Liens causaux et explications. Problèmes de modélisation : une discussion préliminaire

Didier Dubois, Henri Prade

I.R.I.T. - UMR CNRS 5505
Universite Paul Sabatier
118 Route de Narbonne
31062 Toulouse Cedex 4
{dubois, prade}@irit.fr

RESUME. La notion de causalité joue un rôle essentiel dans l'expression de notre perception des phénomènes de notre environnement et de leur description. Elle s'avère difficile a modéliser pleinement, malgré nombre de tentatives anciennes ou récentes. Une source de difficultés semble être le fait que la notion de causalité se trouve reliée a d'autres idées comme celles d'explication, ou de responsabilité notamment, ce qui rend encore plus malaisée sa compréhension. Cette note, tout en se situant par rapport a certains travaux récents, suggère quelques éléments de modélisation, ou du moins met en évidence des questions auxquelles toute modélisation devrait s'affronter.

MOTS-CLES causalité, explication,

1 Introduction

Les chercheurs en Intelligence Artificielle (IA) font souvent appel à la notion de causalite de maniere implicite ou explicite, ne serait-ce que quand ils parlent de " relations causales ", de " processus causaux ". C'est en general le cas dans les problemes de diagnostic ou, à partir d'observations eventuellement imprecises et incertaines, on recherche par abduction la ou les causes plausibles d'une situation.

Dans ces approches, l'identification des causes s'appuie sur des connaissances reliant " causes " et " effets ". Ces relations sont souvent modelisees par des probabilites conditionnelles de la forme Prob(effets|causes), les effets n'etant pas toujours connus avec precision et certitude. Le cadre bayesien [P 88] permet notamment de mettre en evidence des phenomenes de renversement d'explication (" explaining away "). Ils correspondent à l'influence negative d'une observation sur

la plausibilité d'une cause potentielle, suggérée par une première observation. C'est-à-dire qu'une observation complémentaire conduit à écarter une cause pressentie au profit d'une autre cause maintenant plus plausible (compte tenu de la nouvelle observation). Ce genre de processus peut aussi être appréhendé dans des cadres plus qualitatifs comme celui de la théorie des possibilités (e.g., [SCDP 96]). Ceci peut aussi être relié à l'idée de privilégier les ensembles minimaux de causes susceptibles d'expliquer à eux seuls tous les effets observés (comme l'ont fait Peng et Reggia [PR 90]).

De fait, les réseaux bayésiens, qui fournissent une représentation graphique orientée d'une distribution de probabilité conjointe sont quelquefois appelés " réseaux causaux " (de manière éventuellement abusive puisque l'orientation des flèches est induite par l'ordre dans lequel on considère les variables, sans que cette orientation ne reflète nécessairement une relation de causalité qu'on chercherait à modéliser).

Que signifie, ou quand peut-on dire qu'un événement A " cause " un événement B? Cette question a été depuis longtemps l'objet de spéculations de la part de philosophes, de physiciens, mais aussi de juristes (puisque responsabilité et causalité sont liées), et de psychologues cogniticiens. Ce n'est qu'assez récemment que des chercheurs en IA se sont à leur tour intéressés aux problèmes posés par la modélisation de la causalité, notamment Shafer [S 96], Pearl [P 00], et Halpern et Pearl [HP 01a], [HP 01b]. Cette préoccupation est effectivement naturelle pour l'IA, car il importe de toujours pouvoir munir les systèmes d'inférence ou d'aide à la décision de capacités d'explications, évidemment destinées à un opérateur ou utilisateur humain. Or l'idée de causalité est étroitement liée à celle d'explication.

Nous passons maintenant en revue les principales idées qui ont été avancées, et les difficultés qui ont été soulevées, avant de suggérer quelques autres éléments de modélisation. Ce court article ne prétend pas offrir une (nouvelle) définition de la causalité, mais plutôt recenser différents aspects qui sont à l'œuvre dans l'idée intuitive de causalité, de manière à dégager des éléments utiles, dont la validité psychologique puisse être testée, de manière à pouvoir envisager à terme la réalisation de systèmes d'explications causales qui soient en accord avec la perception humaine de la causalité.

2 Quelques points de vue récents sur la causalité

Différentes analyses ou formalisations de processus causaux, en particulier dans le cadre de modèles à base de probabilités conditionnelles, ou du moins susceptibles d'être " probabilisés " ont été proposés.

2.1 Shafer et les relations entre évènements

Shafer ([S 96], [S 98]) a developpé une " logique causale " à partir de l'idée d'arbres d'evenements (ou chaque nœud correspond à un choix possible, à une situation), qu'on peut ensuite equiper de mesures d'incertitude. Cette approche par arbre d'evenements permet de représenter l'enchaînement temporel entre evenements, tandis que des " espaces d'evenements " permettent de manipuler des situations qui correspondent à des nœuds dans des arbres d'evenements plus ou moins detailles, reliees entre elles non seulement par des relations de precedence, mais aussi par des relations de specificite et d'implication. Cinq relations de base possibles sont ainsi identifiees entre deux evenements (instantanes) S et T. Un evenement S peut

i) être une specialisation de T (si S arrive, T aussi du même coup) ;
ii) requerir T pour sa realisation (si S arrive, T est deja arrive) ;
iii) annoncer (être certainement suivi de) T (si S arrive, T doit arriver apres) ;
iv) être possiblement suivi de T (si S arrive, il est possible que T arrive apres) ;
v) exclure T (si S arrive, T n'arrivera pas).

Shafer [S 01], sans prétendre à proposer une définition universelle de la causalité, discute le sens tres specifique du concept classique de cause, du point de vue du droit : une action qui est necessaire et suffisante pour un effet. Il insiste sur le fait que dans la relation "A cause B", A est une action (qui peut être produit par un agent anime, ou même inanime comme par exemple un orage) tandis que B est un evenement instantane, à la difference des cinq relations ci-dessus qui sont des relations entre evenements instantanes.

2.2 Halpern et Pearl et la définition de la cause réelle

Plus recemment, dans une approche differente, Halpern et Pearl [HP 01a] se sont efforces de distinguer cause reelle (" cause in fact ") et cause potentielle, en s'inspirant des idees de I. Good sur le problème de la determination des responsabilites (qui doit s'appuyer sur les " causes reelles "). Un exemple typique de ce probleme considere deux feux A et B avançant vers une maison. Si le feu A brule la maison avant le feu B, alors le feu A est considere comme etant "la cause reelle" pour les dommages, même si on sait que la maison aurait certainement brule par le feu B.

Pour modéliser ce problème, Halpern et Pearl proposent un cadre où sont distinguees a priori variables endogenes (dont les valeurs possibles sont regies par des equations structurelles, correspondant par exemple à des lois physiques) et variables exogenes (determinees par des facteurs exterieurs au modele). Ces dernieres ne peuvent pas fournir de causes. La definition de la causalite dans ce cadre reste etroitement liee à l'idee de conditionnelle " contre-factuelle " (c'est-à-dire que " A cause B " dans la mesure ou " il est vrai que si A n'avait pas eu lieu, B ne se

serait pas produit "). Plus précisément, ces auteurs considèrent que le fait A qu'un sous-ensemble de variables endogenes ait pris certaines valeurs est la cause reelle d'un evenement B, si A et B sont vrais dans le monde reel, si ce sous-ensemble est minimal, et si une autre affectation de valeurs à ce sous-ensemble de variables rendrait B faux, les valeurs des autres variables endogenes ne participant pas directement à la realisation de B etant fixees d'une certaine maniere, et si A seul suffit à provoquer B dans ce contexte.

Cette approche offre un modèle raisonnable de l'idée de causalité et permet de traiter des exemples qui posent problemes dans d'autres approches de la causalite. La cause reelle est importante dans les applications en intelligence artificielle. En effet, chaque fois qu'on explique un ensemble d'evenements dans un scenario specifique, l'explication produite doit reconnaître la cause reelle de ces evenements. La generation automatique d'explications qui s'avere une tâche essentielle dans la planification, le diagnostic et le langage naturel, exige donc une analyse formelle du concept de la cause reelle.

Par ailleurs, un autre problème important a été récemment étudié par Pearl [P 01]. Il concerne la distinction entre les effets directs et les effets indirects d'un evenement. Cette distinction est en effet d'une grande importance pratique dans beaucoup de domaines, y compris des decisions de politique, et les definitions legales.

2.3 La meilleure explication privilégie ce qui s'est passé d'anormal

Notons cependant que l'idee de contrefactuelle, seule, ne suffit peut-être pas toujours pour rendre compte pleinement de l'idee de causalite (e.g., Miller et Turnbull [MT 90]), ou du moins du choix d'une meilleure explication. En effet, en cas d'evenements survenus dans une situation anormale, il semble que l'explication doive privilegier les conditions " anormales " parmi les circonstances qui ont preside à la realisation de l'evenement (Hart et Honore [HH 85]). L'idee de selectionner parmi les causes qui contribuent à la realisation d'un evenement celles qui peuvent etre jugees les plus pertinentes, essentielles, determinantes, etc n'est pas sans rappeler les maximes de Grice quant à l'economie d'un dialogue bien maîtrise (ou seuls les faits pertinents doivent etre enonces par des agents), comme le soulignent Hilton *et col.* [HMSBM 01]. Hilton *et col.* etablissent aussi dans leurs experiences que les sujets humains retiennent rarement les causes immediates comme explications, que les explications vont en general de pair avec des conditions suffisantes pour la realisation de l'evenement (plutot qu'avec des conditions necessaires de realisation), et que les actions humaines sont preferees comme explications des evenements.

2.4 La causalité serait-elle indéfinissable ?

Zadeh [Z 01] insiste sur le caractere quasiment indefinissable de l'idée de

causalité, du moins si on prétend à une définition générale (non restreinte à des classes de cas particuliers), precise et non ambigue susceptible d'etre formalisee logiquement, qui permette de toujours determiner s'il y a une relation causale entre deux evenements (et eventuellement quelle est sa force), et qui soit coherente avec l'intuition. Il rappelle, apres de nombreux auteurs, un certain nombre de difficultes inherentes à l'idee de causalite, comme les problemes

- des causes conjointes (à quel " degre " chaque cause contribue-t-elle à la situation resultante ?) ; voir à ce sujet (Chockler et Halpern [CH 03]),
- de la distinction entre correlation statistique et causalite même incertaine (ainsi la perte de l'acuite auditive est-elle due à l'âge, ou plutot à des expositions repetees au bruit, dont bien sur la repetition s'accumule avec l'âge),
- ou des chaînes d'evenements (la relation de causalite est-elle transitive ?), comme l'illustre l'exemple suivant [Z 01] : " Un ami m'appelle. Il a besoin de mon aide et me demande d'accourir chez lui. Je saute dans ma voiture et je conduis aussi vite que je peux. A un carrefour, je suis percute par une autre voiture, et je suis tue. Qui a cause ma mort : Mon ami, moi, le chauffeur de la voiture qui m'a percute ? " . Se posant la question quelle est la cause de ma mort, on pourrait ajouter " ma trop grande emotivite qui a nui à mes capacites à eviter l'accident ", " le fait que je n'avais pas attache ma ceinture ", ou meme " le fait que le telephone marchait et que j'etais là pour recevoir l'appel ", etc…

3 Autres éléments de modélisation. Quelques pistes

Dans ce qui suit, on suggère d'une part que les effets attendus d'une cause sont souvent imprecis et incertains, ce qui semble mettre en evidence l'interet d'une representation bipolaire, et on souligne d'autre part quelques specificites des problemes d'explication et de determination de « causes reelles » (voire de responsabilites) ou ce qui s'est produit est connu, par rapport aux problemes de diagnostic ou il s'agit de decouvrir ce qui s'est produit.

3.1 Effets imprécis et bipolarité

En considerant l'exemple ci-dessus de la personne tuee à la suite de l'appel de son ami, il semble que ce qui fait probleme, dans la perception causale de l'enchaînement des faits : " l'ami appelle → j'y vais rapidement → j'ai un accident → je suis tue ", est que

- pour les differents enchaînements, " ça " aurait pu se passer autrement. Par exemple, " j'ai un accident " est une consequence *possible* de " j'y vais rapidement ", pas une consequence *certaine*, dans la mesure on n'a pas toujours un accident quand on roule (trop) vite ;
- certains actes ne conduisent pas *intentionnellement* à leurs effets : " j'y vais rapidement " est intentionnel, mais pas " j'ai un accident "

De fait, si on considère l'exemple suivant, " je jette une pierre avec force dans la vitre, la vitre se brise ", la perception de la causalite ne semble pas faire de probleme, car le resultat apparaît comme une consequence certaine de mon geste, et qui plus est, va de pair avec un acte qui semble intentionnel. Si au contraire, " je lance une pierre dans une vitre, pour attirer l'attention de quelqu'un à l'interieur, et que la vitre se brise (parce que j'ai mal calibre mon geste, ou que la vitre etait frele) ", on est dans une situation ou ce qui est survenu n'est qu'une consequence *possible* de mon geste. Dans ce dernier cas, meme si mon geste a provoque le resultat, la relation de causalite est perçue comme moins immediate, et s'integrerait plus difficilement dans une chaîne transitive de relations causales. Ainsi si "A cause B" et que "B cause C", il semble qu'on ne puisse pas toujours dire que "A cause C".

Ceci semble pouvoir être mis en rapport avec des problèmes délicats posés par la description de relations de causalite imprecise. En effet, on peut vouloir dire par exemple, que " la grippe cause une fievre qui se situe necessairement dans un intervalle I ", au sens ou les valeurs de temperature en dehors de I sont incompatibles avec la grippe (i.e., $\forall$patient, grippe(patient) => $\exists$t$\in$ I tel que temp(patient) = t), et ou *toutes* les valeurs dans I sont compatibles avec l'eventualite d'une grippe (qui exprime plutot que $\forall$t$\in$ I, $\exists$ patient tel que grippe(patient) et temp(patient) = t). Soit alors un intervalle I' contenant I. Quoique " fievre dans I " implique " fievre dans I' ", on ne peut pas dire que " grippe cause fievre dans I' ", comme l'ont souligne Besnard et Cordier [BC 99]). Au contraire, " grippe ne cause fievre " que dans des intervalles qui sont des sous-ensembles de I. Ceci montre que la relation de causalite fonctionne dans une certaine mesure à l'inverse de la relation de consequence classique.

La representation de telles relations de causalite imprecises semble requerir une representation de type bipolaire (comme celle decrite par Dubois *et col.* [DPS 01]), pour exprimer d'une part i) que les valeurs en dehors d'un ensemble S ne sont pas des effets possibles, et d'autre part ii) que toute valeur dans un sous-ensemble G $\subseteq$ S est un effet garanti possible de la cause consideree, la grippe dans notre exemple. Notons que si ce qui est observe n'est pas dans S, on peut ecarter pour incoherence la cause associee à l'effet imprecis (G, S), tandis qu'on pourra considerer la cause associee comme une explication candidate, par abduction, si ce qui est observe est dans G. Quand on a une information *complète* sur les effets possibles de cette cause, alors G = S (= I). A partir du moment ou au niveau de description considere, I contient plus d'une valeur, l'effet observe n'est qu'un des effets possibles de la cause qu'on sait presente, et on se trouve dans la situation evoquee plus haut. Au total on peut ainsi distinguer entre trois situations en termes de scenarios: 1) un evenement *j* suit *nécessairement* un autre evenement *i* ; 2) un evenement *j peut pour sûr* suivre un evenement *i* ; 3) il n'est *pas impossible* qu'un evenement *j* suive un evenement *i* (i.e. rien ne l'interdit). La difference entre les situations 2 et 3, est que dans la situation 2, *j* appartient à un ensemble d'effets garantis possibles de *i*), tandis que dans la situation 3, *j* n'appartient qu'à un ensemble d'effets qui ne sont pas

impossibles. La différence entre les situations 1 et 2 est que dans la situation 2, *j* est parmi les effets possibles averes de *i*, tandis que dans la situation 1 l' evenement *j* est le seul effet possible de *i*.

3.2 Diagnostic vs. explication

Il convient de distinguer entre plusieurs problèmes où l'idée de causalité joue un rôle central. Le probleme discute ici n'est pas celui du diagnostic, lequel concerne la recherche de causes possibles ayant pu plausiblement conduire à des effets observes. C'est celui de discerner dans une chaîne d'evenements connus ceux qui entretiennent des relations que l'on peut qualifier de « causales », et fournir des explications cognitivement pertinentes à un utilisateur humain, compte tenu des informations disponibles pour l'agent. Les croyances de l'agent doivent aussi etre prises en compte, en particulier dans la situation ou l'agent croit que c'est A la cause (pour des raisons abductives, etant donne ce qu'il sait), alors que la vraie cause est A' compte tenu des informations dont dispose le systeme qui doit fournir l'explication. Un autre probleme, une fois les relations causales etablies, est de determiner les roles eventuels d'agents et leur responsabilites d'un point de vue deontique.

Ainsi, on est supposé disposer à la fois i) d'une description, nécessairement partielle, (en termes logiques, ou en termes de formalismes de representation de l'incertain) du monde considere à differents moments successifs, et ii) sous forme de conditionnelles, de transitions potentiellement applicables qui decrivent la maniere dont peut evoluer le monde soit de maniere spontanee et progressive, soit sous l'effet de l'action d'agents. On passe ainsi d'une description K_t à une description K_{t+1} telles que par exemple K_t implique B et K_{t+1} implique $\neg$B, en sachant quelles transitions se sont declenchees , ou ont ete declenchees , entre t et t + 1. Il reste alors à determiner quelle est celle, ou quelles sont celles qui individuellement ou collectivement ont provoque le basculement de B à $\neg$B. Considerant une transition A (qui peut n'etre que partiellement connue dans ses effets), et par analogie avec la situation en revision de croyance (voir Dubois *et col.* [DFHP 99]), on peut avoir en fait cinq situations de base par rapport à un enonce B :

i) B est inconnu en t; sachant que A s'est produit, B reste inconnu en t + 1 (A n'apporte pas d'information sur B)
ii) B est inconnu en t ; sachant que A s'est produit, B est tenu pour vrai en t + 1 (A justifie B)
iii) B est tenu pour vrai en t ; sachant que A s'est produit, B reste tenu pour vrai en t + 1 (B est independant de A)
iv) B est tenu pour vrai en t ; sachant que A s'est produit, B devient inconnu en t + 1 (A fait perdre de l'information sur B)
v) B est tenu pour vrai en t ; sachant que A s'est produit, B est maintenant tenu pour faux en t + 1 (A refute B).

La situation i) ne veut pas dire que A est sans effet sur B (il se peut que si B est vrai dans la realite, B devient faux quand A se produit), seulement que la venue de A ne permet pas d'apprendre quelque chose sur B. Ces relations, à la difference de celles proposees par Shafer (voir la section 2.1) lient une transition (associee à une action) à la connaissance qu'on peut avoir d'un evenement instantane plutot qu'à son occurrence proprement dite.

Enfin, on peut se demander dans le cas où un effet observé a plusieurs causes possibles, si le fait que la cause reelle soit inattendue, alors qu'on pouvait s'attendre à la venue d'une autre cause et ainsi essayer de se premunir contre ses effets, peut influencer notre perception du processus causal. Ceci est illustre par l'exemple suivant. « Une personne descend à sa cave. La lumiere, qu'elle a allumee en s'engageant dans l'escalier, s'eteint brusquement. La personne tombe. On apprend ensuite qu'il y a eu une coupure d'electricite generale quand la personne etait dans l'escalier ». Il semble là qu'on puisse dire que la coupure d'electricite a contribue à faire chuter la personne (peut-etre de maniere conjointe avec l'etat physique de la personne et l'etat de l'escalier). On a donc l'enchaînement "coupure → lumiere s'eteint → chute ". Supposons qu'en fait le systeme d'eclairage de l'escalier ait ete defectueux depuis longtemps (c.-à-d., que la lumiere quand on parvenait à l'allumer pouvait se re-eteindre toute seule), et que *cela était connu* de la personne. Dans ce dernier cas, peut-on encore dire que la coupure d'electricite est en partie la cause de sa chute, ou que c'est plutot l'inattention de la personne qui en est la cause, puisque la personne devait s'attendre à tout moment à une extinction assurement possible de la lumiere et à ses consequences selon le schema " installation defectueuse → lumiere s'eteint → chute possible ", et donc prendre des precautions ? Ceci illustre le role, deja souligne plus haut, des circonstances « anormales » dans une explication causale, non pas tant peut-etre parce qu'elles sont inattendues et que donc elles frappent l'esprit, que parce que ce qui est attendu est previsible et peut eventuellement etre evite.

4 Conclusion

Les propositions existantes en Intelligence Artificielle pour modeliser l'idee de causalite restent partiellement insuffisantes dans leur capacite à rendre compte du phenomene de la perception causale. Des modeles plus satisfaisants doivent prendre en compte le caractere toujours incomplet, et eventuellement incertain de l'information disponible, le niveau de granularite des descriptions, et tirer parti des developpements actuels des travaux en IA notamment en matiere de mise à jour, de logiques de l'action et de modelisation de l'intentionnalite. Ils pourront alors constituer à la fois des referents susceptibles d'etre valides sur la base de tests experimentaux, et permettre le developpement de modeles plus complets pour l'explication causale, dans des cadres eventuellement plus qualitatifs que les probabilites.

Références

[SCDP 96] S. Benferhat, D. Cayrac, D. Dubois et H. Prade, Explaining away in a possibilistic setting. Proc. of the 6th Inter. Conf. on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems (IPMU'1996), Granada, Spain, July 1-5, 1996, 929-934.

[BC 99] Ph. Besnard, M. O. Cordier, Explications causales *Journées Nationales sur la Modélisation du Raisonnement (JNMR-1999),* Paris, 22-23 mars 1999, http://www.irit.fr/GDRI3-ModRais/articlesJNMR.html.

[CH 03] H. Chockler, J. Y. Halpern, Responsibility and blame: A structural-model approach. *Proc. of the 18th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI 2003)*, 147-153, 2003.

[DFHP 99] D. Dubois, L. Farinas, A. Herzig, H. Prade, Qualitative relevance and independence: A roadmap. *Proc. 15 th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI'97)*, Nagoya, 62-67. Extended version: A roadmap of qualitative independence. In: *Fuzzy Sets, Logics and Reasoning about Knowledge* (Dubois, D., Prade, H., Klement, E.P., eds.), Kluwer Academic Publ., 325-350, 1999.

[DPS 01] D. Dubois, H. Prade, P. Smets, Not impossible vs. guaranted possible in fusion and revision. *Proc. of the 6th.European Conference (ESCQARU 2001)*, Toulouse, Springer-Verlag, LNAI, 522-531, 19-21 sept. 2001.

[HP 01a] J. Y. Halpern, J. Pearl, Causes and explanations: A structural model approach. Part I : Causes. *Proc. of the17th Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI'2001)*, (J. Breese, D. Koller, eds.), Seattle, Wa., Aug. 2-5, Morgan Kaufmann Publ., San Francisco, 194-202, 2001.

[HP 01b] J. Y. Halpern, J. Pearl, Causes and explanations: A structural model approach. Part II : Explanations. *Proc. of the17th Inter. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI'2001)*, Seattle, Wa., Aug. 4-10, Morgan Kaufmann Publ., San Francisco, 27-34, 2001.

[HH 85] H. L. A. Hart, A. M. Honoré, *Causation in Law*. Oxford University Press. 2nde édition, 1985.

[HMSBM 01] D. J. Hilton, J. McClure, R. Sutton, A. Baroux, I. Magaorou, Selecting " the " explanation from a causal chain ; A comparison of abnormality, intentionality and statistical principles. Univ. Toulouse Le Mirail, 2001.

[MT 90] D. T. Miller, W. Turnbull, The counterfactual fallacy : Confusing what might have been with what ought to have been. *Social Justice Research,* 4, 1-19, 1990.

[P 88] J. Pearl, *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1988.

[P 00] J. Pearl, *Causality: Models, Reasoning and Inference*. Cambridge University Press, New York, 2000.

[P 01] J. Pearl, Direct and Indirect Effects. *Proc. of the 17th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI'2001)*, (J. Breese, D. Koller, eds.), Seattle, Wa., Aug. 2-5, Morgan Kaufmann Publ., San Francisco, 411-420.

[PR 90] Y. Peng, J. A. Reggia, *Abductive Inference Models for Diagnostic Problem-Solving*, Springer Verlag, 1990.

[S 98] G. Shafer, Causal logic. *Proc. of the13th European Conf. on Artificial Intelligence (ECAI'98)*, Brighton, UK, Aug. 23-28, (H. Prade, ed.), John Wiley & Sons, Chichester, 711-719.

[S 96] G. Shafer, *The Art of Causal Conjecture*. MIT Press, Cambridge, 1996.

[S 01] G. Shafer, Causality and responsibility. *Cardozo Law Review*, 22, 101-123.

[Z 01] L. A. Zadeh, Causality is undefinable. (Résumé long) Séminaire, Univ. of California, Berkeley, 18 Janvier 2001.