



Munich Personal RePEc Archive

Deregulation, security and extreme accidents projection: The French freight rail case

Bonache, Adrien

CREGOR-Université de montpellier, ENS-CACHAN

12 November 2008

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/12962/>

MPRA Paper No. 12962, posted 23 Jan 2009 18:54 UTC

Déréglementation, sécurité et prévision d'accidents extrêmes : le cas du fret ferroviaire français

Adrien BONACHE*

Allocataire-moniteur normalien

Université de sciences et techniques de Montpellier

Place Eugène Bataillon, 34000 Montpellier

Tél. : 04 99 92 05 23

Courriel : bonache@rip.ens-cachan.fr

Résumé

L'ouverture à la concurrence du fret ferroviaire fut longtemps vue comme une menace pour la sécurité. L'article suivant montre que jusqu'à aujourd'hui, on ne peut considérer que l'ouverture à la concurrence a eu d'impact significatif sur la sécurité, en France. Partant, nous regardons s'il est possible qu'il y ait des accidents majeurs dans le fret ferroviaire français. Finalement, nous évaluons la périodicité d'accidents plus graves que ceux que nous avons connu en France depuis dix ans dans ce secteur.

Mots clés

Sécurité, réglementation, projection de valeur extrême, accidents, fret ferroviaire, transport.

* Nous tenons à remercier le Professeur Yves DUPUY, Karen MORIS et les deux rapporteurs anonymes pour leurs excellentes remarques et critiques. Les éventuelles erreurs relèvent de la seule responsabilité de l'auteur.

L'accident de Zoufftgen entre un train de fret français et un TER luxembourgeois fut particulièrement paradoxal. Premièrement, cet accident fut l'un des plus meurtriers en France depuis l'ouverture effective du marché du transport de marchandises à la concurrence (31 mars 2005). Deuxièmement, le train de fret en cause appartenait à l'opérateur historique et non à un « nouvel entrant ». Il ne semble donc pas possible d'accuser directement l'ouverture du marché à la concurrence d'en être responsable, en bradant les impératifs de sécurité. De surcroît, l'accident vient d'une erreur d'aiguillage, d'après les éléments de l'enquête (SNCF, 2006) ; or l'aiguillage était encore public en France et au Luxembourg au moment des faits. Au delà de cet accident, une question se pose qui est celle de savoir quelles sont les relations qui lient la déréglementation et la sécurité? Doit-on arbitrer entre réglementation et sécurité ou peut-on dépasser cet arbitrage en conciliant déréglementation et sécurité? Par ailleurs, un autre intérêt pratique se trouve dans la possibilité de prévoir et/ou prévenir des accidents de cette ampleur.

Cela nous conduit à nous interroger sur les possibles intérêts méthodologiques de notre sujet. En effet, existe-il une méthodologie pour voir si la déréglementation progressive du transport ferroviaire de marchandises, en France, a eu un impact sur le nombre d'accidents? Par ailleurs, comment savoir, dans le cas où la déréglementation ne serait pas responsable, si les accidents ont des causes communes ou si chaque accident en a une bien spécifique? Ces questions soulèvent des intérêts méthodologiques pour le manager de risque. Car, une fois révélée l'existence d'une cause commune aux accidents de niveaux différents, nous pourrions peut être proposer des actions correctrices en s'appuyant sur l'expérience des accidents mineurs pour éviter des accidents majeurs. C'est la base du retour d'expérience qui est une des solutions pour corriger ces causes.

Enfin, notre papier a un intérêt théorique: l'éventuel dépassement de l'arbitrage entre régulation et sécurité. Pouvons-nous parvenir à déréguler sans diminuer la sûreté dans le cas du transport ferroviaire? Si oui, peut-on généraliser aux autres secteurs nos conclusions ou doit-on réaliser les mêmes études pour mettre en avant des contingences sectorielles, temporelles et géographiques?

Notons que nous prenons sûreté et sécurité comme synonymes dans la présente communication alors que à la SNCF « quand nous parlons de sécurité il s'agit de la sécurité des circulations, c'est à dire des trains, et quand nous parlons de sûreté il s'agit de la sécurité des personnes au sens de la sûreté nationale, de la police » (Geneviève AUBRY, directrice de la communication à la SNCF)

Notre problématique, compte tenu des multiples intérêts associés à notre sujet, sera la suivante:

La déréglementation a-t-elle un impact sur la sûreté du trafic ferroviaire? Sinon, les accidents ferroviaires ont-ils des causes « managériales » communes? Enfin, quelle est la fréquence des accidents majeurs?

Somme toute: Peut-on prévoir la périodicité des accidents majeurs dans le fret ferroviaire?

Pour répondre à cette problématique, nous mettrons rapidement en perspective les éléments du débat (I.A.) et exposerons brièvement notre méthodologie (I.B.).

Puis, la présentation de nos résultats (II.A) sera suivie d'une discussion à propos de la portée et des limites de nos conclusions (II.B.)

1. Sous-bassement théoriques et méthodologiques de la relation déréglementation-sécurité.

Les éléments du débats paraissent *a priori* particulièrement flous parce qu'une confusion semble exister entre des termes au contour non clairement défini. Aussi, il semble nécessaire de rappeler ce que l'on nomme déréglementation en économie et en droit de la concurrence mais aussi ce qu'est la sécurité dans le transport ferroviaire d'un point de vue de « fiabiliste ». Par ailleurs, notons que nous retiendrons une échelle de mesure des risques, l'échelle européenne des accidents, permettant de regrouper des risques similaires sans tomber dans l'événementiel ou dans l'agrégation de conséquences trop variées.

1.1. Éléments de clarification conceptuelle et théorique.

1.1.1. Déréglementation.

Il existe de nombreuses définitions de ce qu'est une déréglementation. Nous retenons, pour notre étude, celle très générale de Moses et Savage(1989): c'est la suppression des règles formelles limitant l'entrée au marché en donnant à quiconque désirant entreprendre la liberté de le faire à ses propres risques. Plus spécifiquement, dans le cas du transport ferroviaire européen historiquement détenu par un monopole étatique, la déréglementation prend la forme d'enchères donnant le droit de circuler sur certaines sections du réseau (Wollmar, 2001).

En fait, la plupart du temps, la compagnie aux coûts les plus bas remporte le marché, donc il n'y a pas de vraie concurrence.

Par ailleurs, la déréglementation ne signifie pas la suppression de toutes règles formelles. En effet, il demeure en principe après celle-ci l'interdiction d'entente sur les prix, la règle sur la sécurité des véhicules et leur maintenance, les règles de circulation pour assurer la sécurité et la législation sur les conditions de travail des salariés. Aussi, l'effet de la déréglementation sur la sécurité semble particulièrement incertain.

Une méta-analyse récente (Elvik, 2006) montre que l'on retient dans la littérature anglo-saxonne différents mécanismes comme des formes de déréglementations: « deregulation »(Fright et Derby, 1986; Daicoff, 1988; Jovanis, 1988; Barnett et Higgins, 1988; Button, 1989; Jordan, 1989 ...), ouverture du marché à des nouveaux opérateurs (Corsi et Fanara, 1989; Kanafani et Keeler, 1990)...

Cette revue de la littérature a mis en avant que le cas du rail ne fut étudié qu'au Royaume-Uni (HSE, 2002 et Evans, 2007).

1.1.2. Sécurité.

Il existe plusieurs façons d'estimer la sécurité. Lorsque l'on ne peut directement observer la sécurité et son évolution, nous sommes obligés de prendre en considération les conséquences des mesures mises en œuvre (Kjellén, 2000). C'est à dire que l'on retiendra, par exemple, le nombre d'accidents par million de tonnes de marchandises-km dans le cas du transport de marchandises, le nombre d'accidents par milliard de passagers-km pour le transport de personnes ou bien le nombre d'accidents par million de trajets afin de mesurer la sécurité en général.

Pour mesurer les effets d'une déréglementation, il existe plusieurs types d'indicateurs. Nous présentons les deux principaux:

-les rapports de cotes (« *odds ratio* ») que l'on mesure de la façon suivante:

$$RC = \frac{\frac{\text{Accidents dans l'activité touchée par la déréglementation ex post}}{\text{Accidents dans l'activité touchée par la déréglementation ex ante}}}{\frac{\text{Accidents dans l'activité non touchée par la déréglementation ex post}}{\text{Accidents dans l'activité non touchée par la déréglementation ex ante}}}$$

Remarquons que les deux activités doivent être comparables: train de voyageurs et train de marchandises, par exemple.

-le rapport de taux d'accidents:

$$RTA = \frac{\text{nombre d'accidents ex-post} / \text{volume d'activité ex-post}}{\text{nombre d'accidents ex-ante} / \text{volume d'activité ex-ante}}$$

La lecture des deux ratios présentés est la même. Si le ratio est supérieur à l'unité, il y a eu une dégradation de la sécurité après la déréglementation. Si le ratio est inférieur à l'unité, cela signifie qu'il y a eu une amélioration de la sécurité après la déréglementation.

1.1.3. L'effet de la déréglementation sur la sécurité des transports.

Elvik (2006), dans une meta-analyse sur ce thème, a mis en avant que dans le cas du transport ferroviaire, aucune relation de cause à effet ne pouvait être trouvée entre la déréglementation et la sécurité, même si sa meta-analyse mettait en avant que la sécurité s'est améliorée après la déréglementation aux États-Unis et au Royaume-Uni. Cela semble tenir au fait que la méta-analyse, sur ce mode de transport, ne repose que sur deux études observatoires. Aussi, il en conclut que cette amélioration continue après la déréglementation devrait être considérée comme une relation statistique et non comme une causalité.

Nous posons alors l'hypothèse suivante:

H1: la déréglementation n'a pas d'effet significatif sur la sécurité.

L'hypothèse suivante semblerait cohérente avec les travaux réalisés sur les autres modes de transports qui ont connu une déréglementation à travers le monde.

D'une part, Elvik(2006, p.683) montre dans sa méta-analyse que la déréglementation du transport routier de marchandises (camions) et de passagers (bus) n'est pas globalement associée à des changements majeurs sur la sécurité routière.

D'autre part, il met en avant que la déréglementation du transport aérien aux États-Unis n'est pas associée à des changements dans la sécurité aérienne. En effet, quelle que soit la variable de contrôle, l'impact de la déréglementation sur la sécurité aérienne ne semble pas significatif lorsque l'on utilise un modèle aléatoire de meta-analyse. De plus, lorsque l'on retient le taux d'accidents de passagers, il y aurait une amélioration de la sécurité, alors que lorsque l'on retient comme estimateur de sécurité le taux d'accident chez les opérateurs il semblerait qu'il n'y ait pas d'amélioration de la sécurité.

Aussi, nous proposons de tester notre hypothèse dans le cas de la déréglementation du fret en France qui a eu lieu en mars 2005.

1.2. Présentation des données et de la méthodologie utilisée

1.2.1. Les accidents ferroviaires concernant le fret de 1998 à 2008.

La base de données du Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions industrielles - BARPI- fut utilisée pour réaliser cette étude. Nous avons collecté tous les accidents ayant eu lieu sur la période allant du 1er janvier 1998 au 1er janvier 2008 (la base n'allant pas plus loin pour l'instant). Le choix de cette période fut retenu premièrement pour satisfaire aux exigences de stabilité:

1/ 1997 étant l'année d'une réforme majeure puisque la propriété du réseau est transférée à Réseau Ferré de France;

2/ Il ne fallait ne pas dépasser une période de 10 ans compte tenu du fait que pour la prévision d'accidents extrêmes (cf infra) nous ne devons pas dépasser une période d'analyse de 5 ans selon Kjellén (2000, p.218). Nonobstant, certains admettent volontiers qu'une période de 10 ans est acceptable (Stephans, 2004, p.265).

La sélection des accidents ferroviaires sur la base de données du BARPI s'est effectuée en ne prenant que les accidents dans l'activité « 60.1-Transports ferroviaires ». Puis, pour éviter de prendre en compte des accidents de l'activité transport de passagers, nous avons lu les commentaires associés à chaque accident et retiré les accidents ne concernant pas le fret.

Finalement, nous avons obtenu une base de 304 accidents ferroviaires. Une fois retiré les accidents n'ayant rien à voir avec le fret, nous obtenons une base de 298 accidents. Pour chaque accident, nous n'avons retenu que les rejets de matières dangereuses et les conséquences humaines et sociales (classées par niveau selon la nouvelle échelle européenne des accidents). Les conséquences environnementales et économiques mises en avant dans cette base semblaient, à notre avis, négligeables sur l'ensemble de la période d'analyse pour le secteur étudié.

Concernant les projections d'accidents extrêmes, nous avons sélectionné les accidents les plus graves de chaque quadrimestre en matière de rejet de matières dangereuses et de conséquences humaines et sociales. Ceci permet de satisfaire la « contrainte de significativité » de 30 périodes mise en avant par Kjellén (2000, p.218).

1.2.2. Test de la stabilité du taux d'accident sur la période.

Pour tester l'hypothèse H1, nous pourrions, comme il est couramment pratiqué dans la littérature, calculer un RTA -ratio de taux d'accidents- (Elvik, 2006). Mais, nous avons réalisé un test de type ANOVA sur le logiciel SAS car il permet de s'assurer non seulement de l'égalité des moyennes du ratio accidents/activité mais aussi de l'égalité des variances entre les deux périodes délimitées par la dérégulation.

Finalement, notre hypothèse H1 se décompose en deux hypothèses testant l'égalité des deux caractéristiques de forme des deux distributions d'accidents séparées par la déréglementation:

$$H1a: m_a = m_p$$

$$H1b: \sigma_a = \sigma_p$$

où l'indice « a » caractérise la statistique avant la déréglementation et l'indice « p » caractérise celle calculée après. σ caractérise l'écart-type et m la moyenne.

1.2.3. *Prévision d'accidents extrêmes.*

La prévision d'accidents extrêmes s'appuie sur les travaux de Briscoe (1982). Il s'agit de prendre les accidents les plus graves de chaque période afin d'anticiper l'intervalle de temps entre deux accidents considérés comme très graves. On peut s'appuyer sur une extrapolation à partir des accidents moins graves, à condition que ces accidents soient la conséquence d'une même classe de causes que les accidents plus graves que l'on cherche à anticiper. (Kjellen, 2000, p.218).

Cette méthode offrirait la possibilité de répondre à la question de l'adéquation du contrôle des risques d'accidents par l'entreprise étudiée.

La procédure à suivre est la suivante:

1/ Collecter la gravité et de la date d'occurrence pour les accidents de l'organisation pour une période de temps stable. D'après Kjellen(2000), il semblerait souhaitable de retenir une période d'analyse de 5 ans maximum pour s'assurer de la stabilité de la structure de l'organisation étudiée et un découpage de la durée d'analyse en n périodes comprenant au moins un accident ($10 \leq n \leq 30$ afin d'avoir un résultat significatif).

2/Construire une table comprenant une colonne d'accidents triés par gravité et, une avec leur période d'occurrence, enfin calculer deux vecteurs indiquant la probabilité cumulée simplifiée (type I) et la probabilité cumulée de Briscoe (1982) (type II):

$$F_{type I}[x_i] = \sum_{t=1}^{t=i} \frac{1}{n-1}$$

$$F_{type II}[x_i] = \frac{1}{2n} \text{ si } x_i = \min[x_1, x_2, \dots, x_n]$$

$$F_{type II}[x_i] = \frac{1}{2n} - \sum_{t=2}^n \frac{-1}{n} \text{ si } x_i \text{ appartient à } [x_2, \dots, x_n] - \min[X]$$

3/Réaliser deux graphiques:

-($F_{type I}, 0, X$) avec une échelle logarithmique pour l'axe des abscisses ou avec du papier de la société TEAM (Stephans, 2004). Dans cet orthant positif, on réalise une ou plusieurs régressions linéaires entre les points. Nous ajoutons enfin un axe parallèle à l'axe des abscisses présentant la conversion des probabilités cumulées en périodicité des incidents, dont la relation est la suivante:

$$périodicité_i = \frac{1}{1 - F[x_i]}$$

-($F_{type II}, 0, X$) avec une échelle logarithmique pour l'axe des abscisses et l'axe des ordonnées. Ici la régression entre les variables sera de type exponentiel.

Cette méthodologie ne peut être appliqué sur les accidents de la SNCF en prenant les données antérieures à la déréglementation seulement si H1 est acceptée; i.e. s'il n'y a pas de changement dans la sécurité imputable à la déréglementation.

Kjellen (2000) met en avant que l'on pourrait, par le biais de ces deux régressions, répondre à certains problèmes:

- existe-t-il une origine commune à des accidents de gravité différente?,
- quelle est la périodicité des accidents plus graves que ceux déjà rencontrés?

Pour Kjellen (2000, p.219), si la régression de type exponentielle donne une meilleure qualité d'ajustement que la linéaire, alors on pourrait admettre que les défaillances du système de management de la sécurité sont responsables du contrôle inadéquat des dangers associés à

l'activité. En effet, si cette régression permet un meilleur ajustement, cela voudrait dire que les causes de chaque accident sont liées (Briscoe, 1982). Aussi, pour améliorer la sûreté de l'organisation, il semblerait souhaitable de prendre des mesures visant à améliorer ce système de management de la sécurité.

Par contre, lorsque la régression linéaire donne un meilleur ajustement, il semblerait que les causes des accidents sont indépendantes les unes des autres. Les mesures prophylactiques devraient être différentes pour lutter contre la reproduction de chaque accident (Kjellen, 2000, p.220).

La comparaison de la qualité de ces deux régressions permettrait d'accepter ou de rejeter l'hypothèse suivante:

H2: Les causes des différents accidents sont liées et sont d'origine « managériale ».

Lorsque il faut deux (ou plus) régressions linéaires pour améliorer la qualité de l'ajustement linéaire du premier graphique, nous avons un graphique en « patte de chien » (« *dog leg* », Kjellén, 2000, p.220). Dans le cas d'une double régression linéaire: « Les accidents avec une gravité faible et forte ont des causes différentes » (Kjellén, 2000, p.220).

H3: Il est possible sur la base de certains événements à gravité moyenne de trouver des solutions pour éviter des accidents majeurs puisqu'ils ont les mêmes causes.

Kjellen (2000, p.220) met en avant que si le graphique de type II (représentation logarithmique avec régression exponentielle) ne présente pas de limite supérieure, alors il est possible que des accidents très graves puissent avoir lieu. Par contre lorsque l'on peut apercevoir sur ce graphique une limite asymptotique (cas où la régression exponentielle ne donne pas une bonne qualité d'ajustement et donc une régression de type logistique convient mieux), il semblerait qu'il existe un maximum dans la gravité des accidents et donc on ne peut pas sur la base de cette régression prédire la périodicité des accidents majeurs.

Le Fisher calculé pour cette régression exponentielle permettra de tester l'hypothèse suivante:

H4: Il peut y avoir des accidents de niveau plus élevé que ceux que l'on a rencontrés sur la période d'analyse.

Maintenant fixé la méthodologie de notre étude, nous allons présenter les résultats sur l'analyse des effets de la déréglementation et sur la prévision d'accidents extrêmes dans le cas du transport ferroviaire français.

Enfin, nos résultats n'étant pas sans faille, nous les discuterons et présenterons des pistes de recherche futures.

2. Résultats, discussions et mises en perspective.

Nos résultats sont particulièrement contingents d'une situation nationale donnée et dépendent de la base de données du BARPI et de ses indicateurs. Aussi, même s'ils semblent confirmer nos hypothèses, ils peuvent être discutés. En outre, ils ouvrent la voie à des recherches futures permettant d'étendre ou de limiter la portée de nos conclusions.

2.1. Peut-on prévoir la périodicité des accidents majeurs dans le fret ferroviaire français?

Premièrement, pour répondre à la question maîtresse de notre propos, il faut que les hypothèses H1a et H1b soient acceptées car elles permettent de s'assurer de la stabilité des accidents sur la période d'analyse.

Le tableau ci-dessous permet de vérifier que la différence de moyenne calculée avec les données avant la déréglementation et celle calculée après n'est pas significative quelle que soit la méthode de calcul et la variable de référence retenues. Il semblerait que cela soit le cas: la *p-value* indique que les différences de moyenne ne sont pas significatives.

variable	méthode	variances	degré de liberté	Student empirique	degré de signification
Nombre d'accidents	pooled	égales	28	1,67	0,1056
	satterthwaite	inégales	12,1	1,96	0,06
rejets dangereux	pooled	égales	28	1,07	0,2935
	satterthwaite	inégales	14,65	1,16	0,25625
conséquences humaines	pooled	égales	28	1,32	0,19682
	satterthwaite	inégales	13,5	1,94	0,06231

Ensuite, nous devons nous assurer de la stabilité de l'écart-type entre les deux périodes. Le tableau ci-dessous montre que nous n'avons pas de différence de variance significative entre l'« avant déréglementation » et l'« après déréglementation » puisque la *p-value* est toujours supérieure à un alpha de 5%, l'erreur de première espèce.

variable	méthode	num DF	den DF	Fisher empirique	degré de signification
nombre d'accidents	folded F	42	16	1,62	0,2096
rejet dangereux	folded F	16	42	1,03	1
conséquences humaines	folded F	42	16	1,22	0,5848

Finalement, nous pouvons accepter nos hypothèses H1a et H1b puisqu'il n'y a pas de différence significative dans les principales caractéristiques de forme des distributions d'accidents avant et après la déréglementation dans le fret ferroviaire. Aussi, nous pouvons essayer d'appliquer l'analyse d'accidents extrêmes que nous avons déjà présentée. Peut-être pourrions nous alors prédire la périodicité des accidents de niveau 6 sur l'échelle européenne des accidents (qui va de 1 à 6).

2.2. Projection d'événements extrêmes sur la base des plus graves accidents de chaque quadrimestre.

2.2.1. Existe-t-il des causes communes à certains accidents?

Premièrement, selon Urban Kjellén(2000, p.219), il semble nécessaire de savoir si une régression linéaire donne une meilleure qualité d'ajustement qu'une régression exponentielle pour notre série des accidents les plus graves de chaque quadrimestre.

Les résultats de deux régressions sous SAS permettent de conclure en faveur de la régression de type II (exponentielle). Par exemple, concernant le rejet de matières dangereuses, alors que la régression linéaire permet d'avoir un Fisher empirique de 22,91 ($R^2=0,45$), nous avons avec la régression exponentielle un Fisher empirique de 25,48

($R^2=0,4764$). Puisque la régression exponentielle fournit un meilleur ajustement, les causes de ces différents accidents ne semblent donc pas indépendantes: au moins deux accidents ont des causes communes. D'après les travaux de Kjellen (2000, p.220), il semblerait possible de mettre en cause le système de management de la sécurité dans le fret ferroviaire, en France.

variable (régression)	coefficient de détermination	Fisher empirique	degré de signification
rejets dangereux (linéaire)	0,45	22,91	$p < 0,0001$
rejets dangereux (exponentielle)	0,48	25,48	$p < 0,0001$
conséquences humaines (linéaire)	0,83	137,25	$p < 10^{-11}$
conséquences humaines (exponentielle)	0,91	296,52	$p < 10^{-15}$

Somme toute, ces deux régressions et leur comparaison permettraient d'accepter H2. A présent nous allons étudier les graphiques de type I de chaque conséquence (fig.1 et fig.2) pour définir des classes d'accidents ayant vraisemblablement les mêmes causes que les accidents majeurs.

2.2.2. A partir de quel sous groupe d'accidents est-il possible de prévoir les accidents majeurs?

Représentons graphiquement les accidents les plus graves de chaque quadrimestre classés par gravité par rapport à la probabilité cumulée de type I, pour les rejets dangereux (fig. 1) et les conséquences humaines des accidents (fig. 2).

On s'aperçoit, à l'aide de ces graphiques, qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser toutes les valeurs extrêmes prévoir les accidents de niveaux supérieurs qui auront les mêmes causes que des accidents de niveaux moyens. En effet, on voit sur la figure 1 (rejet de matière dangereuse) qu'il est possible de ne se servir que des accidents les plus graves de chaque quadrimestre de niveau 2, 3 et 4 pour prévoir la périodicité des accidents de mêmes causes de niveaux 5 ou 6 (sur l'échelle européenne). Concernant, la prévision des accidents majeurs en termes de conséquences humaines, on voit bien sur la figure 2 qu'il n'est pas pertinent d'utiliser les accidents aux conséquences humaines et sociales nulles ou faibles: 0 et 1. En effet, ils sont faiblement corrélés avec les plus graves conséquences de chaque quadrimestre de niveau 2, 4 et 5 dont nous disposons. Nous nous servirons donc que de celles-ci pour réaliser nos projections pour trouver la périodicité des accidents de niveau 6, « ceteris paribus » (à causes identiques et structures du marché et des entreprises du fret ferroviaire inchangées).

Il semble possible à présent de se prononcer sur H3 et H4. Concernant H3, puisque nous avons identifié pour chaque conséquences d'accidents deux sous groupes, il semble possible en analysant les circonstances des accidents de niveaux supérieurs (2, 3 et 4 pour les rejets dangereux et 2, 4 et 5 pour les conséquences humaines) de trouver des causes « managériales » (car H1 acceptée) qui pourront éventuellement causer des accidents majeurs (niveau 6). Nous acceptons donc l'hypothèse H3.

Concernant la possibilité d'occurrence d'accidents de niveau supérieur à ceux disponibles dans notre série temporelle(H4), nous ne devons pas constater la présence de point maximum dans le graphique de type II pour les deux conséquences (rejets et humaines). Il suffit donc de montrer qu'une régression exponentielle donne un meilleur ajustement des données qu'une régression logistique pour valider cette hypothèse.

-Pour la régression des rejets dangereux le maximum de notre série est la valeur 4 sur l'échelle européenne des accidents (on prendra un seuil de saturation de 4,1). Nous calculons donc le Fisher empirique de la régression (courbe de Verhulst-Pearl) dont l'équation est la

suivante:

$$y_t = \frac{4,1}{1 - b \cdot R^t}$$

-Concernant la régression logistique pour les conséquences humaines de sociales, compte tenu du fait que nous avons dans notre série un maximum de 5, nous retiendrons un seuil de saturation de 5,1):

$$y_t = \frac{5,1}{1 - b \cdot R^t}$$

Les résultats montrent que la régression logistique ne permet pas de fournir un meilleur ajustement que la régression exponentielle; cela pour les deux conséquences des accidents dans le fret ferroviaire en France:

variable (régression)	coefficient de détermination	Statistique de Fisher
rejets dangereux (logistique)	0,3937	18,19
rejets dangereux (exponentielle)	0,4764	25,48
conséquences humaines (logistique)	0,7352	77,75
conséquences humaines (exponentielle)	0,9137	296,52

Compte tenu des résultats comparés de ces deux régressions et de la qualité de régression qu'offre, pour les conséquences humaines, la régression exponentielle, il semblerait raisonnable d'accepter H4 et donc de tenter une estimation de la périodicité d'accidents majeurs en termes de conséquences humaines et de rejets dangereux dans le fret ferroviaire.

2.2.3. Évaluation de la périodicité des accidents majeurs.

En faisant des prévisions à partir de deux régressions (1/ la régression exponentielle, et 2/ la régression d'accidents les plus graves du « dog leg » -à droite de la fig 1 et fig 2-) nous obtenons les intervalles suivants concernant la périodicité des accidents de niveaux 5 et 6 pour les rejets et 6 pour les conséquences humaines:

variable (niveau)\borne (regression)	borne inférieure (dog leg)	borne supérieure (exponentielle)
rejets dangereux (niveau 5)	28 ans et 10 mois	54 ans et 7 mois
rejets dangereux (niveau 6)	39 ans et 4 mois	65 ans et 7 mois
	borne inférieure (exponentielle)	borne supérieure (dog leg)
conséquences humaines (niveau 6)	15 ans et 1 mois	22 ans et 4 mois

Nous allons à présent discuter de nos résultats qui peuvent, étant donné nos choix, faire l'objet de débats.

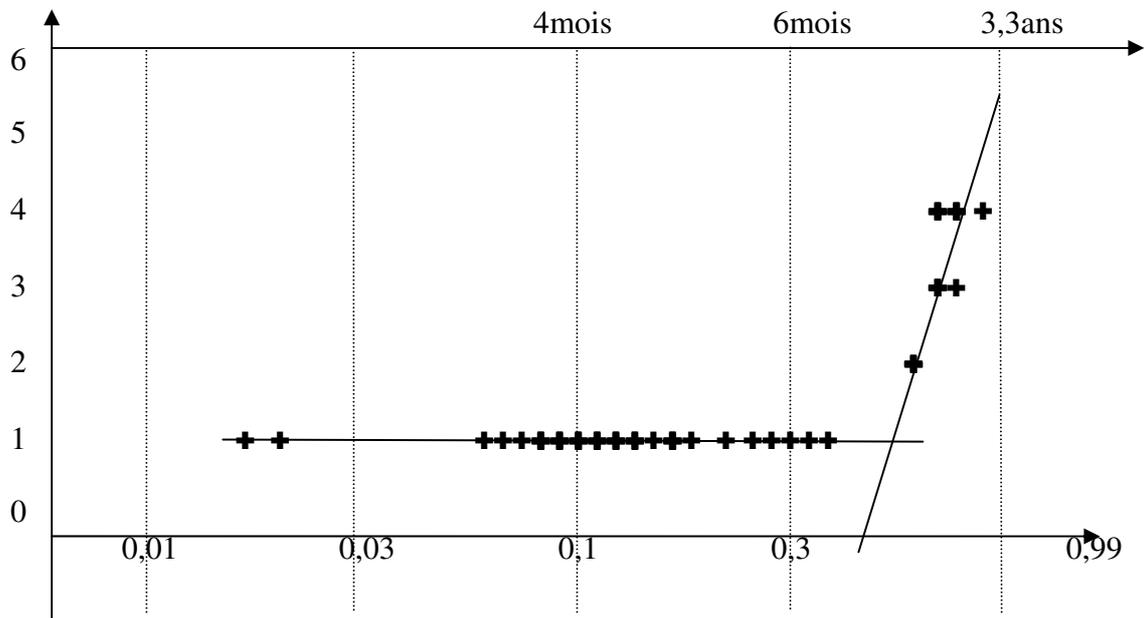


figure 1: Projection de valeur extrême de type I, rejets dangereux.

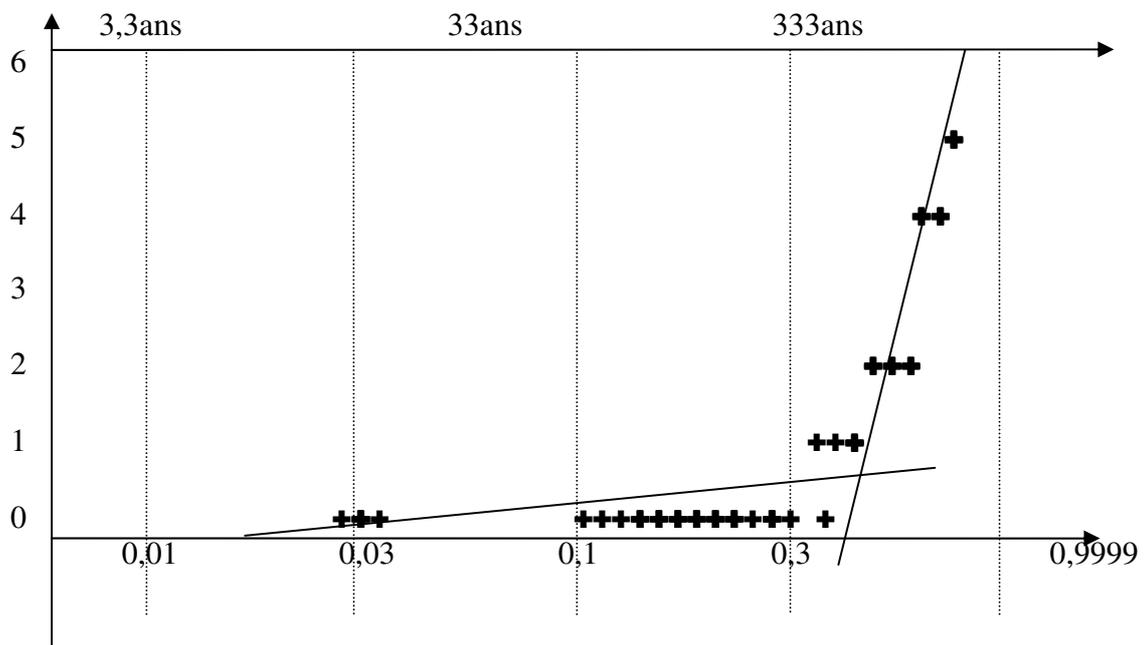


figure 2 : Projection de valeurs extrêmes de type I, conséquences humaines et sociales.

2.3. Discussions et recherches futures autour de nos résultats.

Premièrement, nous pouvons que considérer avec précaution notre projection de valeur extrême concernant le rejet de matière dangereuse compte tenu fait que la régression exponentielle ne donne qu'un coefficient de détermination proche de $\frac{1}{2}$. Ceci n'est en principe pas suffisant pour pouvoir faire des prévisions fiables. Mais, l'autre borne de la prévision est sûrement plus fiable puisque la régression sur les valeurs extrêmes de niveaux 2, 3 et 4

(seconde partie de la régression en « dog leg ») a un coefficient de détermination de plus de 0,72 contre 0,58 pour la régression exponentielle.

Deuxièmement, nos données ne s'appuient que sur la base de données du BARPI et une triangulation des sources avec d'autres bases de données d'accidents (MARS, SNCF...) aurait été un plus pour s'assurer de la validité de nos sources. Nonobstant, cette base de données est une référence en France en matière d'accidents pour les rapports d'enquête, la recherche en management des risques et en médecine d'urgence (Ribordy *et al.*, 2002; rapport IGE, 2001; Christou, 1999)

Enfin, nous devons absolument rappeler que nos projections ne sont valables que si les accidents de niveaux supérieurs aux accidents connus ont les mêmes causes que les accidents les plus graves de notre période d'analyse. Aussi, il se peut que l'histoire nous donne tort car certaines causes ne se retrouvent pas dans les accidents de niveaux moyens de notre panel d'accidents mais pourront être à l'origine d'accidents bien plus graves.

Par ailleurs, compte tenu de la rapide évolution du marché du fret ferroviaire -15/03/2005 ouverture pour les convois internationaux, 01/01/2007 ouverture totale à la concurrence du fret ferroviaire - et du fait que certaines modifications n'apparaissent pas immédiatement puisque les accidents suivent une loi aléatoire, il semble nécessaire de considérer nos résultats avec précaution. En effet, il se pourrait que la sécurité se voit aggravée, donc que l'on ne puisse plus appliquer notre projection d'accidents extrêmes; mais que, par chance, juste après la déréglementation les accidents furent peu nombreux. C'est souvent le problème lorsque l'on ne peut mesurer une variable, en l'occurrence la sécurité, que par ses conséquences.

Notre étude ouvre la voie à d'autres travaux pour voir la portée et les limites de nos résultats. Il semble nécessaire de faire le point chaque année pour voir l'évolution de la sécurité suite à la déréglementation (confirmation/infirmation sur longue période de nos résultats sur le cas du fret ferroviaire français).

De plus, il semblerait intéressant d'utiliser les bases de données du ZEMA - l'équivalent allemand du BARPI- et du MAHB -de la commission européenne qui recense les accidents majeurs dans l'UE et l'OCDE- pour pouvoir étendre la portée de nos résultats en testant les effets de la déréglementation sur la sécurité dans d'autres pays de l'OCDE. Ceci permettra de réaliser un méta-analyse européenne sur l'ouverture à la concurrence du fret ferroviaire et ces effets en terme de sûreté.

Conclusion

Finalement, après avoir présenté brièvement une revue de la littérature sur le thème déréglementation et sécurité et les possibles méthodologies utilisables pour traiter un tel sujet, nous avons exposé et discuté nos résultats. Il semblerait que la déréglementation du fret ferroviaire, en France, n'a pas eu d'impact significatif sur la sécurité. Partant, nous avons testé et corroboré nos hypothèses, de sorte que nous pouvons affirmer qu'il semble possible de faire des prévisions sur la périodicité d'accidents plus graves que ceux connus, dans ce secteur à ce jour. Compte tenu du caractère discutable de nos résultats, nous retiendrons seulement, en guise de conclusion qu'un accident majeur de niveau 6 (sur l'échelle européenne des accidents) pour ses conséquences humaines et sociales est à attendre tous les 15 à 22 ans et demi dans le fret ferroviaire, « ceteris paribus ».

Concernant le caractère non significatif de l'impact déréglementation sur la sécurité, pour pouvoir généraliser notre résultat, il semblerait nécessaire de faire des études sur longue période en France mais aussi dans le reste de l'Europe. Une fois cela réalisé, une méta-analyse pourra tenter de donner, sur un échantillon plus large, une réponse à portée plus

générale à la question de l'impact de la déréglementation sur la sécurité.

Par ailleurs, on peut se demander quelles solutions ont été mises en œuvre à la SNCF, et dans le transport en général, pour réussir à diminuer les accidents ayant des causes organisationnelles. Il semblerait lorsque l'on parcourt la Revue Générale Chemin de Fer que les solutions sont là depuis longtemps pour lutter contre les causes organisationnelles d'accidents. Premièrement, comme l'indiquent Colliard et Chantérac (1998, p. 78), « la présence visible et identifiable en gare devient, dans le contexte actuel, l'élément préalable à toute action de sûreté ». Il s'agit essentiellement « de réinventer un mode de présence qui permette réellement la maîtrise des lieux, à travers l'attention portée aux installations, à travers l'accueil et aussi le contrôle ». Cette réinvention de la présence passe d'une part par « la mise en place d'agents d'accueil » et d'autre part « la réflexion engagée sur les métiers du contrôle ».

Au delà de la présence d'opérateurs et d'une réflexion, la SNCF appuie l'action des personnels et de ses partenaires par une amélioration des « moyens techniques, bornes d'alarme, dispositifs de télé-surveillance, etc » . Cette politique s'appuyant sur des partenaires et des moyens techniques a pour objectif « d'accroître l'efficacité des intervenants, d'une part en diminuant leurs délais d'intervention, d'autre part en leur permettant de se regrouper quand la situation du terrain l'exige »(Colliard et al, 1998, p.79). Il est important de noter qu'en 1998, Geneviève AUBRY durant un séminaire mettra en avant que sur les 170000 personnes travaillant à la SNCF 60000 sont opérateurs de sécurité. Ceci montre l'importance de la présence de personnel en matière de sécurité et de sûreté.

En conséquence, « malgré l'avènement des automatismes, l'opérateur humain reste l'élément clef du système de transport » (Hadj-Mabrock et Dogui, 1999, p.17). A ce sujet, Hadj-Mabrock et Dogui soulignent que l'opérateur humain « est un élément paradoxal: en situation de stress ou de fatigue, il peut être un élément de la perte de fiabilité d'un système. Cependant, dans certaines situations d'insécurité, il peut être un facteur de fiabilité, en rétablissant le bon fonctionnement du système, parfois par des actions non prévues par le règlement de sécurité de l'exploitation, mais liées à sa connaissance, son expérience et son savoir-faire; il rattrape alors des erreurs commises par l'opérateur concepteur ». On retrouve alors l'utilité du retour d'expérience comme moyen éventuel de mettre en lumière des causes organisationnelles et de corrections de celles ci. Le retour à la SNCF est défini comme le fait « d'examiner l'ensemble de la chaîne de décision et d'actions dans la gestion de cette situation [perturbée], avec comme objectif évidemment de détecter les dysfonctionnements pour autant qu'il y en ait eu et, sinon, de voir ce qui s'est bien passé ».

Dans une revue des démarches utilisées dans diverses industries (SNCF, DGA, presse quotidienne, EDF, CNES...), Hadj-Mabrock et Dogui (1999) soulignent qu'il existe deux types de pratiques pour améliorer la fiabilité:

- « type 'curatif' se base en grande partie sur le retour d'expérience en vue de rechercher les causes de dysfonctionnement pour y remédier ».

- « type 'préventif' porte essentiellement sur la sélection, la formation et l'entretien des connaissances du personnel, sur l'intégration des futurs utilisateurs dès les phases de spécification et de conception du système et enfin sur l'automatisation des installations afin de minimiser les erreurs des opérateurs ».

Premièrement, il convient de critiquer l'application du retour d'expérience (et donc des pratiques curatives) qui fournit bien souvent des « rapports excluant les détails (...) et ayant tendance à se concentrer sur les réparations techniques et les procédures conformes [aux règlements et lois] sans analyser les causes sous-jacentes aux événements » (Carroll et al., 2002). Cela trouverait une explication dans le fait que les réalisateurs des retours d'expérience font cela par obligation légale/réglementaire ou qu'ils ne veulent pas en mettre plus que

demander de peur que cela ne donne des arguments à ceux voulant fermer les installations (Perin, 2005, p.255-265). Les propos de Geneviève AUBRY, durant un séminaire au campus Michel Ange en mars 1998 sur les risques collectifs et les situations de crise, corrobore ces critiques puisqu'elle souligne qu' « il y a donc, par rapport à ce type de retour d'expérience [en matière de communication et de gestion de crise], un certain nombre d'inquiétudes, les gens se disent notamment 'je vais mis sur le sellette'. (...) ce n'est pas toujours facile d'aller expliquer à son directeur général qu'il aurait pu être meilleur dans la conduite d'une situation. »

Une solution mise en avant par Perin (2005, p.264-265) se trouve dans le Système de Reporting Confidentiel pour la Sûreté dans l'Aviation établi par la NASA et financé principalement par l'Administration Fédérale à l'Aviation américaine qui a une finalité éducative détachée des pratiques réglementaires, d'obligations légales et des analyses d'accidents. Cette base permet d'avoir des descriptions très précises des accidents parce que les descriptions y sont volontaires et la consultation est limitée ce qui évite toute sanction et peur de représailles.

Deuxièmement, Hadj-Mabrock et Dogui (1999) soulignent que les pratiques préventives de formation reposent souvent sur la simulation, comme moyen de validation des concepts. « Cependant, cette manière de procéder soulève de nombreux problèmes. La simulation n'est pas totalement représentative de la situation réelle et elle ne correspond qu'à une partie du système global. En outre, les requêtes et les opinions des utilisateurs sont trop subjectives pour être correctement interprétées (Hadj-Mabrock et Dogui, 1999, p.20).

Finalement, depuis les années 1980-1990 des moyens sont mis en œuvre à la SNCF pour trouver une solution aux causes organisationnelles des accidents. Mais, leur efficacité serait discutable premièrement eu égard aux résultats de notre article, deuxièmement car de nombreux professionnels et chercheurs du domaine émettent de nombreux doutes sur la performance des moyens mis en œuvre. Notre conclusion a d'autant plus de poids que Geneviève AUBRY souligne en mars 1998 que « ce n'est qu'en décembre dernier [1997] qu'il a été 'acté' que nous ferions systématiquement des retours d'expérience en matière de gestion de crise ». Or 1998, c'est le début de notre période d'analyse et, avant cette période, le retour d'expérience était essentiellement technique.

Références bibliographiques

- AUBRY G. (1998), Retour d'expérience sur la gestion de crise en matière d'information, communication et décision à la SNCF; actes de la 1^{ère} séance du Séminaire « procédures de retour d'expérience, d'apprentissage et de vigilance organisationnels. Approches croisées », programme risques collectifs et situations de crise, Grenoble, CNRS, mai
- BARNETT A. et HIGGINS M. (1988), « Airline safety: the last decade ». *Management Science*, 35, n°1.
- BRISCOE G.J. (1982) « Risk Management Guide », EG&G Idaho, Inc. SSDC-11, June 1997.
- BUTTON K. (1989), « The deregulation of US interstate aviation: an assessment of causes and consequences (part 1) », *Transport Reviews*, vol.9, n°3.
- CARROLL J.S., RUDOLPH J.W. et HATAKENAKA S. (2002), « Learning from experience in high-hazard organizations », *Research in organizational behavior*, JAI press ltd, vol. 24.
- CHANTERAC G. de et Colliard J. (1998), « Les gares, au centre de la politique de sûreté de la SNCF », *Revue générale des chemins de fer*, n°4.
- CHRISTOU M.D. (1999), « Analysis and control of major accidents from the intermediate temporary storage of dangerous substances in marshalling yards and port areas », *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 12, n°1.
- CORSI T. et FANARA P. (1989), « Effects of new entrants on motor carrier safety » dans MOSES L. et SAVAGE I. (dir.), *Transportation safety in an age of deregulation*, New York, Oxford University Press.
- DAICOFF D. (1988), « Deregulation and motor carrier safety », *Logistics and Transportation Review*, vol.24, n°2.
- ELVIK R.(2006), « Economic deregulation and transport safety: A synthesis of evidence from evaluation studies », *Accident Analysis and Prevention*, vol. 38, n°4.
- EVANS A.(2007), « Rail safety and rail privatisation in Britain », *Accident Analysis and Prevention*, vol.39, n°3.
- FRIGHT W. et DERBY N. (1986), « Road safety effects of deregulation of heavy freight transport » dans *Proceedings of 13th ARRB conference*, Australian Road Research Board, Vermont South, Vol. 9.
- HADJ-MABROCK H. et DOGUI M. (1999), « Approche d'intégration des facteurs humains dans la sécurité des transports ferroviaires guidés projet "facthus" », *Revue générale des chemins de fer*, n°11.
- HEALTH and SAFETY EXECUTIVE-UK (2002), *Railway Safety. HSE's annual report on the safety record of the railways in Great Britain during 2001/02.*, Londres, Health and Safety Executive.
- JOVANIS P. (1988), Motor carrier safety and economic deregulation: US experiences, European prospects. Proceedings of OECD conference Road Transport Deregulation: Experience, evaluation, research, seminar T9, Paris, OECD.
- KANAFANI A. et KEELER T. (1990), « Airline safety posture: evidence from service-difficulty reports », *Journal of Transportation Engineering*, vol. 119, n°4.
- KJELLEN U. (2000), *Prevention of Accidents Through Experience Feedback*, London and New York, Francis & Taylor.
- MOSES L. et SAVAGE I. (1989), *Transportation Safety in an Age of Deregulation*, USA, Oxford University Press.
- PERIN C. (2005), *Shouldering risks: the culture of control in the nuclear power industry*, Princeton university press.
- RAPPORT IGE (2001), « Usine de la société Grande Paroisse à Toulouse Accident du 21 septembre 2001 », Paris, Ministère de l'aménagement du Territoire et de l'environnement.
- RIBORDY V., YERSIN B. et VITTOZ G. (2002), « Catastrophe ou accident majeur: risques

dans les pays industrialisés », *Revue médicale suisse*, n°2401.

SNCF (2006), « Accident de ZOUFFTGEN - Conclusions communes des enquêteurs des CFL et de la SNCF », SNCF informations et presse, Paris, 15 octobre 2006.

STEPHANS R. (2004), *System Safety for the 21st Century*, Wiley-Interscience.

WOLLMAR C.(2001), *Broken rails. How privatisation wrecked Britain's railways*, Londres, Aurum Press.