



HAL
open science

De l'Ingénierie système à l'Apprentissage système

Olivier Reynet

► **To cite this version:**

Olivier Reynet. De l'Ingénierie système à l'Apprentissage système: Une vision autopoïétique de l'enseignement supérieur. Questions de pédagogies dans l'enseignement supérieur, Jun 2013, Sherbrooke, Canada. pp.38. hal-00854786

HAL Id: hal-00854786

<https://hal.science/hal-00854786>

Submitted on 28 Aug 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DE L'INGENIERIE SYSTEME A L'APPRENTISSAGE SYSTEME

Une vision autopoïétique de l'enseignement supérieur

Olivier Reynet¹

¹ *ENSTA Bretagne, LabSTICC/IHSEV, Brest, France*

Olivier.Reynet@ensta-bretagne.fr

Résumé

Depuis quelques années, l'Ingénierie Système (IS) a pris place dans les formations d'ingénieurs du monde entier. Cette nouvelle discipline, fille de l'industrie des systèmes complexes et de la pensée systémique, fait naître une problématique sous la forme d'un paradoxe réflexif pour l'enseignant-chercheur : l'IS peut-elle contribuer à améliorer la transposition didactique de l'IS et le système lui-même ?

Mots-clés

Ingénierie Système, transposition, projet, autopoïèse, positivisme, activités

I. INTRODUCTION

Le concept d'Ingénierie Système (System Engineering) est né dans les années 1950 (Schlager, 1956) d'un ensemble de facteurs parmi lesquels on dénote (Donnadieu, 2004) : l'échec de l'approche scientifique réductionniste à appréhender les systèmes complexes, les efforts des chercheurs américains (Bell Labs) pendant et après la seconde guerre mondiale, l'accélération technologique qui s'en est suivie, la naissance de la cybernétique et l'essor des sciences humaines et sociales appliquées aux organisations. L'Ingénierie Système (IS) est une déclinaison de l'approche systémique dans le domaine de l'industrie des systèmes complexes. Sans cette approche, la société ASTRIUM n'aurait probablement pas pu lancer 52 fois de suite une fusée Ariane 5 avec succès (ASTRIUM, 2012). L'Ingénierie Système est, d'après l'Association Française d'Ingénierie Système (AFIS), une démarche méthodologique coopérative et interdisciplinaire (AFIS, 2012). En s'appuyant sur la science, l'expérience et sur des critères d'efficacité mesurables, son but est de définir, de faire évoluer et de vérifier les systèmes tout au long de leur cycle de vie. Dans le cadre de l'IS, le mot **système** n'est pas réduit à la notion de système technique; il s'agit d'un ensemble organisé de matériels, logiciels, compétences humaines et processus en interaction (Meinadier, 2012). Par rapport aux systèmes

sociotechniques, l'application des principes de l'IS pourrait apporter de la rigueur dans l'ingénierie et la ré-ingénierie des organisations complexes, tout comme une meilleure connaissance des processus mis en jeu par l'humain et une ouverture sur les sciences psychosociales pourraient accroître la pertinence des méthodes et des outils de l'IS.

La majorité des systèmes auxquels s'applique l'IS sont complexes. Dans le contexte de l'ingénieur, il est généralement admis que le caractère complexe d'un système émane de sa nature fonctionnelle évolutive, du nombre considérable de ses constituants, des interactions multiples qu'il met en jeu, de sa dépendance à un environnement multiforme, de sa répartition (ou dispersion) dans l'espace physique et conceptuel, de la logistique dont il a besoin, du niveau de technologie qu'il met en jeu et de l'influence critique du facteur humain. On est alors dans l'incapacité de décrire tout le système et de déduire son comportement à partir de la connaissance des comportements de ses parties (Mélèse, 1972). Enseigner l'IS fait naître une problématique sous la forme d'un paradoxe réflexif pour l'enseignant-chercheur : peut-on appliquer l'IS à la transposition didactique de l'IS ? Pour répondre à cette interrogation, il faut d'abord tenter de dégager le caractère complexe de l'enseignement de l'IS, ainsi que les caractéristiques principales de cette discipline. Comment est-elle comprise et appréhendée par les institutions qui la proposent dans leur cursus ? Quelles sont les limites de ces transpositions et les facteurs qui freinent l'apprentissage de l'IS ? Comment l'approche système peut-elle contribuer à dépasser les limites de ces transpositions et du système de formation et de recherche en général ?

II. INTERPRETATIONS ET TRANSPOSITIONS DE L'IS

La signification de l'IS varie selon le contexte dans lequel il est proposé aux étudiants. Beaucoup de formations s'appuient sur la définition de l'AFIS, qui elle-même provient de l'INCOSE (International Council on Systems Engineering), fédération dont fait partie l'AFIS (INCOSE, 2012). Dans ce cas, enseigner l'IS revient à former les étudiants à appréhender la conception de systèmes, du début à la fin de vie de celui-ci, dans l'optique de satisfaire les besoins des clients. Parfois, enseigner l'IS est également interprété à l'intérieur d'un domaine métier, par exemple : ingénierie des systèmes informatiques communicants, ingénierie des systèmes mécaniques, ingénierie des systèmes complexes. Enseigner l'IS peut également être associé à des formations à la gestion de projet, au management ou des formations à la gestion des systèmes d'information. Enfin, d'autres formations s'orientent vers la théorie des systèmes et l'épistémologie systémique (Fraser & Gosavi, 2010).

Pour l'auteur de cet article, enseigner l'IS se réfère tout naturellement à la définition de l'AFIS. Mais il est important de noter l'abondance des formations qui revendiquent l'utilisation de l'IS et qui, pourtant, ne partagent pas les mêmes finalités. Toutes s'appuient sur des systèmes dont le nombre de constituants est important et qui interagissent pour produire un objet pour un client. Cependant, elles

se polarisent souvent selon un axe privilégié technique, organisationnel ou épistémologique. Depuis plusieurs décennies, les scientifiques se battent avec acharnement (Charpak, et al., 2005) et plus ou moins de réussite (Bot, 2007) pour transmettre leur démarche, de l'école primaire jusqu'à l'enseignement supérieur. De la même manière, l'IS, portée par les ingénieurs et les systémiers, fait l'objet de nombreuses transpositions didactiques dans les écoles d'ingénieurs et les universités depuis une dizaine d'années : conférences, retours d'expérience (RETEX) d'industriels, cas d'étude (ParisTech, 2012), mini-projets plus ou moins encadrés, jeux de rôles (Meyne, 2012). D'autres formations (ISAE, 2012) proposent des cours intensifs pour passer l'examen de certification de l'INCOSE. Au fur et à mesure que l'on se familiarise avec l'IS, une vision système de l'environnement immédiat se dessine. Certains enseignants ont donc naturellement proposé aux étudiants d'appliquer l'IS au système complexe éducatif auquel ils appartenaient (Cadwell, 2007). On notera cependant dans cet inventaire qu'il est difficile de trouver des formations alliant l'IS à des projets longs dans le temps comme c'est le cas à l'ENSTA Bretagne, soit parce qu'elles ne le font pas, soit parce qu'elles ne mettent pas en avant ce choix. On ne trouve pas non plus de formation dont la constitution découle de l'IS, même si les approches par compétences et les pédagogies actives présentent bien des similarités avec une approche système.

III. TRANSPOSITIONS DE L'IS : LIMITES ET ORIGINES

L'IS est de nature complexe à enseigner, car c'est avant tout une **démarche**. Une démarche est une manière de conduire un raisonnement. Tout comme la démarche scientifique, l'IS ne s'intègre pas naturellement dans nos schémas pédagogiques ancestraux : il n'est pas aisé d'enseigner une démarche dans le cadre cours, travaux dirigés, travaux pratiques, car il ne suffit pas de l'appliquer pour savoir la réutiliser et être capable de contribuer en créant à son tour. Les approches actives (Raucent & Milgrom, 2011) constituent donc pour l'IS une alternative pratique à ne pas négliger.

Une autre difficulté de la didactique de l'IS réside dans son caractère **global** : pour cerner l'intérêt de l'IS et pouvoir la pratiquer, il faut posséder une expérience des systèmes, des qualités analytiques, techniques et humaines qui ne sont pas toujours suffisamment présentes chez nos étudiants en formation initiale. Enfin, si l'IS constitue une aide précieuse dans le cadre de **systèmes complexes**, pour des systèmes simples, cette démarche peut ralentir fortement la progression et rendre la tâche plus absconse. Or, les systèmes complexes ne peuvent pas être abordés dans leur globalité technique, scientifique, humaine et organisationnelle en formation initiale, si ce n'est sous la forme de retours d'expériences d'ingénieurs en poste. Les enseignants sont condamnés à aborder des systèmes relativement peu complexes lors des formations : robots (Wang & Bi, 2012; Reynet, et al., 2010), systèmes purement logiciels, cas d'études amputés (Meyne, 2012). L'authenticité de ces transpositions est souvent remise en cause par les étudiants eux-mêmes et cela engendre de leur part au mieux une incompréhension silencieuse et l'apprentissage s'enlise, au pire

une démotivation et l'apprentissage échoue. Tout comme la démarche scientifique, l'IS questionne donc nos pratiques pédagogiques.

Du point de vue de l'authenticité, l'approche de Cadwell (Cadwell, 2007) qui s'appuie sur le système éducatif lui-même implique automatiquement les apprenants, de par leur vécu d'étudiants appartenant au système; leur adhésion au projet est forte. Néanmoins, l'approche globale d'un système éducatif n'est pas à la portée de tous les apprenants dans le cadre d'une formation initiale et présupposer qu'ils le connaissent suffisamment est certainement une erreur. Par ailleurs, leur faire découvrir dans le détail ce système n'est pas une finalité des formations d'ingénieur en général... Enfin, pour mener à bien cette expérience, il faudrait que les étudiants soient capables de s'extraire de leur propre rôle, de prendre de la hauteur par rapport aux enseignements et aux institutions, ce qui est un effort immense pour beaucoup d'entre eux.

Par ailleurs, il faut s'interroger sur les causes plus profondes des limitations de ces transpositions. L'observation du système éducatif montre que c'est la démarche scientifique qui est privilégiée à tous les niveaux du système (Bot, 2007) et ce quelle que soit la discipline : réduction et position du problème, hypothèses, observations, expérimentations, documentations, modélisations, analyses des résultats, interprétations, conclusions. Tous ces éléments constituent l'essentiel des outils méthodologiques enseignés à l'école, au collège, au lycée et dans les universités. La sélection des étudiants et les concours se fondent majoritairement sur ces éléments.

Les enseignants-chercheurs se revendiquent unanimement scientifiques (Colet & Berthiaume, 2009) et se définissent même par rapport à cette activité : l'enseignant-chercheur est sociologue ou biologiste avant d'être enseignant. Leur activité est quasiment exclusivement fondée sur la démarche scientifique. La survalorisation de cette démarche est amplifiée par des médias peu enclins à la subtilité qui mélangent parfois hardiment science, ingénierie et technologie. Elle est également amplifiée par un recrutement des enseignants-chercheurs fondé presque exclusivement sur des éléments académiques et des passerelles entre le monde industriel et l'université quasi inexistantes, au moins en France. Or, les compétences en IS se trouvent dans le monde industriel essentiellement, par exemple dans le domaine de l'aérospatiale (Derro & Williams, 2009). Enfin, les contextes organisationnels des enseignants-chercheurs favorisent souvent la recherche dans le but d'acquérir une expertise individuelle (Endrizzi, 2011). Il en résulte une science parfois autiste qui répond très mal aux polémiques : par exemple, les conséquences du tabac ou des ondes radios sur le corps humain sont typiquement des sujets où la science n'est pas comprise par la société, certainement car elle n'apporte pas, en toute sagesse et honnêteté, de réponse globale (Perrin, 2009). Si la science seule ne peut apporter de réponse globale, personne ne change néanmoins de paradigme pour répondre aux inquiétudes : c'est toujours à la démarche scientifique qu'on fait appel pour conclure et décider. Depuis plus d'un siècle, on sait cependant qu'elle n'est pas toujours capable d'apporter une réponse, en particulier dans le cas d'un système complexe (Donnadieu, 2004).

À l'opposé, l'approche système est valorisée dans le contexte de la mondialisation, parfois pour des raisons purement budgétaires ou organisationnelles, par les grandes entreprises et les gestionnaires. La société, quant à elle, porte peu cette valeur qu'elle ignore de par sa formation. Il existe donc un déséquilibre au niveau de la société : la démarche scientifique est survalorisée par rapport à l'approche système en général. Or, de nombreuses formations professionnalisantes, notamment en médecine et en ingénierie, en bénéficieraient sans aucun doute. Pour enseigner l'IS, il faut donc s'affranchir du formatage scientifique scolaire des étudiants, de la pression du milieu académique en faveur de la démarche scientifique, des querelles ancestrales entre sciences molles et sciences dures qui sont stériles du point de vue système et des sirènes des gestionnaires qui ne voient dans l'approche système qu'une batterie d'indicateurs miraculeux offrant la vision managériale ultime (Guilhot, 2000; Challiol, et al., 1996).

IV. L'APPRENTISSAGE SYSTEME

Pour faire accéder les étudiants à l'IS, il est nécessaire de revenir à l'étymologie du mot système, **réunion en un seul corps de plusieurs objets ou de plusieurs parties d'un objet**, et de rassembler les éléments scientifiques, techniques, organisationnels et épistémologiques du puzzle. L'auteur de cette publication souhaite donc dégager de son expérience de l'enseignement de l'IS une pratique pédagogique active fondée sur une approche système. Cette pratique constitue une approche active post-projet car elle permet de dépasser des dimensions classiques du projet (science, technique, organisationnel) pour entrer dans la dimension système, en s'appuyant notamment sur les composantes fondamentales de l'IS (cycle de vie, écoconception, ingénierie des exigences, élicitation, analyse fonctionnelle, architectures, intégration, validation) et l'épistémologie systémique. Cette vision adopte le point de vue téléonomique de l'ingénieur, c'est-à-dire que la finalité guide l'action : la finalité pour l'ingénieur est de réaliser un système qui vérifie des spécifications en respectant des exigences précises liées à un besoin exprimé. Cette vision accorde autant d'importance aux preuves de bon fonctionnement du système et à la manière dont le système est réalisé et incarné qu'aux interactions du système avec l'environnement et entre les parties prenantes. Enfin, elle s'inscrit dans une démarche longue dans le temps long (mois, années). Elle est désignée ensuite par le terme **Apprentissage Système (AS)**, car, de par la vision qu'elle sous-tend, elle agit sur tous les systèmes liés à l'apprentissage, à différents niveaux : étudiants, enseignants et institutions.

La force de l'AS réside dans sa nature **autopoïétique**, car elle comporte en elle à la fois le **système à faire** et le **système pour faire**. Les enseignants et les apprenants font partie d'un système pour faire qui leur permet de réaliser un système à faire. L'approche système fédère donc l'**interaction** des éléments entre eux et la finalité à réaliser. À travers le système, apprenants et enseignants réalisent et se réalisent. L'approche système place les apprenants et les enseignants sur une même marche, tremplin de l'action collective. Le sentiment d'appartenance à un système

commun favorise une bonne dynamique motivationnelle (Viau & Louis, 1997), d'autant plus si les interactions sont véritables et que chacun peut agir sur le système. L'AS rend de plus explicite les différentes formes que peut prendre l'apprentissage (informel, formel, autodirigé, présentiel ou à distance), car elles constituent en réalité des activités couramment décrites et utilisées en ingénierie système (Dufay, 2010) qu'il suffit d'adapter au contexte pédagogique. Par exemple, l'auteur a choisi de faire une revue de projet (une étape de l'IS) avec les étudiants en utilisant des outils d'évaluation pair-à-pair. Sur ce point, la combinaison de l'IS avec la recherche en pédagogie peut donner corps à ces activités. Enfin, comme l'IS est une démarche d'amélioration continue, en s'appuyant sur ses méthodes, l'AS intègre les dispositifs d'évaluation nativement : par exemple, les modèles pédagogiques liés aux pédagogies actives (Bachy, et al., 2010; Lebrun, 2007) prennent naturellement leur place dans cette démarche système qui s'applique à des échelles distinctes de manière identique (scalabilité), donc à n'importe quel système, quel que soit son niveau de granularité. Cette vision est **fractale**, chaque système pour faire pouvant se décliner en sous-systèmes. L'AS s'adapte à tous les systèmes de l'enseignement supérieur, de l'acte pédagogique simple à l'élaboration d'une formation, de la recherche académique à la gouvernance d'une institution.

L'AS est un système de transposition **active** de l'IS qui s'appuie sur le projet, mais le dépasse. L'AS s'en distingue essentiellement par la vision épistémologique et systématique qu'il porte. Le projet est une idée, un dessein que l'on partage, une posture que l'on adopte, notamment lorsqu'on se met en projet. Le projet est un moyen de structurer les apprenants, ce n'est pas une finalité. Or, les apprenants mesurent souvent l'authenticité d'une transposition à la lueur de la finalité proposée. Par ailleurs, même si d'excellentes solutions ont déjà été exposées et ne sont pas à remettre en cause (Raucent & Milgrom, 2011; RAUCENT, et al., 2004), les enseignants travestissent parfois les APP dans la pratique et ceux-ci se transforment alors en **projets de l'étudiant**. L'apprenant est alors renvoyé à sa solitude, contraint, comme les autres, de se conformer à une posture projet relativement stérile. L'autonomie, un des objectifs pédagogiques des approches actives, se transforme alors parfois en hétéronomie (Lemaître, 2007).

La mise en place de l'AS exige de dépasser cette vision projet pour adopter une posture réflexive afin que les étudiants et les enseignants accèdent à la conscience de faire partie d'un même système dont les finalités les concernent tous. Il ne s'agit pas pour l'étudiant ou l'enseignant de connaître parfaitement le système pédagogique, mais d'avoir le sentiment qu'il participe à ce système. Cet état de conscience collectif ne se décrète pas et il ne peut se construire que dans un temps long et une pratique interactive et cohérente à l'échelle de l'établissement. Cependant, cette prise de conscience est une étape nécessaire pour améliorer en profondeur l'apprentissage de tous les systèmes.

L'AS, tout comme l'IS, doit donc être incarné dans les hommes et au travers d'activités explicites. Dans le cas contraire, il est certainement voué à l'échec. C'est pourquoi il est essentiel de décrire ces activités. L'intuition de l'auteur est qu'en

mettant en place l'AS au sein d'une formation, il est fort probable que celui-ci engendre des mutations du système d'enseignement supérieur duquel il dépend.

V. DE L'APPRENTISSAGE SYSTEME A LA GOUVERNANCE

L'IS possède un outil dénommé Capability Maturity Model Integration (CMMI) qui aide à accélérer l'amélioration des systèmes pour faire (EIA, 2002). Il s'agit d'un modèle adjoint à un ensemble de bonnes pratiques auquel on se réfère pour concevoir, évaluer et améliorer les activités des entreprises d'ingénierie (Dufay, 2010; AFIS, 2012). Or, une université ou une école d'ingénieur doit être appréhendée sous l'angle d'un système complexe. Cette approche a déjà été tentée dans les années 90 (Challiol, et al., 1996). Elle a relativement échoué à transformer nos institutions, certainement parce les activités pratiques nécessaires pour soutenir cette vision sont inexistantes : l'approche système doit être action et décliner un ensemble d'activités collectives pour améliorer le système. Si celles-ci ne sont pas incarnées, l'approche système demeure stérile.

Dans le contexte de l'enseignement supérieur, on peut qualifier la formation et la recherche de systèmes à faire : ce sont les systèmes ultimes, la finalité même des organismes. D'un autre côté, l'ingénierie de la formation et l'ingénierie de la recherche, le développement professionnel des enseignants-chercheurs et la gouvernance des établissements sont des systèmes pour faire.

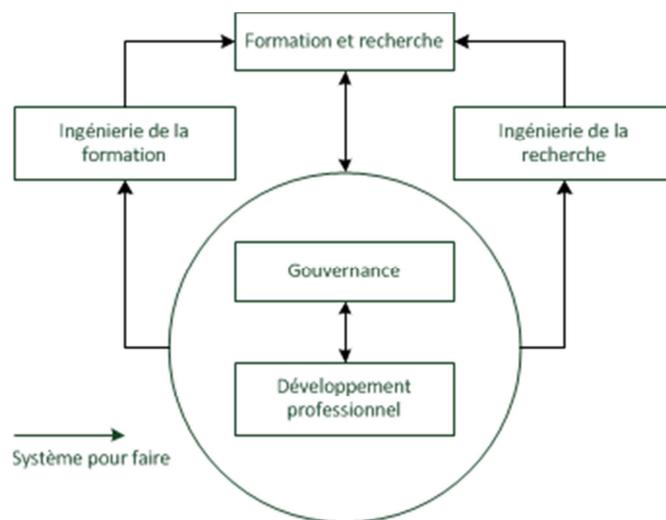


Figure 1: au cœur de l'apprentissage système, une vision autopoïétique de l'enseignement supérieur

Comme le montre la Figure 1, ces systèmes pour faire sont en interaction et en rétroaction : la formation, la recherche, la gouvernance et le développement professionnel étant les systèmes pour faire nécessaires à la réalisation de tous les autres. Par ailleurs, dans le cas des universités françaises, les cadres dirigeants sont élus parmi les enseignants-chercheurs. Le développement professionnel n'est donc pas qu'un système pour faire l'ingénierie de la formation et de la recherche, mais également un système pour faire la gouvernance des établissements. De la même manière que les savoirs enseignés alimentent les savoirs pour enseigner (Colet & Berthiaume, 2009), les systèmes pour faire alimentent les systèmes à faire et réciproquement.

VI. CONCLUSION

Après avoir analysé les transpositions de l'IS et pratiqué son enseignement, une vision autopoïétique de l'enseignement supérieur, l'apprentissage système, est proposée. À l'heure du connectivisme (Siemens, 2005) et des Massive Open Online Courses (MOOC) (Kop, 2011), l'apprentissage système incite à se poser la question de la valeur ajoutée de l'enseignant chercheur, face à l'hyper-expert des MOOC qui délivre son cours à tous les étudiants du monde simultanément (Gilliot, 2012). L'apprentissage système est une solution pour sortir par le haut du dilemme étudiant-client ou cours-produit dans lequel se fourvoient souvent les institutions éducatives. La finalité est bien dans l'action de réaliser le système, non pas dans la satisfaction d'un étudiant-client à qui on vendrait des cours-produits ou d'un état-client dont la bureaucratie et le budget ne font que contraindre le système à publier davantage d'indicateurs. S'il ne fait guère de doute qu'on puisse établir une vision système complexe de l'enseignement supérieur, il s'agit maintenant de tirer parti de l'IS et l'épistémologie systémique pour incarner l'apprentissage système.

Il est grand temps que les universités et les écoles d'ingénieurs s'emparent des modèles de type CMMI et évoluent en tant que système à un haut degré de maturité. Dans ce but, il faut, du côté des enseignants, insister sur le développement professionnel (Endrizzi, 2011) et réconcilier recherche et enseignement à la lumière des mouvements Scholarship of Teaching and Learning anglosaxons (SoTL) (Bélanger, 2010). À la différence des mouvements SoTL cependant, l'AS ne pose pas comme objectif ultime que les enseignants-chercheurs soient actifs sur le plan de la recherche pédagogique (Endrizzi, 2011).

Du côté des étudiants, il faut donner du sens à l'approche système, en s'appuyant sur l'épistémologie systémique et les succès de l'approche système. Plusieurs concepts doivent être mis en pratique : la finalité, l'équifinalité, la rétroaction, la régulation, les boîtes noires et les boîtes blanches, les flux des intrants et des extrants, la récursivité et l'hologrammatique (Morin & Le Moigne, 1999). Ces concepts sont souvent intuitivement pressentis par les étudiants et les enseignants chercheurs, même si leurs parcours les a souvent mis en sommeil, tout particulièrement dans les filières ingénieurs et scientifiques. À nous de les réveiller par l'action !

REFERENCES

- AFIS (Association Française d'Ingénierie Système), 2012. Accueil - Notre Métier: L'ingénierie Système. <http://www.afis.fr> consulté en décembre 2012.
- ASTRIUM, 2012. Astrium réussit le 52ème tir Ariane 5 à la suite. http://www.astrium.eads.net/fr/centre_presse-k4s/astrium-reussit-le-52eme-tir-d-ariane-5-a-la-suite.html consulté en décembre 2012.
- Bachy, S., Lebrun, M. et Smidts, D., 2010. Un modèle-outil pour fonder l'évaluation en pédagogie active: impact d'une formation sur le développement professionnel des enseignants. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, Issue 26-1.
- Bélangier, C., 2010. Une perspective SoTL au développement professionnel des enseignants au supérieur: Qu'est-ce que cela signifie pour le conseil pédagogique? *Canadian Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, Volume 1.
- Bot, L., 2007. Eléments d'une crise 'post-moderne' dans la formation scientifique des ingénieurs. *Les Sciences de l'éducation - Pour l'ère nouvelle*, volume 40, n°3.
- Cadwell, B., 2007. Teaching Systems Engineering by Examining Engineering Education System. Actes de American Society for Engineering Education Conference, ASEE Illinois/Indiana Section Conference, Indianapolis, Indiana, 30-31 mars.
- Challiol, H., Simon Plaza, M., Tabatoni, O. & Weisz, R., 1996. Apports et limites spécifiques d'un management par la qualité totale dans l'Université. Communication aux journées des IAE, Toulouse, p. 15.
- Charpak, G., Léna, P. & Quéré, Y., 2005. L'enfant et la Science: l'aventure de la main à la pâte. Odile Jacob.
- Colet, N. & Berthiaume, D., 2009. Savoir ou être ? Savoirs et identités professionnels chez les enseignants universitaires. *Raisons éducatives*, pp. 137-162.
- Derro, M. & Williams, C., 2009. Behavioral competencies of highly regarded systems engineers at NASA. Actes de Aerospace conference, IEEE, Big Sky, MT, pp. 1-17.
- Donnadieu, G., 2004. Systémique et science des systèmes. Quelques repères historiques. Association Française de Science des Systèmes, <http://www.afscet.asso.fr/HistoireSystemique.pdf> consulté en décembre 2012.
- Dufay, F., 2010. CMMI par l'exemple - Pour une mise en place opérationnelle. Eyrolles, p288.

- EIA, 2002. Norme EIA-731.1 - System Engineering Capability Model. Electronic Industries Alliance, GEIA, disponible sur le site de l'INCOSE notamment.
- Endrizzi, L., 2011. Learning how to Teach in Higher Education: a Matter of Excellence. Dossier d'actualité Veille et Analyses, Institut Français de l'Éducation, Volume 64.
- Fraser, J. & Gosavi, A., 2010. What is systems engineering ? Actes de ASEE 2010 Conference, <http://www.asee.org/search/proceedings> consulté en décembre 2012.
- Gilliot, J.-M., 2012. La place de l'enseignant dans un monde de MOOCs ? Blog "Techniques innovantes pour l'enseignement supérieur", <http://tipes.wordpress.com/2012/11/26/la-place-de-lenseignant-dans-un-monde-de-moocs/> consulté en décembre 2012.
- Guilhot, B., 2000. Le contrôle de gestion dans l'université française. Politiques et management public, 18(3), pp. 99-120.
- INCOSE (International Council on Systems Engineering), 2012. System Engineering following INCOSE. <http://www.incose.org/practice/whatissystemseng.aspx> consulté en décembre 2012.
- ISAE, 2012. Préparation à la certification INCOSE, site de l'ISAE, http://supaero.isae.fr/fr/formation/formations_complementaires/certification_incose.html consulté en décembre 2012.
- Kop, R., 2011. The challenges to connectivist learning on open online networks: Learning experiences during a massive open online course. The International Review of Research in Open and Distance Learning, Special Issue-Connectivism: Design and Delivery of Social Networked Learning, volume 12, n°3.
- Lebrun, M., 2007. Théories et méthodes pédagogiques pour enseigner et apprendre: quelle place pour les TIC dans l'éducation?. De Boeck Université.
- Lemaître, D., 2007. Le courant des "pédagogies actives" dans l'enseignement supérieur : une évolution postmoderne ? Recherches en éducation, n°2, pp. 81-90.
- Meinadier, J., 2012. Découvrir et comprendre l'ingénierie système. Cépaduès éd.
- Mélèse, J., 1972. L'analyse modulaire des systèmes de gestion. Éditions Hommes et Techniques.
- Meyne, P., 2012. Retour d'expérience sur l'enseignement de l'ingénierie système. Le temps et l'espace, Lectures, <http://lectures.revues.org/8310> consulté en décembre 2012
- Morin, E. & Le Moigne, J., 1999. L'intelligence de la complexité. Éditions L'Harmattan.