http://intra.archives-web.i2/internet/administration-centrale/portail-ecologie/ecologie/Production-et-diffusion-des.html

Production et diffusion des connaissances suite à un désastre technologique : mécanismes incitatifs et institutionnels

Créé le 13 juillet 2005
Actualisé le 30 mars 2007

Emmanuelle FAUCHART
CNAM- 292, rue Saint Martin, 75 141 Paris Cedex 03
Tel : 01 40 27 25 05
fauchart@cnam.fr

Cette synthèse du rapport traitera principalement de la diffusion des informations sur des problèmes de sécurité (identifiés ou non par l'occurrence d'accidents technologiques) et de certaines des problématiques économiques qu'elle suscite.
Nous synthétiserons ainsi les contributions du rapport autour des thèmes suivants :

- les modes de diffusion des informations sur des problèmes de sécurité et leur repérage empirique ;
- les structures de communication entre acteurs (entreprises, individus, institutions) favorisant la diffusion des informations sur des problèmes de sécurité et des propositions normatives ;
- les incitations économiques au partage d'informations sur des problèmes de sécurité ;

Ces thèmes sont parmi les plus importants puisqu'ils concernent le fait de savoir si les informations sur les problèmes de sécurité tendent ou non à se diffuser et si oui selon quels modes ; si les réseaux de communication entre entités concernées par des problèmes similaires de sécurité importe pour la diffusion de ces informations et si oui s'il existe une structure optimale du point de vue de la diffusion ; si les informations sécurité se diffusent spontanément ou si au contraire il est nécessaire que les acteurs économiques aient les incitations à les partager pour qu'une diffusion se produise.

1. Les modes de diffusion des informations sécurité

Les trois aspects de la diffusion des informations sont :

- la diffusion dans le temps ;
- la diffusion dans l'espace ;
- la diffusion intra ou inter industrielle (ou intra / inter domaine...)

En économie, la diffusion des informations est généralement étudiée par le biais des brevets. On étudie ainsi l'utilisation de brevets particuliers dans le temps, dans l'espace, et selon l'identité de l'utilisateur. Si les brevets sont pratiques pour faire une analyse statistique de la diffusion des informations, seules une partie des connaissances et informations font l'objet de brevets. Nous proposons une méthodologie pour étudier la diffusion d'informations non brevetées, les informations concernant un accident technologique survenu avec une machine de traitement du cancer aux Etats-Unis, la Therac-25.

L'enjeu est important puisqu'une grande partie des informations sécurité sont non brevetées et non brevetables. Rappelons brièvement le cas Therac-25 : cette machine de traitement du cancer par rayons, construite par une entreprise canadienne AECL, a d'abord été proposée dans une version « manuelle » (commandes manuelles) - Therac-6 et Therac-20- avant d'être proposée sous la forme d'une machine à commande logicielle, le modèle Therac-25. C'est précisément une défaillance de logiciel qui est à l'origine de l'irradiation de plusieurs patients. Cet accident a été à l'origine de nombreux apprentissages car il a eu lieu avec une des premières machines à commande logicielle (début des années 1980) et que ces machines étaient promises à un grand développement. Egalement, ayant causé des décès, les procès ont été l'occasion de mobiliser des experts qui ont eu accès à de nombreuses informations confidentielles. En particulier, Nancy Leveson, experte au procès, a documenté le cas Therac dans un livre (Safeware : System Safety and Computers, 1995) et dans un article publié dans une revue à forte diffusion, Computer, et en a tiré les apprentissages majeurs pour la sécurité des machines commandées par des logiciels.

La méthodologie que nous proposons est somme toute classique en science sociale puisqu'il s'agit de repérer les citations pertinentes de mots liés à cet accident dans des bases de données. Nous avons choisi de « tracer » :

- les références au cas Therac-25 dans 66 « newsgroups » sur Internet (Usenet) : ces groupes de discussions sont tous ceux que nous avons jugé susceptibles d'échanger des informations sur le

domaine concernant l'accident : comp.software-eng (groupes de discussion sur l'ingénierie logicielle) -SEN-, comp.risks (groupes de discussion en informatique, géré par la « Association for Computing machinery » américaine) -CRN-, les groupes sci.engr (ingénierie) -ENN-, et les groupes sci.med (secteur médical) -MEN. Pour repérer les références à l'accident et à ses apprentissages, nous avons utilisé des mots clés (Therac, AECL, radiation...) puis vérifié les contenus. Nous avons alors classé les citations pertinentes par date, par type de site (logiciel, médical..), et par affiliation des discutants (académique, gouvernemental, entreprise) ;

- les références à l'ouvrage de Nancy Leveson de 1995 dans des publications (bases de données académiques et professionnelles).

Ces deux « traçages » diffèrent selon le critère de la nature de la diffusion : dans le cas des groupes de discussion, il s'agit de flux de diffusion informels d'informations puisqu'il s'agit de discussions directes entre individus sur le cas ; dans le cas des citations du livre de Leveson, il s'agit de flux de diffusion formels. L'examen des citations permet (1) d'examiner les caractéristiques de la diffusion dans le temps, dans l'espace et entre domaines et (2) d'établir si les caractéristiques de la diffusion sont affectées par la nature tacite ou codifiée de l'information.

A. Les caractéristiques des flux informels de diffusion

Dans le groupe SEN, la diffusion temporelle est de forme logistique, c'est-à-dire qu'il y a peu de citations au départ, généralement émises par des experts, puis le nombre de citations grandit, à mesure que l'intérêt croît, puis plafonne. Dans le groupe CRN, l'allure temporelle est de type exponentielle décroissante, ce qui s'explique par le fait qu'il s'agit d'un système d'alarme avec un grand nombre de communications au départ puis une forte décroissance du fait de l'absence de récurrence d'incidents. Dans les groupes ENN et MEN, la plupart des communications ont lieu en milieu de période. Ceci s'explique par le fait que cette diffusion peut être considérée comme « inter-industrielle » dans le sens où le domaine d'intérêt de ces groupes est indirectement les logiciels et leurs risques mais plutôt des domaines secondaires (le secteur médical et l'ingénierie en général). La diffusion spatiale est très localisée puisque dans tous les groupes les communications émanent d'américains du nord (90% en moyenne), lieu où les incidents sont intervenus. La diffusion inter-industrielle semble également faible puisque la plupart des communications ont eu lieu dans le groupe SEN, celui qui discute des problèmes de logiciels.

B. Les caractéristiques des flux formels de diffusion

La diffusion temporelle des citations du livre de Nancy Leveson semble avoir une forme en cloche avec une croissance du nombre de citation forte après la parution, un maintien des citations pendant une courte période, puis une décroissance des citations. Les citations du livre de Leveson proviennent presque à égalité de l'Amérique du nord, des autres pays anglo-saxons, et de l'Europe, reflétant une diffusion spatiale large des informations sur le cas Therac.
La diffusion inter-industrielle est également significative puisque les citations du livre de Leveson émanent certes majoritairement du domaine informatique mais également pour une bonne part du domaine plus général de l'ingénierie et d'autres domaines dont le domaine médical. La classification des domaines d'intérêt n'est pas similaire à celle que nous avons pour les groupes Usenet (A) mais elle s'en rapproche.

En résumé, les caractéristiques de la diffusion semblent varier selon que l'information est codifiée ou tacite :

	Information tacite	Information codifiée
Diffusion temporelle	Variable	Variable
Diffusion spatiale	Locale	Etendue
Diffusion inter-industrielle	Faible	Forte

La nature tacite ou codifiée de l'information semble ne pas affecter significativement la forme temporelle de la diffusion. Pour cet aspect, c'est davantage le canal de diffusion qui importe. Cependant on observe tout de même qu'il est plus courant d'avoir une concentration des citations sur une courte période suivant de quelques années la production de l'information. En revanche, la nature tacite ou codifiée de l'information semble affecter les caractéristiques spatiales et industrielles de la diffusion : l'information tacite tend à se diffuser dans des réseaux localisés géographiquement et à se diffuser peu en dehors des réseaux directement concernés par l'accident ; au contraire l'information codifiée tend à se diffuser dans des espaces géographiques plus larges, et plus facilement à travers les industries.

On constate également que l'origine des flux formels est majoritairement académique tandis que l'origine des flux informels est majoritairement commerciale. Ce n'est pas surprenant puisque la publication

d'informations est une façon de gagner en réputation pour les académiques et recèlent donc des bénéfices tandis que les entreprises commerciales attendent peu de bénéfices de la publication d'informations. Ceci suggère que si on veut assurer une forte diffusion d'informations sécurité, il est nécessaire : (1) de codifier l'information pour en accroître les externalités spatiales et industrielles ; (2) de créer des réseaux informels de communication pour accroître la diffusion des connaissances tacites relatives à la sécurité.

2. Structures de communication entre acteurs et efficacité de la diffusion des informations sécurité

Les résultats précédents quant aux modes de diffusion des informations sécurité suggèrent l'importance des réseaux de communication pour la diffusion des informations tacites. Les groupes Usenet ont à cet égard certainement accru la circulation des informations tacites et ainsi les externalités informationnelles. Mais la structure des réseaux de communication est-elle déterminante pour assurer la diffusion souhaitée des informations sécurité ? Cette section donne des résultats théoriques sur ce sujet en utilisant la théorie des réseaux.

Pour étudier le problème de la structure de communication optimale nous étudions la forme du réseau de communication entre des individus dispersés (géographiquement ou socialement). Ces individus reçoivent occasionnellement de l'information sur la technologie qui accroît leur connaissance et peut être diffusée à d'autres individus. Quand un individu reçoit une information qu'il juge intéressante, cette information devrait idéalement être annoncée immédiatement à tous les autres. Mais codifier et envoyer cette information à tous ne sera généralement pas suffisant car, d'une part, ce processus prend du temps et ce temps peut être précieux (comme l'a montré le cas Therac-25) et, d'autre part, l'information codifiée est généralement insuffisante et doit être complétée par la transmission de connaissances tacites. La partie empirique sur les modes de diffusion de l'information sur le cas Therac-25 a à cet égard confirmé le fait que (1) connaissances codifiées et tacites se diffusaient simultanément et que (2) les connaissances tacites se diffusaient typiquement directement entre individus, en particulier les individus concernés par l'usage de la technologie (employés d'entreprises commerciales dans nos catégories). Quand la connaissance tacite est cruciale, et elle l'est typiquement en cas de défaillance dans une technologie nouvelle, la structure du réseau de communication entre individus est déterminante dans la gestion d'une crise technologique.

Le modèle utilisé est simple : des individus sont positionnés sur un réseau, chacun est connecté directement à un petit nombre d'autres individus, qu'on appelle ses « voisins » (sur le réseau). L'information circule à travers ces connections. Ainsi, pour aller des individus i à j l'information doit passer à travers tous les individus connectant i à j. A des périodes aléatoires, un individu diffuse une information sur le problème technologique à tous les individus avec lesquels il est connecté. Ces individus se servent de cette information pour mettre à jour leur connaissance sur la technologie. S'ils avaient déjà cette information, il n'en font rien et maintiennent leur connaissance à son niveau préalable. Ainsi, la diffusion des connaissances tacites influe sur le niveau de connaissance générale de la population d'usagers sur la technologie (sa défaillance et comment la résoudre par exemple).

Imaginons deux structures de communication extrêmes. (1) Une structure « régulière » où les individus sont positionnés le long d'un cercle ; dans cette structure chaque agent est connecté à tous les autres (directement à deux et indirectement au reste des individus). Ce type de réseau de communication est appelé une « clique » : mes amis sont amis entre eux. (2) Une structure aléatoire où les individus d'un cercle sont connectés à n autres individus de façon aléatoire.
La structure régulière est bonne pour l'agglomération des informations sur un problème technologique puisque les informations détenues par chacun se diffusent à tous les autres. Toutefois, la circulation des informations est longue puisque pour aller d'une partie du cercle à son opposé, il faut que l'information passe par tous les individus situés sur le parcours. La diffusion est donc complète mais très lente. La structure aléatoire, au contraire, n'est pas bonne du point de vue de l'agglomération de l'information puisque certaines informations peuvent ne jamais atteindre certains individus. En revanche, il existe toujours des chemins courts de cheminement de l'information entre individus éloignés. La diffusion tend donc à être rapide mais incomplète.

La question est donc : existe t-il une structure de communication qui permette d'avoir les avantages de ces deux structures extrêmes sans en avoir les inconvénients ? Il suffit de prendre la structure régulière et d'introduire la possibilité avec la probabilité p, pour chaque lien, de le couper et de le rediriger aléatoirement. p=0 correspond à la structure régulière elle même et p=1 correspond à la structure aléatoire. Une probabilité p intermédiaire correspond à une structure régulière avec aléa (croissant avec p). La figure 1 ci-dessous montre le résultat selon lequel il suffit d'un p faible pour réduire considérablement le temps de diffusion des informations.

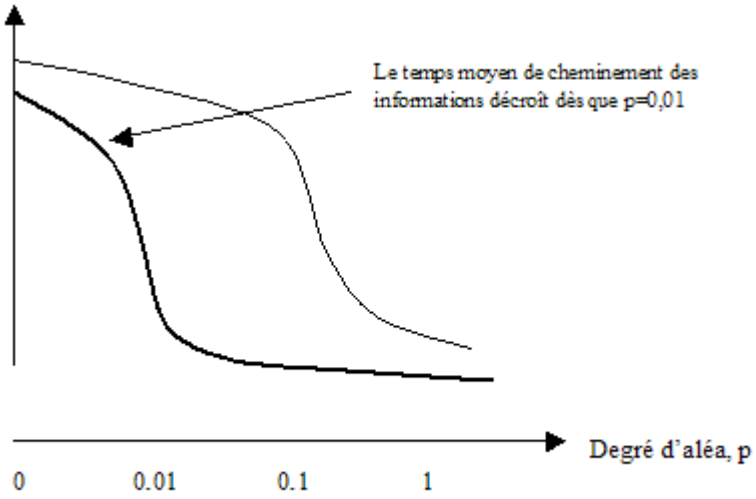

Figure 1

Une telle structure est appelée « petit monde » puisque des cliques sont liées entre elles par des liens, ce qui assure à la fois l'agglomération des informations permises par la clique (le fait que des individus aient toutes les informations détenues par un petit groupe d'autres individus) et la rapidité de diffusion des informations dans le temps (par contact entre cliques). Ensuite le modèle permet d'étudier la relation entre p, le niveau d'aléa dans le réseau, et le niveau général de connaissances de la population sur le problème. Les simulations montrent que si les individus ont des difficultés à utiliser ce que les autres ont appris (les informations qu'ils transmettent) la structure de petit monde est celle qui maximise le niveau général de connaissances. Ceci résulte du fait que les cliques du petit monde implique une redondance des informations, favorable à leur compréhension et « absorption ». Si les individus n'ont au contraire aucun mal à assimiler les apprentissages des autres (à tirer partie des informations reçues pour accroître leur propre connaissance), une structure aléatoire peut s'avérer plus efficace.

Lorsqu'un accident technologique se produit sous forme d'un événement unique (l'explosion d'une navette spatiale...) et que tous les individus ayant les connaissances et informations nécessaires à la compréhension du problème sont localisés au même endroit, le problème d'agglomération d'information ne se pose pas. Lorsqu'au contraire, un système technologique, utilisé par de nombreux usagers décentralisés, connaît une défaillance, il est probable que l'information nécessaire à la compréhension du problème sera distribuée entre des individus non forcément connectés a priori. En outre, il est probable que les individus auront des problèmes d'interprétation de l'information (d'absorption), que l'information transmise sera partielle. Dans de tels cas, qui représentent sans doute la majorité des cas de défaillances technologiques (dont Therac-25), la structure de communication entre les individus concernés est très importante, d'après les résultats présentés, et ces résultats suggèrent que c'est un réseau de communication en « petit monde » qui doit conduire à l'optimum du point de vue de l'agglomération et de la diffusion de l'information en vue d'obtenir une compréhension rapide de la défaillance et l'adoption d'une solution.

Ce que suggère également notre travail c'est qu'il est important que les individus concernés par une technologie (usagers d'une même technologie) communiquent directement entre eux. Or un certain nombre de mécanismes mis en place pour assurer le partage d'informations sur des problèmes technologiques (système de report d'incidents, diffusion d'alertes aux industriels...) constituent en fait des flux d'information unilatéraux plutôt qu'une communication bilatérale entre agents. Autrement dit, ces mécanismes sont manifestement nécessaires et efficaces pour prévenir les intéressés de défaillances technologiques potentielles mais ne constituent pas des mécanismes d'apprentissage. Pour qu'un apprentissage collectif ait lieu, il est nécessaire de mettre en place des réseaux de communication entre individus, permettant l'agglomération d'informations par les usagers eux mêmes et ainsi l'apprentissage (amélioration des performances de la technologie, identification des problèmes existants ou potentiels, ajout de nouvelles fonctionnalités...). Certaines associations d'industrie le font (par exemple Eurochlor, l'association européenne du chlore, organise des réunions entre employés de différentes firmes de façon à encourager la formation de réseaux informels de relation) mais pas systématiquement.

Enfin, nos résultats montrent qu'une structure de communication structurée selon un « petit monde » est la plus efficace en matière d'apprentissage collectif lorsqu'il est difficile d'accroître sa connaissance d'une technologie (ou d'une défaillance technologique) sur la base d'informations partielles -c'est-à-dire lorsqu'il faut recevoir une masse critique d'informations pour espérer accroître sa connaissance. Or sans volonté explicite, les réseaux de communication entre individus tendent à être spontanés et donc selon un mode

« aléatoire ». Nous avons vu qu'une structure aléatoire n'est pas la plus efficace dans le cas décrit précédemment.

3. Incitations à partager des informations sécurité

Les résultats empiriques trouvés pour le cas Therac-25 ont montré que l'origine des flux formels de diffusion était différente de l'origine des flux informels puisque la majorité des flux formels émanaient d'académiques tandis que la majorité des flux informels émanaient d'entreprises (ou d'employés) commerciales. Ceci suggère que les incitations à partager des informations sécurité diffèrent selon les acteurs et, dans une perspective économique, selon les bénéfices attendus de ce partage.

La littérature économique suggère que les informations peuvent être gardées secrètes ou révélées dans un cadre plus ou moins restreint. La publication d'informations sous forme d'article ou de livre est une révélation non restrictive d'informations. Les acteurs peuvent également partagées certaines informations dans un cadre plus restreint en stipulant au récepteur de ne pas la diffuser sans autorisation. Une approche économique suggère que le choix de garder secrète ou de révéler l'information dépend du bénéfice net attendu de ce choix. Il sera fait le choix de garder secrète l'information sécurité si la « rente de monopole » lié au fait d'avoir l'exclusivité (réelle ou supposée) de l'information est supérieure au coût de ne pas la révéler. Au contraire, il sera fait le choix de révéler l'information si le coût de garder l'information secrète est plus élevé que son bénéfice. Un exemple connu d'incitation à révéler des informations est lorsque la compétence d'un individu, et donc sa valeur sur le marché du travail, peut être signalée par la publication d'informations sur ses compétences (cas des scientifiques employés par des entreprises). Nous avons trouvé une autre incitation fondamentale à partager de l'information qui survient lorsque la performance ou la survie d'une entreprise est liée positivement à la performance moyenne de l'industrie.

Concernant les informations sécurité, nous avons trouvé qu'il y a une incitation importante à partager des informations sur la sécurité lorsqu'un incident dans une entreprise accroît les coûts de toutes les entreprises (du à un renforcement de la régulation) ou même menace la survie de l'industrie. Dans ce cas les entreprises ont intérêt à réduire l'occurrence d'incidents non seulement dans leurs propres usines mais également dans celles de leurs concurrentes. Les entreprises peuvent n'avoir au contraire pas d'intérêt à partager leurs informations sécurité lorsque celles ci procurent des avantages compétitifs : dans le cas où les informations concernent des problèmes mineurs pouvant engendrer des coûts pour les concurrents sans en engendrer pour l'entreprise ; ou dans le cas où un incident majeur pour une entreprise n'a pas de répercussions négatives pour les concurrents (cas par exemple dans l'industrie des valves cardiaques). Ce dernier cas est généralement lié au fait que le bien n'a pas de substitut direct : cas des valves cardiaques, où un incident avec une valve particulière ne menace pas la survie de l'industrie et conduit même à renforcer la réputation des concurrents qui ne connaissent pas d'incident ; au contraire de l'industrie du chlore, qui est directement menacée dans sa globalité au cas où un accident transport par exemple se produirait.

Ainsi, l'incitation à partager des informations sécurité est liée au degré auquel les problèmes de sécurité de chaque entreprise engendre des externalités négatives pour les concurrentes. Si les problèmes de sécurité de chaque entreprise menace la survie de l'industrie ou engendre des coûts significatifs pour toutes les entreprises, alors l'incitation à partager les informations sécurité est forte. Si au contraire, les problèmes de chaque entreprise engendre des externalités positives (report de clientèle, accroissement de la réputation..) pour les autres, l'incitation à partager les informations sécurité risque d'être faible. Un critère discriminant est celui de l'existence ou non de substituts pour le bien concerné par le risque. Un autre critère pourrait être l'existence ou non d'une régulation cherchant à rendre les entreprises plus solidaires des problèmes des autres.

En conclusion, les messages de notre travail sont que :

- la diffusion d'informations sur les problèmes de sécurité technologique (problème potentiel, défaillance, solutions...) consiste en la circulation de connaissances codifiées et de connaissances tacites. Les connaissances codifiées tendent à se diffuser plus largement (à la fois dans l'espace et entre domaines ou industries) que les connaissances tacites. En outre, les connaissances tacites circulent dans des réseaux de communication plus informels. La diffusion des deux types de connaissances est nécessaire car elles ne répondent pas aux mêmes besoins, ce que traduit le fait que les émetteurs de ces deux types de connaissance tendent à être différents (plutôt académiques ou officiels pour les connaissances codifiées, plutôt employés de firmes commerciales pour les connaissances tacites).
- Or la forme du réseau de communication des connaissances tacites importe lorsque l'objectif est de promouvoir un apprentissage collectif au sein d'une communauté d'usagers d'une technologie (plutôt que simplement mettre en place un système d'alerte). Dans ce cas, la structure du « petit monde »

est la plus efficace. Il s'agit d'une structure de communication formée de cliques, au sein desquelles les membres ont des liens forts et redondants, reliées entre elles par des liens faibles et non redondants. Les cliques doivent avoir la propriété que leurs membres doivent communiquer facilement et fréquemment entre eux. Ceci peut être facilité par la proximité géographique et l'affinité disciplinaire. La mise en place de liens entre cliques est également cruciale dans ce dispositif.

- Pour qu'une diffusion d'informations ait lieu, toutefois, il faut que les individus qui produisent l'information aient les incitations à la partager avec d'autres. Un aspect important de la motivation à partager des informations sécurité est le fait que les entreprises supportent collectivement (par des coûts supplémentaires ou des menaces à la survie de leur industrie en cas d'accident) le manque de sécurité des autres entreprises. Dans ce cas, le bénéfice à partager l'information -sous forme d'une réduction du risque global de l'industrie- est supérieur à son coût -perte d'une information exclusive. Une suggestion est donc de rendre les entreprises plus responsables du niveau de sécurité de leurs concurrentes (en instaurant par exemple une amende à chaque entreprise en cas d'accident chez l'une d'elle).