée claire de la question.	n'ont souvent pas une idée claire des questions qu'ils posent.	Aie-je une vision claire de la question? Puis-je l'exprimer avec précision?
peuvent reformuler une question de plusieurs façons.	expriment les questions de manière vague et éprouvent de la difficulté à les reformuler.	Suis-je capable de reformuler la question de différentes manières pour en comprendre la complexité?
savent subdiviser une question en sous questions.	ne peuvent subdiviser les questions qu'ils se posent en sous questions.	Aie-je subdivisé la question principale en sous questions? Quelles sont les sous questions comprises dans la question principale?
reconnaissent instinctivement les questions en fonction de leur type.	confondent les questions de différents types et par conséquent répondent incorrectement aux questions posées.	Est-ce que j'éprouve de la confusion par rapport aux questions que je pose? Par exemple est-ce que je confonds une question éthique avec une question légale? Est-ce que je confonds une question de préférence avec une question demandant du jugement?
font la distinction entre une question importante et une question futile.	ne font pas la distinction entre une question importante et une question futile.	Est-ce que je concentre mon attention sur des questions sans importance et néglige l'essentiel?
font la distinction entre les questions pertinentes et celles qui ne le sont pas.	confondent les questions pertinentes avec celles qui ne le sont pas.	Est-ce que les questions que je soulève dans cette discussion sont pertinentes par rapport à la question principale?
voient les hypothèses derrière les questions qu'ils posent.	posent souvent des questions biaisées.	Est-ce que ma façon de présenter les questions est biaisée? Est-ce que je prends pour acquis dès le départ que ma position est la bonne?
savent faire la différence entre les questions auxquelles ils peuvent répondre et les autres.	essaient de trouver des réponses à des questions auxquelles ils ne peuvent actuellement répondre.	Suis-je capable de répondre à la question dans les conditions actuelles? Quelle information me manque pour répondre à la question?

## Information

(Tout raisonnement s'appuie sur des données, de l'information, des faits, l'expérience ou la recherche.)

**Normes primaires :** (1) Clarté, (2) Pertinence, (3) Recueilli et rapporté équitablement, (4) Exacte, (5) Approprié, (6) Utilisé de façon cohérente.

**Problèmes usuels :** (1) Manque de clarté, (2) non pertinent, (3) Biaisé, (4) Inexacte, (5) Insuffisant, (6) Utilisé de façon incohérente.

**Principe :** Un raisonnement ne peut être plus solide que les informations qui le supportent.

Les penseurs doués ...	Les penseurs peu doués ...	Réflexion critique
ne font d'affirmations que lorsqu'ils sont certains de disposer des faits pouvant les supporter.	font des affirmations sans s'assurer au préalable de disposer de l'information requise.	Est-ce que mon affirmation est supportée par des faits?
peuvent organiser et évaluer l'information qui supporte leurs affirmations.	n'organisent pas l'information qu'ils utilisent dans leur raisonnement, ce qui n'en permet pas l'étude critique.	Y a-t-il des éléments qui supportent mon affirmation que je n'ai pas clairement organisées? Aie-je vérifié la pertinence et l'exactitude de l'information que j'utilise?
cherchent activement de l'information pouvant contredire (et non seulement supporter) leur position.	ne recueillent que l'information supportant leur position.	Quel serait le meilleur endroit pour trouver de l'information contredisant ma position? Y aie-je regardé? Est-ce que j'ai considéré avec honnêteté les informations qui contredisent ma position?
se concentrent sur l'information pertinente par rapport à la question et écartent celle qui ne l'est pas.	ne prennent pas soin de faire la différence entre l'information pertinente et celle qui ne l'est pas.	Mon information est-elle pertinente pour cette question? Aie-je oublié de l'information pertinente?
tirent des conclusions dans les limites de ce qui est permis par les données et un raisonnement sain.	font des inférences qui vont au-delà de ce que l'information pertinente permet.	Est-ce que mon affirmation va plus loin que ce que peuvent supporter les faits?
présentent leurs faits clairement et équitablement.	faussent les données ou les présentent de façon inexacte.	Est-ce que ma présentation des données pertinentes est claire et cohérente? Aie-je faussé des données pour favoriser ma position?

## Inférence et interprétation

(Tout raisonnement comprend des inférences d'où sont tirées les conclusions. Ce sont elles qui donnent un sens aux données et aux situations.)

**Normes primaires :** (1) Clarté, (2) Logique, (3) justifiable, (4) profondeur, (5) Rationnel, (6) Cohérence.

**Problèmes usuels :** (1) Manque de clarté, (2) Illogique, (3) Injustifié, (4) Superficiel, (5) Irrationnel, (6) Contradictoire.

**Principe :** Un raisonnement ne peut être meilleur que les inférences qu'il fait (ou les conclusions qui en résultent).

Les penseurs doués ...	Les penseurs peu doués ...	Réflexion critique
ont une idée claire des inférences qu'ils font et les développent avec clarté.	n'ont souvent pas une idée claire des inférences qu'ils font et ne les développent pas de façon claire.	Aie-je une idée claire des inférences que je fais? Est-ce que je développe mes conclusions de façon claire?
font généralement des inférences qui découlent des faits et des prémisses présentés.	font souvent des inférences qui ne découlent pas des faits et des prémisses présentés.	Mes conclusions découlent-elles des faits et des prémisses présentés?
font souvent des inférences qui sont plutôt réfléchies que superficielles.	font souvent des inférences superficielles.	Compte tenu du problème, est-ce que mes conclusions font preuve de superficialité?
font souvent des inférences ou arrivent à des conclusions rationnelles.	font souvent des inférences ou arrivent à des conclusions irrationnelles.	Les conclusions auxquelles j'arrive dans la première partie de mon analyse semblent-elles en contradiction avec celles à la fin?
voient les hypothèses qui mènent aux résultats.	ne tentent pas de trouver quelles sont les hypothèses qui mènent aux inférences.	Mes inférences sont-elles basées sur une hypothèse fautive? En quoi mes inférences seraient-elles changées si je les faisais à partir d'une hypothèse plus juste?

## Hypothèses

(Tout raisonnement s'élabore à partir d'hypothèses : des énoncés qui sont tenus pour vrais.)

**Normes primaires :** (1) Clarté, (2) Justifiable, (3) Cohérence.

**Problèmes usuels :** (1) Manque de clarté, (2) Injustifié, (3) Contradictoire.

**Principe :** Un raisonnement ne peut être meilleur que les hypothèses fondatrices.

Les penseurs doués ...	Les penseurs peu doués ...	Réflexion critique
voient clairement les hypothèses qu'ils font.	ne sont pas clairs en ce qui concerne les hypothèses qu'ils font.	Mes hypothèses me paraissent-elles claires? Est-ce que je saisi clairement les base de mes hypothèses?
posent des hypothèses rationnelles et justifiables par rapport aux données disponibles.	posent souvent des hypothèses irrationnelles ou injustifiées.	Est-ce que je fais des hypothèses concernant le futur sur la base d'une seule expérience passée? Le choix de mes hypothèses est-il justifiable compte tenu des faits que j'invoque pour les supporter?
posent des hypothèses qui ne se contredisent pas.	posent des hypothèses qui se contredisent.	Les hypothèses que j'ai faites dans la première partie de ma démonstration contredisent-elles celles que je pose maintenant?
cherchent en permanence à déceler et comprendre leurs hypothèses.	ne portent pas attention à leurs hypothèses.	Quelles sont les hypothèses que je pose dans la présente situation? D'où me viennent ces hypothèses?

## Concepts et idées

(Tout raisonnement s'exprime par des concepts et des idées. Il prend forme par eux.)

**Normes primaires :** (1) Clarté, (2) Pertinence, (3) Profondeur, (4) Exactitude.

**Problèmes usuels :** (1) Manque de clarté, (2) Non pertinent, (3) Superficiel,  
(4) Inexactitude.

**Principe :** Un raisonnement ne peut être meilleur que les hypothèses fondatrices.

Les penseurs doués ...	Les penseurs peu doués ...	Réflexion critique
identifient les idées et les concepts clés qu'ils utilisent ou que les autres utilisent.	ne portent pas attention aux idées et aux concepts clés qu'ils utilisent ou que les autres utilisent.	Quel est le concept principal que j'utilise dans ma réflexion? Quels sont les principaux concepts utilisés par les autres?
peuvent expliquer la portée des mots clés et des locutions qu'ils emploient.	ne peuvent expliquer clairement la portée des mots clés et des locutions qu'ils utilisent.	Aie-je une idée claire de la portée des concepts clés? Est-ce que le mot « argumentation » a une connotation négative que « rationnel » n'a pas?
font la différence entre un usage particulier d'un mot et son usage habituel. Ils évitent le jargon technique lorsqu'il n'est pas approprié de l'utiliser.	ne font pas la différence entre les termes d'usage général et les termes techniques d'une discipline.	D'où vient ma définition de ce concept central? Aie-je inclus des conclusions non vérifiées dans la définition? Mon vocabulaire peut-il avoir des connotations spéciales qui risquent de ne pas être perçues? Aie-je pris soin de bien définir tous les termes spécialisés, les abréviations et les symboles mathématiques? Aie-je évité d'utiliser le jargon technique lorsque possible?
savent déceler les idées et les concepts non pertinents. Ils utilisent les idées et les concepts pertinents.	utilisent les concepts et les théories d'une façon qui ne convient pas à la situation.	Est-ce que je fais appel à des théories qui ne s'appliquent pas à cette situation?
réfléchissent aux concepts qu'ils utilisent.	ne réfléchissent pas aux concepts qu'ils utilisent.	Est-ce que je réfléchis suffisamment à cette question? Par exemple, le concept de durabilité ou de sécurité d'un produit, tel que je le décris, ne tient pas compte de l'inexpérience du consommateur. Le concept de sécurité mérite-il qu'on s'y attarde davantage?

## Point de vue

(Tout raisonnement s'élabore à partir d'un point de vue.)

**Normes primaires :** (1) Souplesse, (2) Équité, (3) Clarté, (4) Exhaustivité, (5) Pertinence.

**Problèmes usuels :** (1) Rigide, (2) Biaisé, (3) Manque de clarté, (4) Retreint, (5) Non pertinent.

**Principe :** Pour bien raisonner, il faut trouver les points de vue pertinents et les adopter avec empathie intellectuelle.

Les penseurs doués ...	Les penseurs peu doués ...	Réflexion critique
gardent à l'esprit que les gens ont différents points de vue, en particulier en ce qui a trait aux questions controversées.	rejetent ou ignorent les points de vue rationnels qui ne sont pas les leurs.	Le point de vue que j'utilise pour aborder cette question est-il clairement exprimé? Aie-je considéré les points de vue opposés au mien?
étudient systématiquement les autres points de vue et raisonnent à partir de ces points de vue afin de bien les comprendre.	ne peuvent regarder une situation d'un point de vue qui diffère de façon appréciable du leur. Ne peuvent raisonner de façon positive à partir d'un point de vue étranger.	Je peux avoir bien établi mon point de vue, mais aie-je considéré les aspects les plus importants du problème à partir du point de vue des autres?
sont à l'affût de d'autres points de vue, surtout lorsque la question les passionne.	peuvent admettre d'autres points de vue lorsque la situation ne les touche pas profondément, mais en sont incapables dans le cas contraire.	Est-ce que j'exprime le point de vue de « X » de façon biaisée? Est-ce que j'ai de la difficulté à apprécier le point de vue de « X » pour des raisons émotionnelles?
limitent leur raisonnement monologique aux questions qui sont clairement monologiques*.	confondent les questions monologiques avec les multilogiques; affirment qu'il n'existe qu'un seul cadre de référence pour trouver une solution à une question multilogique.	La question est-elle multilogique ou monologique? À quoi puis-je le dire? Mon raisonnement se fait-il à partir d'un seul point de vue alors que d'autres points de vue pertinents existent?
savent reconnaître les situations où ils sont le moins objectifs.	ignorent leurs propres préjugés.	S'agit-il d'un jugement rationnel ou plutôt d'un raisonnement empreint de préjugés? S'il est faussé par des préjugés, d'où viennent-ils?
abordent les problèmes et les situations avec une vision riche et un point de vue large.	raisonnent à partir de points de vue étroits et superficiels.	Mon approche est-elle trop étroite? Est-ce que je considère tous les points de vue afin de résoudre adéquatement ce problème?

\* Un problème monologique est un problème qui a des réponses absolument bonnes ou mauvaises et qui offre une marche à suivre définie pour obtenir ces réponses. Pour les problèmes multilogiques, il faut tenir compte de différentes écoles de pensée.

## Implications et conséquences

(Tout raisonnement mène à quelque chose; s'il est appliqué, il a des implications ainsi que des conséquences.)

**Normes primaires :** (1) Importance relative, (2) Logique, (3) Clarté, (4) Précision, (5) Intégralité.

**Problèmes usuels :** (1) Sans importance, (2) Irréaliste, (3) Manque de clarté, (4) Imprécis, (5) Incomplet.

**Principe :** Pour bien traiter une question, il peut être utile de déterminer les implications qui découlent de votre raisonnement. Il faut évaluer les conséquences des décisions que vous prenez.

Les penseurs doués ...	Les penseurs peu doués ...	Réflexion critique
prévoient un certain nombre d'implications et de conséquences possibles et importantes qui découlent de leur raisonnement.	ne prévoient que quelques implications ou conséquences, voire aucune, qui découlent de leur raisonnement.	Aie-je énoncé toutes les conséquences importantes des actions que je défends? Si j'adopte ce plan d'action, quelles pourraient être les conséquences que je n'ai pas prévues? Aie-je considéré toutes les défaillances possibles?
réfléchissent clairement et précisément aux conséquences et aux implications possibles.	n'ont pas une vision claire et précise des conséquences possibles qu'ils considèrent.	Aie-je clairement et précisément établi les conséquences possibles qui découlent des mesures que je préconise?
cherchent aussi bien les conséquences négatives que positives.	ne s'intéressent qu'aux conséquences qu'ils avaient à l'esprit au début du processus, négatives ou positives, mais rarement les deux.	J'ai bien démontré les implications positives de la décision que je m'appête à faire, mais existe-il également des conséquences et des implications négatives?
prévoient la possibilité d'implications positives ou négatives imprévues.	sont surpris lorsque des conséquences inattendues surgissent à la suite d'une de leurs décisions.	Si je prends cette décision, quelles pourraient être les implications imprévues? Quelles sont les variables hors de mon contrôle qui pourraient provoquer des conséquences négatives?
tiennent compte des réactions de toutes les parties concernées.	prennent pour acquis que les résultats et les produits seront bien accueillis par toutes les parties concernées.	Quelles mesures seraient appropriées pour informer la communauté ou le marché ? Quels représentants de l'opinion devraient être consultés?

## La curiosité d'esprit en génie : les frères Wright<sup>6</sup>

On remarque, tout au long de l'histoire, une foule d'ingénieurs qui furent non seulement des penseurs avisés, mais aussi des visionnaires. Plusieurs des grands scientifiques de l'âge préindustriel étaient également des ingénieurs (De Vinci, Galilée, Franklin, Fulton). On retrouve les traces de leur travail en Chine, en Égypte et dans l'Empire Romain. Aux fins de ce bref exposé, l'histoire de deux d'entre eux suffira à illustrer le raisonnement de l'ingénieur hautement qualifié. De par leur importante contribution à notre mode de vie moderne, Orville et Wilbur Wright sont au nombre des personnalités ayant eu le plus d'influence dans l'histoire humaine.

Nous avons tous déjà vu la photographie du premier vol d'Orville, le Flyer suspendu dans les airs, Wilbur espérant et observant stoïquement. Ce cliché de 1903 est le couronnement d'une entreprise de six ans qui débute en 1899, au moment où se manifeste le premier intérêt des frères Wright pour l'aéronautique, pour se terminer en 1905, avec la construction du premier avion utilisable.

Tout au long du projet, ils démontrent des qualités de maître penseur, progressant par des questions judicieuses. Les archives de leur correspondance démontrent leur résolution à atteindre leur but sans défaillir. Ils décortiquent les principales questions devant être résolues, et agissent en « ingénieurs de système », comme nous les appelons aujourd'hui, en exprimant le besoin d'intégrer leurs solutions face à différents problèmes de propulsion, de structure, d'aérodynamique et de commande.

Ils entretiennent également une correspondance suivie avec d'autres chercheurs, prenant le meilleur du bassin de connaissances disponible à l'époque. Néanmoins, lorsque cela est nécessaire, ils n'hésitent pas à mettre en doute la validité des données obtenues de leurs correspondants et mettent au point des expériences pour corriger les erreurs et combler les lacunes. Ils sont au fait de l'importance de leurs hypothèses, prennent soin de reconnaître les limites des essais sur modèles réduits réalisés en soufflerie ou au guidon d'un vélo. Ils mettent en doute les idées reçues; ils sont les premiers à présenter l'hélice comme une voilure tournante en remplacement de l'idée imparfaite qui associait l'hélice à une vis.

Les frères Wright ont une vision large et comprennent qu'ils doivent être à la fois inventeurs et pilotes. Avant de réaliser leur premier vol motorisé, ils effectuent 1 000 vols en planeur afin d'apprendre à voler. Leur progrès est une suite de conclusions intermédiaires et d'inférences tirées de leur apprentissage progressif. Chaque année, les variantes de leur prototype tirent les leçons de leurs vols de l'année précédente et de leurs expériences. Ils sont conscients des implications et porte une attention particulière à la gestion des risques qui accompagnent les essais de vol, afin de s'assurer de survivre aux inévitables écrasements.

Ils se distinguent des autres pionniers travaillant au même but par l'exhaustivité et la profondeur de leur questionnement et de leur travail. Ils ne voient pas leur défi comme un objectif étroit du domaine de l'aérodynamique ou de la technologie, mais plutôt comme un défi complexe impliquant plusieurs technologies. Les films amusants montrant l'échec des autres inventeurs à réaliser un vol motorisé montrent leur ignorance de sa complexité. Ces compétiteurs négligent la stabilité, ou la traînée, ou le poids, ou alors embrassent des concepts simplistes relativement au vol. Certains designs semblent crier à la face du monde que si un oiseau peut voler en battant des ailes, eux aussi vont voler comme un oiseau. Les documents

---

<sup>6</sup> Source : Jakab P. *Vision of a Flying Machine*; McFarland MW (ed.). *The Papers of Wilbur and Orville Wright*; et Anderson J. the *History of Aerodynamics*. Photographie : domaine public.



des frères Wright montre au contraire une série de questions méthodiquement intégrées et des réponses obtenues à partir de différents points de vue, celui de l'inventeur, du scientifique, de l'homme d'affaire et du pilote. Là réside leur succès.

## Le coût d'un mode de pensée défectueux

Le 1<sup>er</sup> février 2003, la navette spatiale Columbia se désintégra au-dessus du sud des États-Unis. Le *Columbia Accident Investigation Board* (CAIB) se rencontra durant les mois qui suivirent afin de déterminer les causes directes et indirectes de l'accident et de remettre à la NASA et au Congrès américain une étude concrète sur la direction à donner, dans le futur, au programme de la navette et au programme américain de vols habités.<sup>7</sup> La cause directe de l'accident fut amplement médiatisée. Mais plus important encore, le CAIB a réservé ses commentaires les plus sévères à la culture institutionnelle de la NASA, gravement envahie par des mauvaises habitudes de raisonnement et qui semble ne pas avoir tiré les leçons de la perte de la navette Challenger, en 1986.

Notez l'usage de notre vocabulaire de la pensée critique dans les causes identifiées dans le rapport du CAIB, facteurs largement observés, autant chez la NASA que chez ses entrepreneurs.

- Défaut de vérifier les hypothèses et les modèles acceptés
- Inférences illogiques ou non supportées
- Hypothèses confondues avec des inférences
- Points de vue non consensuels éliminés ou rejetés
- Défaut de vérifier la qualité des données et de reconnaître leurs insuffisances
- Défaut d'évaluation de toute la gamme des implications
- Points de vue étriqués
- Confusion entre les objectifs
- Défaut de poser les bonnes questions
- Utilisation de données ou de concepts non pertinents
- Langage vague et portant à confusion

Le rapport du CAIB s'attaqua en particulier à la direction de la NASA en demandant une refonte de sa culture qui encouragerait les bonnes habitudes de réflexion à tous les échelons de l'agence et chez ses entrepreneurs. La promotion des bonnes habitudes de réflexion devait être incluse dans la structure de l'organisation.

---

<sup>7</sup> Gehman, HW, et. al. 2003. *Columbia Accident Investigation Board Report*, vol. 1. <http://caib.nasa.gov/news/report/volume1/default.html>.

## Similitudes et distinctions dignes de mention

Pour le commun des mortels, la notion d'ingénieur est presque synonyme de celle de scientifique, probablement en raison de l'importance critique de la science pour la plupart des travaux d'ingénierie et du contenu de la formation de l'ingénieur. Nous avons déjà relevés plusieurs distinctions et similarités entre les types de questions que posent le scientifique et l'ingénieur. Le sujet de cette section soulève d'autres questions intéressantes concernant la jonction entre le rôle de l'ingénieur et celui des autres professions avec lesquelles il peut être appelé à travailler.

### La créativité en génie

Le génie est une activité créatrice. Même la plus simple tâche d'ingénierie requiert de l'analyse et de l'évaluation et demande de faire preuve d'ingéniosité et de créativité dans l'utilisation des concepts, des outils et des matériaux. Rares sont les problèmes qui n'admettent qu'une seule solution, d'où l'importance du jugement pour évaluer les forces et les faiblesses des solutions proposées. Le cahier des charges est souvent tiraillé entre des exigences qui vont dans des directions opposées, ce qui demande de la créativité et une idée précise de l'application que veut faire le client du produit, afin de trouver le juste milieu entre ces demandes. De véritables innovations techniques permettent la conception de systèmes ou de produits offrant de nouvelles fonctionnalités.

- Les exigences du cahier des charges demandent-elles une nouvelle approche ou une nouvelle technologie?
- Quel est le coût, ou le risque pour l'échéancier, de l'innovation dans ce projet ? Quel marché pourrait-on en tirer?
- Quelles opportunités seraient créées par l'innovation dans ce projet?

### Le génie et l'esthétisme

Il ne s'agit pas que de nombres. Des produits sans beauté ne se vendent généralement pas. Par conséquent, un ingénieur compétent ne peut ignorer la dimension esthétique du produit fini. Dans les faits, les équipes d'ingénierie de plusieurs entreprises peuvent compter sur un designer industriel qui se charge de l'attrait esthétique du produit, soit comme membre de l'équipe, soit à titre de consultant. L'histoire regorge d'ingénieurs parfaitement au fait de l'importance de l'esthétisme. Ils nous ont légué des ponts, des immeubles, des locomotives à vapeur, des navires, et d'autres produits dans lesquels la forme et la fonction s'harmonisent et se complètent mutuellement.

- Dans quelle mesure dois-je me soucier de la dimension esthétique du projet? Est-ce que le service de *marketing* est d'accord? Le client est-il satisfait?
- Serait-il opportun de faire appel à un consultant en design industriel?

## Ingénieurs et techniciens

Bien que les ingénieurs et les techniciens appartiennent à la même branche, puisque leur travail est basé sur la technologie, il existe des différences marquées au sens qu'on donne généralement à ces deux noms de profession. « Technicien » s'applique aux métiers impliqués dans la fabrication, l'entretien ou la réparation de systèmes techniques. Il est rare qu'un technicien ait besoin d'un diplôme en génie (le niveau mathématique ne dépasse pas l'algèbre et la trigonométrie). Cependant, une formation post-secondaire poussée est nécessaire pour les techniciens dans plusieurs domaines. Il est courant de voir des techniciens et des ingénieurs travailler ensemble dans la même équipe. « Comment puis-je remettre ce équipement en état pour qu'il offre son rendement optimal? » est une question qu'un technicien peut se poser couramment. L'ingénieur de service travaillant avec lui se demandera au contraire « comment pourrait-on améliorer cet équipement pour éviter les défaillances futures et faciliter les réparations éventuelles? ».

## Ingénieurs et artisans

Des chevauchements existent entre le rôle de l'ingénieur et celui de l'artisan. « Artisan » signifie généralement un travailleur spécialisé ayant un côté artistique et pouvant, à l'occasion, exprimer son savoir technique de façon innovatrice. L'artisan tient compte dans son travail de beaucoup des éléments qui préoccupent l'ingénieur. Par exemple, pour fabriquer une armoire, l'artisan choisira avec soin les matériaux en fonction de la résistance et de la durabilité nécessaires pour une utilisation donnée. Il décidera des assemblages et des attaches requises pour la charge prévue. Pour une situation similaire, un ingénieur aura en général une approche basée sur l'analyse numérique alors que l'artisan utilisera son intuition et son expérience des matériaux et des techniques. Plusieurs ingénieurs n'ont qu'une faible expérience directe de la fabrication alors que l'artisan est généralement associé à la fabrication effective du produit. Orville et Wilbur Wright offrent un exemple intéressant. En tant qu'inventeurs de l'avion, ils agirent en ingénieurs en calculant avec soins les caractéristiques de chaque élément. En tant que fabricants de bicyclettes, ils semblent avoir réfléchi en artisans en se fiant à leur expérience et à leur intuition.

## Les ingénieurs et l'ordre établi

L'ordre établi influence souvent la pratique de l'ingénieur. Il peut s'agir d'une réglementation visant à protéger le public ou le consommateur d'un danger potentiel ou d'une restriction sur les exportations de matériel militaire sensible. Dans ces cas, le contexte politique peut aller à l'encontre des bonnes pratiques en génie. Dans d'autres, il peut favoriser l'activité ou l'innovation en génie par des contrats, des fonds de recherche ou des crédits d'impôt. L'ingénieur oeuvrant dans le domaine public doit faire preuve d'empathie intellectuelle, doit saisir les intérêts et les inquiétudes exprimés par les représentants des organismes publiques (autorités de réglementation, législateurs, agents de négociation de contrats) qui peuvent ne pas jouir d'une formation ou d'une expérience technique. Il est courant que les exigences réglementaires et les spécifications visant à réduire ou éliminer les risques aient comme conséquence négative de nuire, ou de créer des contraintes, au développement de la technologie et au travail de l'ingénieur. Il est par conséquent souhaitable, dans plusieurs circonstances, que l'ingénieur se pose des questions relativement à la pertinence lorsque la technologie avance plus vite que le cadre réglementaire, ou lorsque l'intérêt public est desservi par des politiques disproportionnées (on peut, par exemple, considérer le nombre souvent excessif de règles et de réglementations dans le domaine du bâtiment).

## Éthique et génie

Le travail de l'ingénieur a des implications quant au bien-être des êtres vivants. Il en a également face à l'amélioration ou à la détérioration de la qualité de vie sur terre. C'est pourquoi l'ingénieur hautement compétent se soucie des implications éthiques des découvertes et inventions de sa profession; il se soucie également du potentiel positif ou négatif du génie.

La responsabilité éthique de l'ingénieur est semblable à celle du scientifique car les implications sont souvent les mêmes. Il peut être utile de se rappeler la transformation de la vision d'Einstein en ce qui a trait à la responsabilité du scientifique. «D'une vision qui plaçait le scientifique presque à part du reste du monde, il commença à le considérer comme ayant les mêmes droits et responsabilités que le reste des hommes, puis, finalement, comme appartenant à un groupe dont la position exceptionnelle exigeait qu'il assume des responsabilités exceptionnelles. »<sup>5</sup> En 1948, après que les États-Unis eurent largué des bombes atomiques sur Hiroshima et Nagasaki, Einstein fit parvenir le message suivant au *World Congress of Intellectuals* :

*Nous scientifiques, dont la tragique destinée a été de contribuer à rendre les méthodes d'annihilation encore plus horribles et efficaces, devons considérer comme notre fonction transcendantale de faire tout ce qui est en notre pouvoir pour prévenir l'usage de ces armes aux fins brutales pour lesquelles elles furent inventées. Quel devoir pourrait revêtir une plus grande importance à nos yeux? Quel objectif social pourrait être plus cher à notre cœur?*<sup>8</sup>

Il est essentiel que les ingénieurs gardent à l'esprit les implications éthiques de leur travail et leur donne une position prioritaire dans leurs décisions. Cela signifie de penser aux implications éthiques du produit en mode de fonctionnement normal, en cas de défaillance, voire même dans les circonstances où le client fait un mauvais usage du produit (des situations, conditions ou usages non voulus par le concepteur). La possibilité de dommages incite les gouvernements à établir des réglementations et à encadrer la profession d'ingénieur dans plusieurs domaines. Toutefois, bien que plusieurs des responsabilités de l'ingénieur soient spécifiées par les lois applicables, la responsabilité éthique existe même lorsque l'obligation légale ne le précise pas.<sup>9</sup>

### Responsabilité humanitaire et sécurité des produits

Tous les ingénieurs assument une responsabilité éthique évidente en ce qui a trait à la préservation de la santé et du bien-être de ceux qui achètent leurs produits et de ceux qui pourraient entrer en contact avec ces produits, qu'il s'agisse d'un pont suspendu ou d'un produit de consommation. De plus, bien que tous les ingénieurs conçoivent des produits qu'on peut estimer bénéfiques, certains ingénieurs sont dans une position leur permettant de contribuer de façon remarquable à la santé, au bien-être et à la vitalité économique des individus et des communautés.

<sup>8</sup> Clark R. 1984. Einstein : *The Life and Times*. New York; Avon Books, 723.

<sup>9</sup> National Society of Professional Engineers. 2003. *Code of Ethics for Engineers*. [www.nspe.org/ethics/codeofethics2003.pdf](http://www.nspe.org/ethics/codeofethics2003.pdf)

## **Responsabilité environnementale**

Les catastrophes à grande échelle, comme Bhopal et Tchernobyl, sont des exemples qui font réaliser la puissance des ingénieurs concernant les impacts destructifs sur les communautés, les régions et les peuples. Dans ces deux cas, la défaillance d'un seul élément a détruit une multitude de vies, de moyens de subsistance et de biens. Tout aussi importants, cependant, sont les effets cumulatifs des produits fonctionnant normalement, qui se comptent par dizaines de milliers, et dont les effets polluants, la consommation de ressource et les problèmes de mise au rancart ont, avec le temps, des effets néfastes sur l'environnement et l'économie.

Bref, là où existe des implications éthiques au travail de l'ingénieur qui ont trait à la santé ou au développement durable de la terre, l'ingénieur ne peut échapper à ses obligations éthiques.

## **Responsabilité envers les fiduciaires**

L'ingénieur a des responsabilités fiduciaires envers les clients, la direction de l'entreprise et les actionnaires. Ni les clients, ni les actionnaires, n'ont une vision précise des activités journalières de l'ingénieur et des décisions de conception. Par conséquent, en ce qui concerne la responsabilité éthique, il est du devoir de l'ingénieur de préserver les intérêts et de favoriser le point de vue de ces intervenants.

## Objectifs du raisonnement de l'ingénieur

Le consortium CDIO (*Conceive-Design-Implement-Operate*) a construit un plan de cours complet pour la formation des ingénieurs qui est ratifié par plusieurs industries internationales et organismes académiques de renom.<sup>10</sup> Le plan de cours présente plusieurs niveaux d'objectifs d'apprentissage, parmi lesquels plusieurs utilisent de façon explicite le langage de la pensée critique. Cette liste est d'un grand secours aux professeurs qui désirent classer les objectifs atteints en formation.

### Dimension humaine du génie

- Faire preuve d'indépendance d'esprit et de jugement (2.4.2)<sup>11</sup>
- Démontrer un esprit de réciprocité (2.4.2)
- Être ouvert à l'ingéniosité et à l'innovation (2.4.1, 2.4.3)
- Accepter les différents points de vue des intervenants (2.3.1, 4.1.6)
- Éviter de juger (2.4.2)
- Développer une sensibilité face à l'égoïsme et au « sociocentrisme » (2.4.2)

### Dimensions cognitives : macro-habilités de l'ingénieur

- Déterminer quelles questions importantes doivent être résolues (2.2.1)
- Clarifier les questions et les affirmations techniques (2.2.1)
- Clarifier les idées relevant de la technologie (2.1, 2.2, 3.2)
- Établir des critères pour l'évaluation technique (4.4.6)
- Évaluer les instances reconnues en génie et en science (2.2.2)
- Poser les questions essentielles et travailler à y répondre (2.2.1)
- Évaluer les arguments techniques (2.4.4)
- Trouver et évaluer les solutions aux problèmes techniques (2.1)
- Identifier et clarifier les points de vue pertinents (4.2)
- Appliquer la méthode socratique et la pensée dialectique aux questions d'ingénierie.
- Éviter la simplification excessive des situations.
- Développer une perspective de l'ingénieur (4.x)

### Dimensions cognitives : micro-habilités de l'ingénieur

- Évaluer les données (2.1.1)
- Analyser les hypothèses (2.1.1)
- Identifier et utiliser les modèles applicables (2.1.2)
- Expliquer les généralisations (2.1.3)
- Mettre en doute les informations incomplètes ou ambiguës (2.1.4)
- Analyser les résultats significatifs des solutions et des essais (2.1.5)
- Expliquer les incohérences dans les résultats (2.1.5)
- Réaliser des inférences valables en génie (2.1)
- Fournir des justifications valables aux conclusions de design (4.4)
- Tenir compte des opinions divergentes
- Tenir compte des conséquences et implications techniques, légales, réglementaires, économiques, environnementales et de sécurité (4.1.1)
- Distinguer les faits des principes, valeurs et idées propres au génie.

<sup>10</sup> Pour plus de détails, voir le site [www.cdio.org](http://www.cdio.org).

<sup>11</sup> Les codes font référence aux sujets du plan de cours du CDIO.

## Évaluation du travail de l'étudiant en génie

### La note F

Un travail qui se mérite la note « F » démontre une méconnaissance des bases du raisonnement de l'ingénieur et, dans tous les cas, il ne démontre pas les talents et habiletés qui sont au coeur de ce cours. Le travail est aussi vague, imprécis et irrationnel à la fin du cours qu'il l'était au début. Rien n'indique que l'étudiant s'est véritablement engagé dans le développement de son raisonnement d'ingénieur. Plusieurs des travaux semblent avoir été réalisés pour la forme, de façon automatique et sans réel engagement intellectuel. Par conséquent, l'étudiant n'analyse pas les problèmes d'ingénierie avec clarté, ne présente pas son information avec exactitude, ne distingue pas l'information pertinente de celle qui ne l'est pas, n'identifie pas les hypothèses clés contestables, ne clarifie pas les concepts clés, ne raisonne pas soigneusement à partir de prémisses clairement énoncées et ne déduit pas les conséquences et les implications. Le travail de l'étudiant ne démontre pas de façon perceptible les habiletés de l'ingénieur, tant dans le raisonnement que dans la résolution de problème.

### La note D

La note « D » s'applique à un travail qui démontre une connaissance minimale de la pratique de l'ingénieur, ainsi que certaines habiletés, très limitées, qui lui sont propres. Cette note, à la fin du cours, signifie que l'étudiant affiche parfois un raisonnement d'ingénieur, mais utilise encore fréquemment un raisonnement non critique. La plupart des travaux sont plutôt mal exécutés. Rares sont les indices de « raisonnement » dans ces travaux. Souvent, l'étudiant semble simplement respecter les consignes des travaux sans s'y investir. La note « D » indique que l'étudiant ne réalise que rarement l'effort de prendre en charge le processus intellectuel, les idées, les hypothèses et les inférences. Un niveau de raisonnement qui se mérite la note « D » fait preuve d'un manque de discipline et de clarté. Des travaux recevant la note « D » indiquent que l'étudiant analyse rarement les problèmes d'ingénierie de façon claire et précise, qu'il ne présente que rarement ses informations avec exactitude, distingue rarement ce qui est pertinent de ce qui ne l'est pas, ne distingue pas bien les hypothèses clés, ne décrit qu'occasionnellement les concepts clés avec exactitude, utilise fréquemment un langage qui n'est pas celui de l'ingénieur et ne respecte pas les usages établis dans la profession, raisonne rarement avec soin à partir de prémisses clairement énoncées et ne déduit pas les conséquences et les implications importantes. Un travail de niveau « D » démontre un piètre raisonnement de l'ingénieur et de faibles habiletés à résoudre les problèmes.

### La note C

La note « C » s'applique à un travail qui démontre une acquisition inégale des habiletés de l'ingénieur et de la notion d'ingénierie. La note « C » obtenue à la fin du cours démontre que certaines habiletés de l'ingénieur émergent, mais que des carences importantes subsistent. Bien que certains travaux soient plutôt bien exécutés, d'autres sont d'une pauvre qualité ou, au mieux, médiocres. Les failles dans le raisonnement sont plus qu'occasionnelles. Bien que la terminologie de l'ingénieur soit parfois bien utilisée, ce n'est pas le cas dans beaucoup de situations. Ce n'est qu'à l'occasion que le travail de niveau « C » est le reflet d'un esprit qui assume ses propres idées, hypothèses, inférences et processus intellectuels. Il ne présente qu'occasionnellement une analyse des problèmes qui soit claire et précise, une information



exacte, une distinction entre ce qui est pertinent et ce qui ne l'est pas. Toute aussi occasionnelle est la reconnaissance des hypothèses clés contestables, la clarification efficace des concepts clés, l'usage d'un vocabulaire respectant les usages de la profession, le raisonnement soigné à partir de prémisses clairement établies, la reconnaissance des implications et conséquences importantes en génie.

## **La note B**

Le travail qui se mérite la note « B » montre une connaissance de l'ingénierie et démontre l'existence d'un ensemble d'habiletés et de talents spécifiques à l'ingénieur. Cette note, obtenue pour le cours, indique un travail qui est dans l'ensemble clair, précis, bien pensé, mais qui laisse parfois place à quelques raisonnements faibles. Dans l'ensemble, la terminologie de l'ingénieur et ses distinctions sont utilisées efficacement. Le travail laisse supposé un esprit qui prend en charge ses propres idées, hypothèses, inférences et processus intellectuels. L'étudiant analyse souvent les problèmes de génie avec clarté et précision, formule souvent son information avec exactitude, distingue généralement les éléments pertinents de ceux qui ne le sont pas, identifie souvent les hypothèses clés discutables, clarifie généralement bien les concepts clés. L'étudiant, règle générale, utilise bien le langage de l'ingénieur et respecte les usages de la profession. Il montre une tendance générale à réfléchir avec soin à partir de prémisses clairement établies et démontre une sensibilité aux implications et conséquences importantes. La note « B » est attribuée à un travail qui démontre un bon raisonnement de l'ingénieur et de bonnes habiletés dans la solution de problème.

## **La note A**

Le travail qui se mérite la note « A » montre une connaissance poussée de l'ingénierie et démontre l'existence d'un ensemble complet d'habiletés et de talents spécifiques à l'ingénieur. Cette note, obtenue pour le cours, indique un travail qui est dans l'ensemble clair, précis, bien pensé, mais qui laisse parfois place à quelques raisonnements plus faibles. La terminologie de l'ingénieur et ses distinctions sont utilisées efficacement. Le travail laisse supposé un esprit qui prend en charge ses propres idées, hypothèses, inférences et processus intellectuels. L'étudiant analyse souvent les problèmes de génie avec clarté et précision, formule souvent son information avec exactitude, distingue généralement les éléments pertinents de ceux qui ne le sont pas, identifie souvent les hypothèses clés discutables, clarifie généralement bien les concepts clés. L'étudiant, règle générale, utilise bien le langage de l'ingénieur et respecte les usages de la profession. Il relève souvent les points de vue différents mais pertinents. Il montre une tendance générale à réfléchir avec soin à partir de prémisses clairement établies et démontre une sensibilité évidente aux implications et conséquences importantes. La note « A » est attribuée à un travail qui démontre un excellent raisonnement de l'ingénieur et d'excellentes habiletés dans la solution de problème. Le travail de l'étudiant qui se mérite un « A » fait toujours preuve d'un haut niveau d'excellence intellectuelle.

## Le problème de la pensée égocentrique

La pensée égocentrique résulte du fait regrettable que l'humain n'a pas naturellement tendance à tenir compte des droits et des besoins d'autrui. Il n'est pas naturel pour lui de valoriser le point de vue des autres, ni de voir les limites de son propre point de vue. L'homme ne se rend compte de son point de vue égocentrique que s'il est entraîné à le faire. Normalement, il ne prend pas conscience de ses hypothèses égocentriques, de la façon égocentrique dont il utilise l'information et les données. Il ne voit pas la source de ses concepts et idées égocentriques, ni les implications de son raisonnement égocentrique. Sa perspective tournée vers sa propre satisfaction lui est également difficile à admettre. Comme humain, nous vivons avec l'impression irréaliste, et pourtant pleine de certitude, que nous oeuvrons de façon objective. Nous croyons tout naturellement en notre perception intuitive, quand bien même elle serait inexacte. Plutôt que d'utiliser les normes de raisonnement, nous utilisons souvent des normes psychologiques personnelles pour déterminer quoi croire et quoi réfuter. Voici les normes psychologiques les plus utilisées dans la pensée humaine :

« **C'EST VRAI PARCE QUE J'Y CROIS** » Égocentrisme inné : Je prends pour acquis que mes croyances sont justes bien que je n'aie jamais remis en questions les fondements de plusieurs de mes croyances.

« **C'EST VRAI PARCE QUE NOUS Y CROYONS** » *Sociocentrisme* inné : Je prends pour acquis que les croyances couramment admises dans le groupe auquel j'appartient sont justes bien que je n'aie jamais remis en questions les fondements de plusieurs de ces croyances.

« **C'EST VRAI PARCE QUE JE VEUX Y CROIRE** » Pensée magique innée : Je crois, par exemple, en une vision des choses qui me montre (moi ou le groupe auquel j'appartiens) sous un jour favorable plutôt que défavorable, même si je n'ai jamais sérieusement considérés les faits qui pourraient mettre en évidence le côté négatif de cette vision. Je crois en ce qui m'est agréable de croire, en ce qui supporte mes autres croyances, en ce qui ne me demande pas de changer ma façon de penser trop radicalement, en ce qui ne me demande pas d'admettre mon erreur.

« **C'EST VRAI PARCE QUE J'Y AI TOUJOURS CRU** » Auto-validation innée : j'éprouve un fort désir de conserver les croyances que j'ai depuis longtemps, même si je n'ai jamais sérieusement tenter de déterminer jusqu'à quel points ces croyances sont justifiées, en regard des faits.

« **C'EST VRAI PARCE QUE C'EST DANS MON INTÉRÊT PERSONNEL D'Y CROIRE** » Égoïsme inné : je m'accroche aux croyances qui justifient que j'obtienne davantage de puissance, d'argent ou d'avantages personnels, même si ces croyances n'ont aucun fondement rationnel ou ne disposent d'aucun fait pour les étayer.

Comme les humains sont naturellement portés à évaluer leur jugement en fonction des critères énoncés ci-dessus, il n'est pas surprenant que nous n'ayons pas, comme espèce, développé un intérêt significatif pour l'établissement et l'enseignement de normes intellectuelles légitimes. Que notre raisonnement soit souvent faussé ne constitue donc pas une surprise. Nous sommes vraiment une espèce qui « croit ses propres mensonges ».

## Étapes du développement de la pensée critique

Penseur irréfléchi	N'est pas conscient des lacunes graves de son raisonnement.
Penseur éprouvant de la difficulté	Doit faire face à de sérieux problèmes de raisonnement.
Penseur novice	Cherche à s'améliorer, mais sans pratique régulière.
Penseur en évolution	Réalise l'importance de travailler régulièrement son raisonnement.
Penseur avancé	Progresse tout en continuant de se pratiquer.
Maître penseur	Les bonnes habitudes de raisonnement deviennent une seconde nature.