

L'APPLICATION DE LA TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION DANS LA FORMATION DES INGENIEURS

Pieter W.G. BOTS*
Policy Analysis Group
Département de Technologie, Politique et Gestion
Université de Delft, B.P. 5015,
NL-2600 GA Delft, PAYS-BAS
e-mail : p.w.g.bots@tpm.tudelft.nl

Résumé:

La technologie de l'information et de la communication est-elle en mesure d'augmenter le rendement de l'enseignement dispensé aux futurs ingénieurs? La première évaluation de son application au département de Technologie, Politique et Gestion (TPG) de l'Université de Delft semble indiquer que la réponse à cette question est positive. Toutefois, cette conclusion réclame encore quelque prudence. L'Internet, des produits standards tels que Microsoft PowerPoint, et des logiciels éducatifs pourront tous les trois améliorer les conditions de travail de l'étudiant. Or, le système étudiant-matières-enseignant étant adaptatif, il est difficile d'établir ses progrès réels. La clé de la réussite n'est pas tant l'application de telle ou telle technique, mais la création de critères susceptibles de mesurer les performances des étudiants aussi bien que celles des enseignants, critères qui ne devraient admettre aucune dérogation.

Mots-clés:

Systèmes de formation; enseignement; outils informatiques.

I. LE PROGRAMME DES ÉTUDES AU DÉPARTEMENT DE TPG

L'objectif principal d'un programme d'études en *system engineering* est de former de bons ingénieurs. Cela implique que l'étudiant:

- apprend à manier différentes formes de complexité d'ordre mathématique, technique, politique, social, etcétera.
- devient compétent en matière d'analyse et de synthèse.
- devient habile en implémentation.
- se familiarise avec les méthodes et les outils utilisés dans la science des systèmes.

* Je tiens à remercier mon père, Wim J.A. BOTS, professeur de langue et de littérature Françaises de l'Université de Leyde, membre de l'Académie du Var, sans l'aide de qui ce texte aurait été moins 'français'.

Outre ces aptitudes générales [8], l'étudiant est censé s'acquérir des connaissances en une seule discipline technique, telle que la chimie ou la mécanique, et/ou dans un domaine d'application, tel que la télécommunication, les ponts et chaussées ou le service des eaux et forêts.

La variété des programmes d'études en *system engineering* révèle plusieurs orientations possibles. L'enseignement peut être centré sur:

- le dessin de systèmes techniques, comme les machines cybernétiques, les systèmes de contrôle, d'information, etcétera,
- le dessin de systèmes homme-machine (cet apprentissage prête surtout attention à des aspects cognitifs, physiologiques et ergonomiques),
- le dessin de systèmes commerciaux, soit logistiques, soit industriels (cet apprentissage porte surtout sur la Recherche Opérationnelle).
- le dessin de systèmes de gestion (inter)nationale (outre sur l'efficacité et l'efficience, cet apprentissage met surtout l'accent sur l'équité, la légitimité et l'acceptabilité sociale).
- la conception de techniques nouvelles pour l'analyse et le dessin de systèmes, des techniques telles que *fuzzy logic*, réseaux neuraux, et l'intelligence artificielle.

A l'université de Delft, en 1992, au moment de la mise au point du programme TPG, on a décidé de concentrer l'enseignement et les recherches sur l'analyse et le dessin de systèmes concernant d'un côté la politique (inter)nationale, régionale, voire locale, de l'autre la technologie, notamment sur le plan du transport, de la télécommunication, de l'énergie et du service des eaux [1, 9].

Les études TPG sont conçues autour de quatre axes, dont l'axe TPG est l'axe principal. Les modules groupés autour de ce dernier portent sur des paradigmes, des méthodes et des outils permettant de formuler des problèmes, et de concevoir et d'analyser des systèmes. Au cours des quatre années sur lesquelles s'étend la formation du futur ingénieur, le degré de

complexité des problèmes soumis aux étudiants augmente aussi bien sur le plan institutionnel et politique que sur celui de la technologie.

Les modules groupés autour de l'axe *Politique, Organisation et Gestion* (POG) portent sur des aspects institutionnels et l'étude du comportement social. Au fur et à mesure, l'étudiant se familiarise avec les principes fondamentaux des sciences économiques, juridiques et politiques, et ceux de la gestion.

Les modules groupés autour du troisième axe, *Modélisation Mathématique* (MM), comprennent les mathématiques spéciales, la physique et certaines techniques de Recherche Operationnelle.

A mi-chemin de la première année, l'étudiant choisit un des domaines d'application suivants: systèmes de transport, systèmes industriels, systèmes d'information et communication, ou systèmes d'eaux. Ce domaine d'application choisi constitue le quatrième axe des études TPG. Les modules liés à chaque domaine d'application prêtent attention tant à la technologie qu'à la gestion du système.

Il y a deux types de module: celui consacré à la transmission de connaissances théoriques et celui consacré à l'intégration et l'application de ces connaissances au cours de la réalisation d'un projet. C'est en travaillant à de tels projets que l'étudiant apprend à organiser son travail à l'intérieur d'un team, à respecter les dates limites, et à présenter ses résultats par écrit et oralement.

Tableau 1. Aperçu du programme TPG

Axe	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Total
TPG	6	3	6	3	18
POG	6	8	9	3	26
MM	17	12	3	-	32
domaine	6	8	8	8	30
projets	10	10	10	22	52
options	-	-	6	6	12
	42	42	42	42	168

(1 point = 1 semaine ou 40 heures d'étude)

Le tableau 1 donne un aperçu du programme actuel des études TPG. L'étudiant doit obtenir au total 168 points (1 point = 1 semaine ou 40 heures d'étude). Cet aperçu révèle que la formation mathématique occupe une place importante dans les deux premières années, que le nombre de cours consacrés aux matières TPG et POG augmente graduellement, que l'étudiant continue à travailler au domaine d'application de son choix, et qu'il lui reste, à partir de la troisième année, quelque marge pour les options, soit à Delft, soit à l'étranger. Les 22 points mis pour les projets de la quatrième année réfèrent à la préparation du mémoire.

Chaque année d'enseignement est divisée en cinq périodes. En chaque période sont enseignées trois matières, dont une est faite de la préparation d'un projet, alors que les deux autres sont plutôt de caractère théorique. Comme l'auteur de cet article était pendant plusieurs années responsable de

l'enseignement dans la première année, il se bornera surtout à cette partie du programme. Le tableau 2 montre comment les 42 points à obtenir dans la première année sont répartis sur 10 modules. Notez comment l'enseignement dispensé selon la répartition des matières enseignées sur les cases du tableau 2 garantit l'équilibre de la concentration et de la variété. En outre, étant donné que chaque module se termine par un examen, cette répartition des matières a pour effet positif que l'étudiant n'a qu'un seul examen à passer à la fin de chaque période, à l'exception de la dernière période.

Tableau 2. Répartition des cours sur la première année du programme TPG

	Période				
	1	2	3	4	5
Théorie 1	TPG-1	POG-1		domaine-1	
Théorie 2	MM-1 (+2)		MM-2	TPG-2	
Projets	P-1	P-2	P-3	P-4	

Si, jusqu'ici, cet exposé a mis en lumière l'ensemble du programme d'études TPG, les paragraphes suivants porteront uniquement sur le module TPG-1 (*Introduction à la Technologie, Politique et Gestion*). Tout d'abord (§2), il s'agira de décrire brièvement les méthodes élémentaires d'analyse et de dessin telles qu'elles sont enseignées dans ce module, méthodes qui sont censées être connues de vous. Ensuite (§3) seront présentés le niveau requis à la fin du module et la manière de le contrôler. Ces deux paragraphes permettront de mieux comprendre le §4, ou sera décrite la fonction de l'Internet en tant que moyen d'enseignement plutôt unilatéral. Dans le §5 sera présentée une technologie plus sophistiquée conçue spécifiquement pour l'enseignement des méthodes d'analyse des systèmes. Finalement (§6) seront évalués les résultats obtenus au cours d'une année d'application, faite à titre d'essai, de ces deux technologies.

II. MÉTHODES ÉLÉMENTAIRES D'ANALYSER ET DE DESSINER DES SYSTÈMES

Tout au long du curriculum TPG, l'analyse et/ou le dessin de tel ou tel système est conçu(e) comme la résolution d'un problème. A mesure que l'étudiant avance, il apprend à approcher le problème du point de vue des différents intéressés, et il découvre une variété de rationalités permettant d'expliquer le comportement stratégique – parfois apparemment irrationnel – en politique. Toutefois, au début de la première année, il ne s'agira pour l'étudiant que de prendre en considération le point de vue d'un seul intéressé et une seule forme de rationalité. Bref, un seul 'client' qui ressent que telle ou telle situation est 'problématique', c'est-à-dire, qu'au moment voulu la réalisation de ses objectifs pose un problème, et que la solution de ce problème requiert à la fois un raisonnement de cause à effet et une attitude créatrice. Le

chemin à parcourir est présenté à l'étudiant comme s'il se faisait en 6 étapes :

1. *Conception du problème*: Cette première étape est consacrée à l'identification des facteurs pertinents. L'analyse des objectifs du client [4] sert à établir les critères qui permettent d'évaluer les différentes solutions potentielles. L'analyse causale sert à définir les facteurs qui contribuent à la réalisation des objectifs ou qui y sont nuisibles, et en même temps à révéler des effets secondaires (désirés ou non). Ce qui caractérise cette étape c'est que l'analyse est qualitative et qu'elle garde un haut niveau d'abstraction [3].
2. *Précision du problème*: Dans cette étape, le modèle causal qualitatif est transformé (en partie) en un modèle quantitatif. Comme l'étudiant ne connaît pas encore les méthodes statistiques avancées, il apprend la quantification à l'aide de techniques d'approche simples et de calculs 'faits à la française'. Le but de cette approche est d'identifier les facteurs et les rapports qui déterminent fortement la valeur des critères du client. En outre, la précision du problème exige l'analyse des activités effectuées au niveau du problème. L'étudiant apprend à appliquer les principes élémentaires de SADT (*Structured Analysis and Design Technique* [6]) ainsi qu'à mettre la structure du système des activités en rapport avec les objectifs du client par le biais d'indicateurs de performance.
3. *Recherche de solutions*: A cet effet, l'étudiant apprend à utiliser le modèle causal en vue d'une analyse moyen-objectif aboutissant à un certain nombre de mesures (solutions partielles) susceptibles d'être réunies dans un ensemble. Afin d'agrandir sa faculté créatrice, l'étudiant doit se familiariser avec des techniques telles que remue-méninge et raisonner par analogie. SADT est utilisé, dans cette étape aussi, pour l'élaboration d'une solution dans la mesure où celle-ci requiert des modifications dans le système des activités.
4. *Choix*: L'étudiant apprend trois méthodes pour faire un choix rationnel fondé sur les critères et les indicateurs de performance trouvés au cours des trois étapes précédentes: le *score card* [2], SMART [10] et l'arbre décision-événement [7].
5. *Implémentation*: La mise au point de la solution choisie peut être facilitée à l'aide de techniques de planning et d'organisation, notamment CPM [5].
6. *Evaluation*: Tout choix rationnel de quelque intérêt mérite une évaluation sérieuse. Bien que ce point soit traité en détail au cours du programme TPG, le module TPG-1 y prête peu d'attention.

L'objectif de ce choix des techniques soumises à l'étudiant au cours de chaque étape a été de lui apprendre à approcher le problème plutôt sous l'angle de la conduite des affaires (publiques) que sous celui de la technologie pure et simple.

III. NIVEAUX DES COMPÉTENCES

Quel niveau de maîtrise peut être exigé de l'étudiant de première année après huit semaines d'enseignement? Qu'il soit un expert dans les techniques pré-citées est illusoire. Ce qui, raisonnablement, peut être demandé de sa part c'est :

- connaissance des concepts différents sur lesquels sont fondées les méthodes enseignées: l'étudiant comprend les principes analytiques de la modélisation et sait comment peuvent être utilisés les modèles qui en résultent.
- connaissance de la syntaxe des méthodes enseignées: l'étudiant connaît ses systèmes de notation, en particulier les diagrammes qui s'y rapportent.
- habileté à appliquer les méthodes enseignées à des situations d'une complexité relative: l'étudiant est capable de mettre rapidement au point un modèle, utile en ce sens qu'il fournisse des informations révélatrices sur le système.

Pour vérifier si les étudiants ont effectivement atteint les compétences requises, les épreuves suivantes leur sont soumises :

- Deux pré-tests (durée 2 heures), le premier dans la 3^{ème} semaine, le second dans la 5^{ème}, chacun portant sur la moitié environ des matières. L'étudiant sait d'avance quelles questions lui seront posées, mais il ignore le problème auquel elles se rapportent. Chaque pré-test comprend trois épreuves, le premier: une analyse d'objectifs, une analyse causale et une analyse d'activités, le second: une analyse multi-critères, un arbre décision-événement et une analyse CPM. Pour *chaque* épreuve, l'étudiant doit obtenir au moins 5.5 sur 10 points. L'étudiant qui obtient 7.0 ou plus pour chacun des deux pré-tests est dispensé de passer l'examen proprement dit. Les pré-test sont sans conséquences négatives, les notes insuffisantes ne comptent pas.
- Un examen (durée 3 heures), dans la 8^{ème} semaine, comprenant l'ensemble des matières enseignées. Si, cette fois-ci, l'étudiant ignore les questions, il sait que 5 questions porteront sur les 6 techniques citées ci-dessus et/ou sur d'autres concepts ou techniques traités au cours. Quelques jours auparavant, le problème à analyser lors de l'examen est communiqué à l'étudiant par l'Internet sous forme d'un article de journal récent (cf. <http://www.sepa.tudelft.nl/modulemateriaal/tb012i>).

Toutes les questions sont bipartites: la première partie porte sur la construction d'un modèle, la seconde sur son utilisation. Par exemple, est demandé à l'étudiant : 1) de représenter par un modèle SADT la logistique d'une usine de béton, 2) de définir trois indicateurs de performance et d'indiquer à quel endroit précis du système ces indicateurs doivent être mesurés.

Afin de vérifier si l'étudiant est capable de mener à bien l'analyse d'un problème, il faut que le cas présenté dans l'article de journal se prête à plusieurs interprétations

(= conceptions du problème). Par conséquent, il n'y a pas qu'une seule bonne réponse, ce qui demande beaucoup d'expérience de la part de l'examineur. Au fil des trois dernières années, a été mis au point un barème à la fois strict, objectif et transparent. Strict: en moyenne il n'y a que 35% de reçus. Objectif: plusieurs assistants chargés de la correction des mêmes copies sont arrivés indépendamment les uns des autres à des jugements pratiquement identiques. Transparent: après coup les étudiants, qui ont reçu une photocopie de leur travail, peuvent vérifier eux-mêmes les fautes qu'ils ont faites. Comme toutes les fautes possibles sont codifiées (par exemple, 'D: -1 point'), ils peuvent constater non seulement le genre de faute, mais encore sa gravité. Effet secondaire positif: le nombre d'étudiants venant poser des questions sur leur copie s'est réduit à pratiquement zéro, ce qui constitue un gain de temps considérable pour le prof...

IV. UTILISATION DE L'INTERNET COMME CANAL D'INSTRUCTION ET DE FEED-BACK

Dans l'enseignement de *system engineering* à l'université de Delft, le *World Wide Web* est utilisé de deux manières:

1. de la manière traditionnelle, qui consiste à publier les diapositives montrés pendant les cours, ainsi que les épreuves des années précédentes. Ces épreuves sont accompagnées de leurs corrigés (normalement 8-10 pages, y compris les diagrammes) et de la codification des fautes. L'ensemble sert à la fois de matière d'entraînement et d'indication du niveau. Ainsi, chaque module du programme TPG a-t-il sa propre *web page*.
2. d'une manière plus sophistiquée, qui développe la manière traditionnelle en présentant la genèse d'un modèle sous la forme d'une présentation avec minutage automatique dans Microsoft PowerPoint, présentation qui montre les stades successifs de la modélisation. La figure 1 présente quatre des quarante stades environ requis pour la modélisation en SADT d'un haut-fourneau. Ce qu'un article comme celui-ci ne permet pas de révéler c'est que ces différents stades sont explicités par la voix d'un enseignant. Chaque transparent est lié à un ou plusieurs fichiers sonores (.WAV) et le texte parlé est synchronisé avec l'animation.

Bien que la seconde manière ajoute beaucoup plus d'éléments didactiques au feed-back, elle n'oblige pas encore l'étudiant à participer réellement à l'exercice. Pour augmenter sensiblement cette participation, il faudra des applications de ICT encore beaucoup plus sophistiquées. C'est à cela que visent nos efforts actuels.

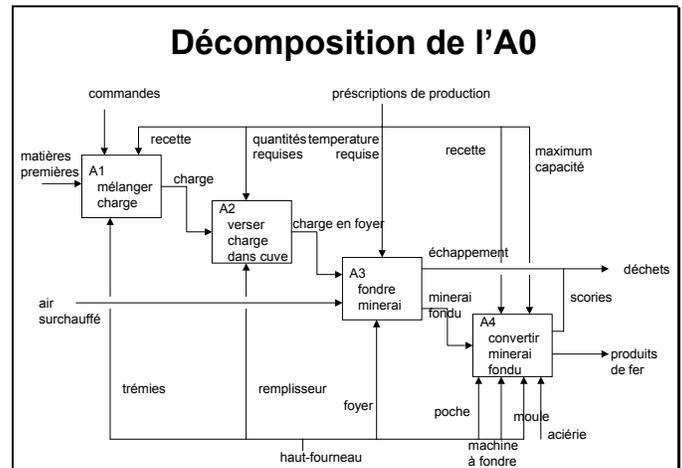
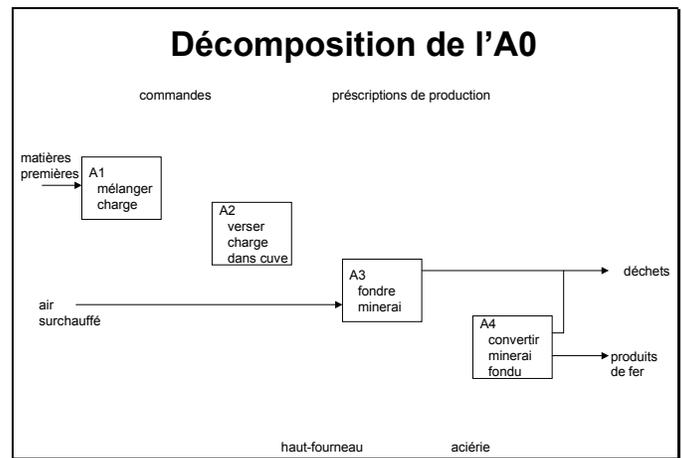
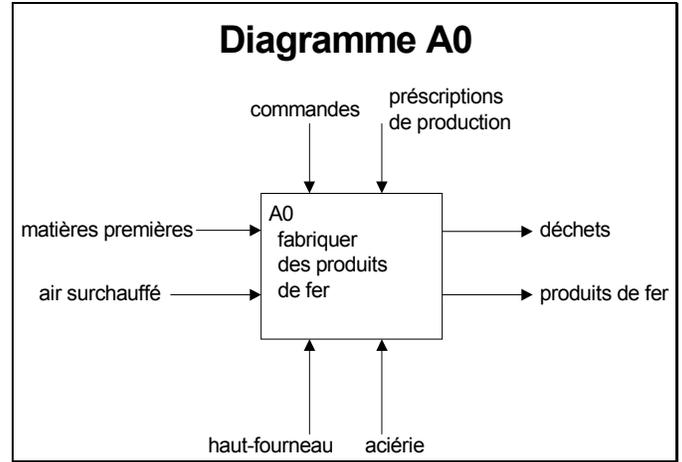


Figure 1. Fragments d'une diaporama expliquant la modélisation en SADT

V. OUTILS D'ENTRAÎNEMENT SUR MESURE

Cette participation active de l'étudiant exige que chaque fois à nouveau il soit obligé de faire des choix pour en arriver à

établir un bon modèle. En outre, l'application ICT doit être en mesure d'indiquer, soit immédiatement après chaque choix, soit après coup, que ce(s) choix a (ont) été correct(s). Pour le module TPG, ont été mises au point de telles applications, permettant à l'étudiant de s'entraîner dans chacune des techniques présentées au §2:

1. Un outil "trouvez l'erreur" tel qu'il est présenté dans la figure 2, outil qui demande à l'étudiant de dépister les composantes du modèle qu'il suppose erronées, et d'expliquer ensuite de quel genre de faute il s'agit.
2. Un outil "remplissez les blancs" tel qu'il est présenté dans la figure 3, outil qui demande à l'étudiant d'entraîner un item de la liste (à droite sur l'écran) vers l'endroit exact du diagramme (à gauche de l'écran). Cet outil est hiérarchique en ce sens que le modèle représenté par le diagramme peut avoir plusieurs niveaux. Pour faciliter le passage d'un niveau à l'autre, l'enseignant peut placer des *hyperlinks* tels que A0 et A1 à l'intérieur du diagramme. Ainsi, l'étudiant peut-il 'monter' (par A0) et 'descendre' (par A1) dans l'arbre constitué par une collection de schémas SADT.
3. Un outil demandant à l'étudiant de construire un *score card*.
4. Un outil demandant à l'étudiant de construire un arbre décision-événement.
5. Un outil demandant à l'étudiant de construire un modèle CPM.

Pour chaque outil-étudiant, l'enseignant dispose d'un outil-enseignant lui permettant de composer plusieurs exercices, accompagnés de leur corrigé ainsi que des explications des fautes fréquemment faites. Afin d'établir quelles sont les fautes les plus fréquentes, toutes les fautes faites par les étudiants sont inscrites sur une base de données centrale. Pour augmenter le degré de difficulté de l'épreuve, il est possible d'y intégrer des "pièges".

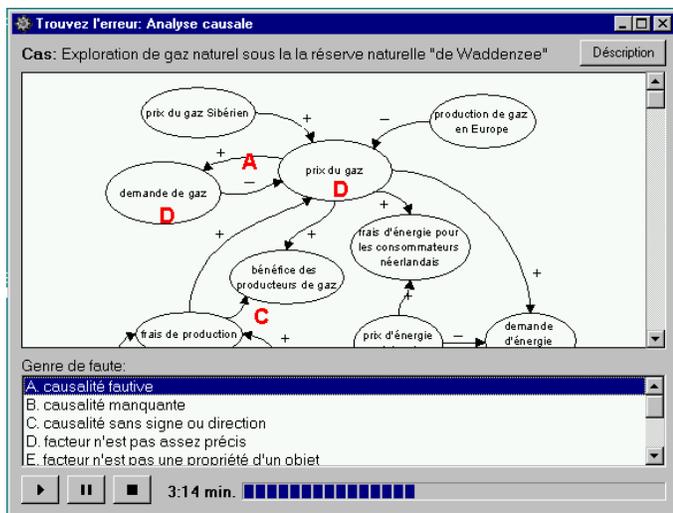


Figure 4. Écran-modèle de l'outil "trouvez l'erreur" adapté à l'analyse causale

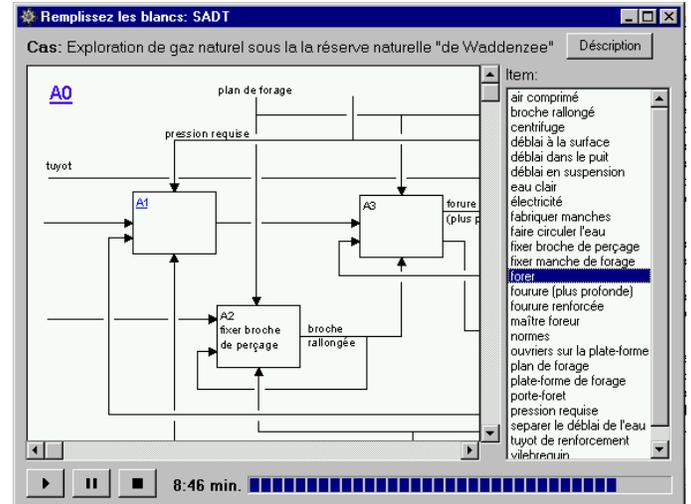


Figure 3. Écran-modèle de l'outil "remplissez les blancs" adapté à la SADT

VI. ÉVALUATION ET CONCLUSION

Depuis trois ans le Web est utilisé de la manière traditionnelle en fonction du module TPG-1. En général, les résultats ont été positifs. Les étudiants apprécient qu'il leur soit fourni plus de matériel qu'auparavant. Si, dans les années précédentes, les étudiants se plaignaient d'un manque d'exercices, en ce moment il y en a qui estiment que l'abondance du matériel leur est devenue une gêne. Pour diminuer leur désorientation, il serait possible de grouper les questions se rapportant à l'ensemble des problèmes des pré-tests et examens précédents selon la méthode qui doit être utilisée. Les diaporamas dans PowerPoint, étant classés selon la méthode enseignée, comblent depuis peu cette lacune. Toutefois, comme la mise en œuvre de cette application du Web date d'il y a six mois seulement, il est difficile de l'évaluer déjà. Les applications ICT interactives ne sont encore que des prototypes. Eu égard aux frais de leur développement, ces prototypes donnent de grandes espérances.

Malgré le fait que les applications ICT sont toutes des réussites sur le plan technique, il faudra faire des réserves. Les notes obtenues par les étudiants ne répondent pas à l'investissement dans la préparation du matériel pour le Web. Il s'avère que les efforts de l'étudiant diminuent dans la mesure où on lui facilite les études, ce qui fait que ses résultats restent les mêmes.

La forte structuration des matières et l'explicitation du barème du module TPG-1 en ont sensiblement élevé le niveau. Par conséquent, si le nombre d'étudiants reçus n'a pas changé, ils ont été sélectionnés plus sévèrement. Ainsi, l'application ICT semble-t-elle contribuer à la qualité de l'enseignement du *system engineering*.

RÉFÉRENCES

- [1] P.W.G. BOTS, W.A.H. THISSEN, “Issues in Systems Curriculum Design”, Proceedings 1996 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Beijing, PRC, pp. 3144-3149, (1996).
- [2] B.F. GOELLER and the PAWN Team, “ Planning the Netherland’s Water Resources” in H.J. MISER (Ed.) *Handbook of Systems Analysis III*, Chichester: Wiley, pp. 117-152, (1995).
- [3] A.S. HUFF (Ed.), “Mapping Strategic Thought”, Chichester: Wiley, (1990).
- [4] J.S. HAMMOND, R.L. KEENEY, H. RAIFFA, “Smart Choices: A Practical Guide to Better Decision Making”, Cambridge, MA: Harvard Business School Press (1992).
- [5] K. LOCKYER, J. GORDON, “Critical path analysis and other project network techniques”, 5th edition, London: Pitman Publishing, (1991).
- [6] D.A. MARCA, C.L. MCGOWAN, “SADT: Structured Analysis and Design Technique”, New York: McGraw-Hill (1988).
- [7] H. RAIFFA, “Decision Analysis: Introductory Lectures on Choices Under Uncertainty” New York: McGraw-Hill, (1968).
- [8] A.P. SAGE, “Systems Engineering”, New York: Wiley, (1992).
- [9] THISSEN, W.A.H., R.R. MEINSMA, P.G.J. TWAALFHOVEN “Project Learning in the TU Delft Curriculum in Systems Engineering, Policy Analysis, and Management”, In: Proceedings 1995 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Vancouver, BC, pp. 4350-4355, (1995).
- [10] D. VON WINTERFELDT, W. EDWARDS, “Decision Analysis and Behavioral Research”, Cambridge, UK: Cambridge University Press, (1986).