

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LE MARCHÉ DU TRANSPORT MARITIME DU PÉTROLE : UNE ANALYSE
D'UN SYSTÈME DE STRICTE RESPONSABILITÉ

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉCONOMIQUE

PAR
TILL OLIVER GROSS

NOVEMBRE 2004

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Résumé	i
Introduction et présentation du sujet	1
Chapitre 1 : Le cadre législatif	9
Chapitre 2 : Revue de la littérature	15
Chapitre 3 : Le modèle	22
3.1 Le problème du transporteur	23
3.2 Le problème de la compagnie pétrolière	24
3.3 Le problème du gouvernement	26
3.4 Application de fonctions explicites	28
Chapitre 4 : Résultats et analyse	35
4.1 Choix du mode de transport	35
4.2 Le rôle du gouvernement dans le choix ST vs AT	37
Chapitre 5 : Conclusion	40
Annexe	42
Références	45

REMERCIEMENTS

Merci à mes parents, Renate et Horst-Eckart Gross, ainsi qu'à mon frère et aux autres membres de ma famille.

Je remercie mes directeurs de recherche, Stéphane Pallage et Max Blouin, et le reste du corps professoral de l'UQAM que j'ai rencontré, notamment Robert Leonard et Nicolas Marceau. Je remercie également Martine Boisselle.

Merci beaucoup à Régine Lapointe. Merci aussi à ses parents.

Finalement, je veux dire merci à mes amis au Canada et en Europe.

RÉSUMÉ

Considérant seulement les accidents majeurs de pétroliers, nous analysons le marché du transport maritime du pétrole avec un système de stricte responsabilité, où l'effort de prévention d'accidents n'est pas observable. Les compagnies pétrolières peuvent engager des transporteurs qui sont à l'abri des poursuites, mais il existe une probabilité que les compagnies pétrolières soient tenues co-responsables en cas d'accident. Dans ce contexte, nous pouvons constater que le gouvernement préfère toujours la situation où les compagnies pétrolières choisissent d'effectuer le transport par leurs propres moyens. Ce choix ne dépend pas du niveau d'amendes que le gouvernement impose mais essentiellement de la probabilité de co-responsabilité.

Mots-clefs : Responsabilité, judgment-proof, réglementation optimale, marée noire, pétrole

Introduction et présentation du sujet

Périodiquement, des sinistres de pétroliers, comme ceux de l'*Exxon Valdez*, de l'*Erika* et plus récemment du *Prestige*, et les marées noires qui les suivent, nous rappellent le danger inhérent au transport maritime du pétrole. Analyser le marché du transport maritime du pétrole sous cet aspect est l'objectif de ce mémoire.

Quelques-unes de ces catastrophes passent plus ou moins inaperçues, tandis que d'autres jouissent d'une publicité de premier rang. Aujourd'hui même, presque 15 ans après l'incident, les images du naufrage de l'*Exxon Valdez* sont toujours vivantes et ce nom évoque un chapitre noir dans l'histoire de la navigation. En mars 1989, ce pétrolier a fait naufrage dans le Prince William Sound, non loin de l'Alaska. Environ 38 800 tonnes de pétrole ont coulé dans la mer, polluant aussi une partie de la côte. Malgré les efforts pour limiter la propagation du pétrole dans l'eau et sur la côte, ainsi que le travail considérable de nettoyage et de protection des animaux, des centaines de milliers d'oiseaux sont morts et beaucoup d'autres espèces ont été affectées. La compagnie impliquée dans l'accident, Exxon Transport, et sa compagnie mère, Exxon Corporation, ont payé plus de deux milliards de dollars américains pour ces opérations et pour l'indemnisation des victimes de cet accident. Par la suite, Exxon a été trouvée coupable et a été condamnée à payer cinq milliards de dollars américains en dommages-intérêts dissuasifs, la plus grande somme jamais accordée à ce jour. Par contre, Exxon a porté la cause en appel, le jugement a été considéré excessif et l'amende a été réduite à quatre milliards de dollars, mais Exxon n'a pas accepté ce jugement non plus. La cause n'est pas encore fermée et aucun dollar de ces dommages-intérêts dissuasifs n'a été versé.

L'industrie de la pêche a particulièrement été affectée par le naufrage de l'*Exxon Valdez* et, en raison des dommages à la réputation du poisson de cette région, elle l'est probablement toujours. Non seulement les pêcheurs directement

impliqués, c'est-à-dire ceux qui pêchaient là où le pétrole a été déversé, mais toute cette industrie en Alaska ont souffert économiquement de cet incident, qui est considéré comme le plus grave de son genre aux États-Unis. Selon certains groupes, par exemple Greenpeace, l'écosystème n'a pas encore récupéré depuis et ne sera possiblement jamais comme auparavant. Des études, telles que l'Alaska Predator Ecosystem Experiment, affirment que quelques espèces n'ont pas encore reconstitué leur habitat dans la zone polluée.

D'autres accidents ont laissé beaucoup moins de séquelles dans le système écologique. Le pétrolier *Braer*, par exemple, transportant du pétrole de la Norvège au Canada, a fait naufrage près des îles de Shetland en janvier 1993. Sa cargaison de 85 000 tonnes, soit plus du double de la quantité ayant coulé de l'*Exxon Valdez*, s'est dispersée dans la Mer du Nord, mais une fraction a aussi touché les dites îles. Un an plus tard, une commission d'enquête du gouvernement responsable (Scottish Office) arrivait à des conclusions beaucoup plus optimistes que celles des chercheurs en Alaska. On peut lire dans le rapport intitulé *The Environmental Impact of the Wreck of the Braer*:

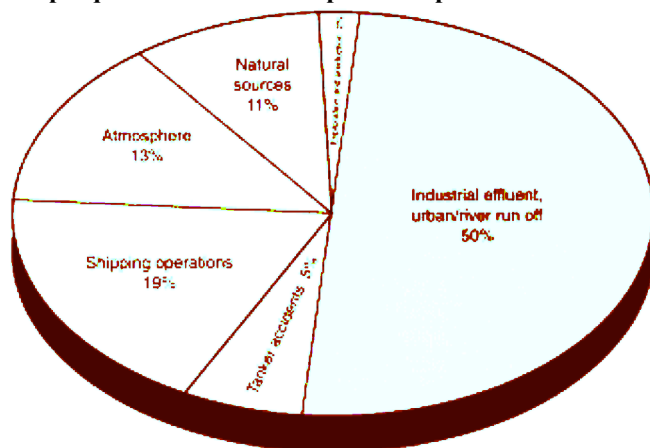
“Overall, the impact of the oil spill on the environment and ecology of South Shetland has been minimal. Adverse impacts did occur but were both localised and limited. The resilience of ecosystems and species populations has already been powerfully demonstrated, and provides confidence and reassurance for the future.”

Il semble que les deux cas présentés reflètent bien la controverse concernant les séquelles écologiques d'une marée noire. Les effets à long terme ne sont guère connus et même l'impact immédiat diffère énormément selon les circonstances. Les scientifiques discutent par exemple des conséquences du pétrole sur la chaîne alimentaire : y a-t-il accumulation de substances toxiques ou ces produits se dispersent-ils sans nuire de façon importante à la flore et la faune de l'océan ou de la côte polluée ? Une étude de long terme, dont il y en a très peu jusqu'à maintenant, a montré que des traces de diesel, provenant d'un accident survenu en 1969 à Buzzards Bay au Massachusetts, se trouvent toujours dans la terre et atteignent à quelques endroits une concentration comparable à celle d'il y

a trente ans. Pourtant, la réponse à la question, si ce fait nuit considérablement à l'écosystème local, reste dans les ténèbres.

Il existe aussi des inquiétudes quant à une accumulation lente et invisible, mais continue, de pétrole dans les océans. Il n'est pas clair si cette tendance mènera ultérieurement à une catastrophe, si les écosystèmes pourront éviter parfaitement les conséquences en s'adaptant assez vite aux changements de l'environnement ou si la réponse se trouve quelque part entre ces deux pôles. Par contre, les statistiques nous informent sur le fait que les pétroliers ne sont responsables que d'environ 11 % du total approximatif de 2 500 millions de tonnes de pétrole versé dans les océans par année, 61 % provenant de sources terrestres. Selon Intertanko, l'organisation des propriétaires indépendants de pétroliers, on pourrait faire la comparaison suivante, qui illustre ces statistiques : « More oil enters the sea from motorists draining their sump oil into the town drain than from all the world's tankers. » En janvier 1991, pendant la première guerre du golfe entre l'Irak et la communauté internationale, le gouvernement irakien a évacué 460 millions de gallons de pétrole dans le golfe persique, soit environ 42 fois la quantité écoulee de l'*Exxon Valdez*. Puis, selon la Garde côtière américaine, la moitié des marées noires aux États-Unis est due aux incidents non-accidentels et plus de trois quarts du volume total de pétrole versé par des bateaux dans les eaux des États-Unis viennent de marées noires de moins de dix gallons.

Graphique 1 : Sources de la pollution pétrolière des océans



Source : Petroleum Institute

Cela veut dire que les accidents de pétroliers comptent pour 5 % du pétrole déversé dans l'eau annuellement, comme le montre le graphique ci-haut, et que seulement un quart de cette quantité est dû aux « grands » accidents de plus de dix gallons. Il en découle que les pétroliers, et surtout les grands sinistres bien publicisés, ne sont pas la source principale de pollution des océans. De plus, les technologies de limitation et de récupération du pétrole ne cessent de s'améliorer, de même que les techniques de nettoyage. Par contre, un débat s'est développé par rapport aux conséquences environnementales du nettoyage. On se demande si ce dernier ne nuit pas plus à l'environnement que le pétrole lui-même. Également, la proportion de pétrole qui peut être récupérée suite à une marée noire est faible. Par exemple, un seuil de 15 % de récupération est jugé satisfaisant. En somme, il semble que les dommages écologiques varient beaucoup d'une marée noire à l'autre, selon le temps qu'il fait et la sensibilité des lieux. La nature se reconstitue généralement en moins de cinq à dix ans, mais plusieurs marées noires dans un intervalle de quatre ou cinq ans peuvent endommager la nature au-delà de ses capacités de reconstitution.

Pourtant, malgré tous ces arguments relativisant l'importance des dégâts de pétroliers par rapport aux autres sources de pollution, un nombre important d'organismes gouvernementaux et non-gouvernementaux s'intéressent à cette problématique de rendre les pétroliers plus sécuritaires. On pourrait imaginer plusieurs raisons pour cela. Nous regarderons trois des principaux facteurs.

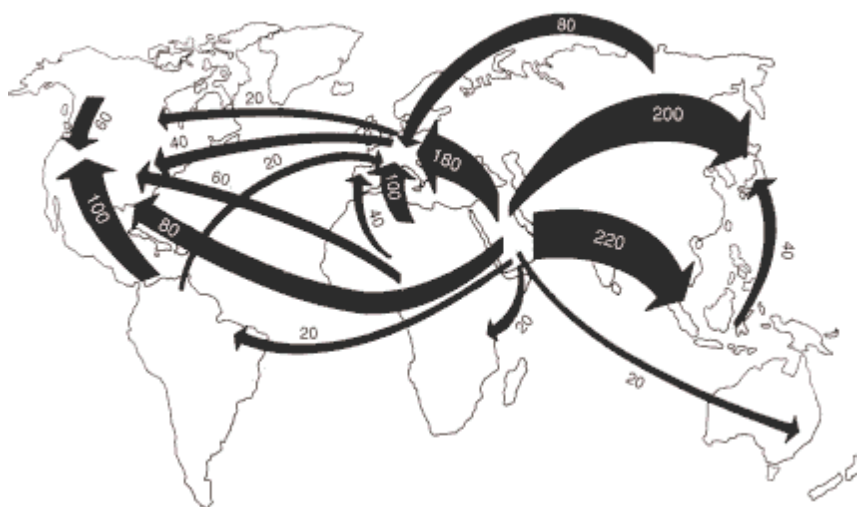
Premièrement, une forte concentration de dégâts toxiques comme le pétrole est beaucoup plus dommageable pour les écosystèmes qu'un flux perpétuel qui se disperse peu à peu dans les largeurs des océans. L'impact croît donc exponentiellement avec la concentration. De plus, il est souvent vrai que les choses visibles concernent davantage les humains que l'invisible, dont les conséquences ne se voient probablement que dans le futur. Ceci est d'autant plus vrai que l'on se trouve dans une société médiatique qui est de plus en plus sensible aux enjeux environnementaux.

Deuxièmement, le sinistre d'un pétrolier peut aussi nuire directement aux affaires des êtres humains, comme dans le cas de l'*Exxon Valdez* pour l'industrie de pêche ou dans le cas du *Prestige* pour l'industrie touristique. Puis, comme un économiste l'avait très justement dit : Contrairement aux hommes, les poissons n'ont ni lobbies ni avocats pour les protéger.

Troisièmement, la consommation globale de pétrole ne cesse de croître, et les lieux de production et de consommation de cette matière sont souvent éloignés les uns des autres. Un pipeline n'est pas toujours une solution pour le problème du transport ; il reste alors les pétroliers avec les dangers inhérents aux marées noires, des dangers qui augmentent avec le volume du transport. Le graphique suivant donne un aperçu des flux annuels de pétrole.

Graphique 2 : Flux de pétrole globaux par an en millions de tonnes

Oil trade worldwide in million tonnes/annum



Source : Petroleum Institute

Des statistiques (voir annexe 1 et 2) portant sur les réserves disponibles et la consommation courante de pétrole indiquent que le transport du pétrole augmentera davantage dans le futur, quand les réserves des pays industrialisés auront diminué à un point où il sera nécessaire d'accroître les importations. Un autre facteur important est la croissance économique de la Chine, qui est en train

de changer son statut d'exportateur net de pétrole en importateur net. Si ce pays continue de suivre son chemin de croissance économique, on pourrait s'attendre à des importations élevées provenant des États de l'ex-URSS par pipeline ou du Moyen-Orient par pétrolier.

Puis, malgré le fait que, d'une part, d'autres sources d'énergie gagnent en intérêt et que, d'autre part, le traité de Kyoto vise à réduire les émissions de CO₂ et donc aussi la consommation de pétrole, cette ressource reste toujours un des facteurs les plus importants pour le bon fonctionnement de l'économie mondiale. Si on ne veut alors pas interdire le transport de pétrole, mais en même temps minimiser les dangers écologiques et économiques – et dans une certaine mesure, politiques – des marées noires, il serait donc intéressant de trouver des politiques économiques qui incitent les agents, c'est-à-dire les transporteurs et les compagnies pétrolières par exemple, à garantir un niveau de sécurité désirable sans trop diminuer les incitatifs à fournir une quantité suffisante de pétrole. L'analyse de telles politiques est l'objectif de ce mémoire.

L'ampleur d'une marée noire et la probabilité avec laquelle un tel accident se produit ne sont pas inaltérables mais sont sujettes à des facteurs à la portée des humains. La plupart des accidents sont dus à des erreurs humaines, comme la fatigue de l'équipage, une formation insuffisante ou la pression d'arriver en un certain temps à un certain endroit. En travaillant sur ces facteurs d'accidents, on pourrait diminuer la probabilité d'un sinistre. Une autre source d'accidents est le manque d'équipement de navigation suffisamment sophistiqué ou d'autres installations techniques. Ce facteur aussi pourrait être influencé par une injection d'argent et par une formation de l'équipage avec ces instruments. Quand un naufrage, une collision ou un accident similaire a lieu, l'envergure des dégâts peut être diminuée par une meilleure qualité des pétroliers, un double-coque par exemple. Dans chaque cas, un accident et ses conséquences dépendent des circonstances particulières, comme le mauvais temps; il est certainement

impossible d'éliminer complètement ce risque, mais a priori il est possible de réduire l'ampleur et la probabilité anticipées des marées noires.

Le capitaine de l'*Exxon Valdez* commit de graves fautes de navigation et on suppose que celles-ci pourraient avoir été causées par son état d'ébriété. Des contrôles et peut-être une sélection plus scrupuleuse de l'équipage d'un pétrolier pourraient aider à éviter qu'un tel évènement se reproduise. Le *Torrey Canyon* a fait naufrage près de Land's End en 1967 parce que son capitaine, ne voulant pas manquer la marée haute pour entrer dans son port d'escale, essaya un raccourci et se trompa de position. Le *Torrey Canyon* était un bateau à manœuvrabilité limitée qui mettait 8 kilomètres à s'arrêter en situation d'urgence. Ceci est vrai aussi pour les grands pétroliers d'aujourd'hui. Le résultat de l'accident: environ 100,000 tonnes de pétrole coula de la carène de ce bateau. Des contrats qui mettent l'accent sur la sécurité et non sur le respect du délai de livraison pourraient aussi augmenter la sécurité.

Dans la littérature économique sur notre sujet on trouve, entre autres, quelques modèles qui traitent des politiques de réglementation et de sa supervision par une agence gouvernementale, telle que la Garde côtière américaine. Nous allons nous concentrer sur les politiques de responsabilité afin d'inciter et non d'imposer un comportement désirable. La distribution stochastique inconnue des accidents, les variations dans l'ampleur des dommages par tonne de pétrole d'une marée noire et toutes les complications que ceci implique ne sont pas traitées dans ce travail ; l'accent est mis ici sur une sorte de jeu à trois acteurs – un transporteur indépendant représentatif, une compagnie pétrolière monopoliste et le gouvernement concerné – et sur les implications de la distinction entre transporteur et compagnie pétrolière dans ce jeu. Cela constitue la plus grande différence par rapport aux autres modèles économiques sur ce sujet, qui analysent un problème à seulement deux acteurs, où les deux derniers acteurs forment une seule entité.

Cette distinction se justifie par le fait que les pétroliers appartiennent souvent à des firmes qui n'ont qu'un seul bateau et qui sont, dans le cas d'une véritable catastrophe, « judgment-proof » (à l'abri des jugements), c'est-à-dire qu'elles n'ont pas assez de fonds pour payer tous les dommages causés. Il existe toute une littérature sur ce sujet que nous entendons combiner avec le problème spécifique du transport de pétrole. Pour fins de simplicité et afin d'examiner ce phénomène de façon plus approfondie, nous considérons seulement les grands accidents dont les dommages excèdent les fonds d'un transporteur. Nous faisons également abstraction de la problématique des marées noires intentionnelles, par exemple quand le transporteur « rince » son pétrolier dans l'océan afin d'économiser les coûts de rinçage dans un port, de même que des accidents pendant les opérations de chargement et de déchargement. En suivant cette voie, nous omettons certes des facteurs importants, mais l'analyse présentée dans ce travail pourrait éclaircir un aspect important qui n'a guère été examiné jusqu'à maintenant dans ce domaine, soit la présence d'un acteur à l'abri des jugements dans le transport maritime du pétrole.

Dans ce mémoire, nous exposons dans le premier chapitre un aperçu de la législation concernant le transport maritime du pétrole, surtout dans deux régions principales, soit les États-Unis et l'Union Européenne. Le deuxième chapitre contient une revue de littérature. Dans le troisième chapitre, nous présentons le modèle. Enfin, les quatrième et cinquième chapitres concernent respectivement l'interprétation des résultats et la conclusion du présent mémoire.

1 Le cadre législatif

Le premier accident d'un pétrolier de très grande capacité fut celui du *Torrey Canyon* en 1967. Les nations victimes, la France et la Grande Bretagne, on pourrait même dire toute la communauté internationale, n'étaient pas préparées à un tel sinistre, que ce soit au niveau des réactions appropriées face à une marée noire d'une taille sans précédent ou au niveau juridique. Le bateau fit naufrage hors des eaux territoriales de ces pays et était la propriété d'une compagnie des Bermudes, enregistrée au Liberia, filiale d'une compagnie pétrolière américaine, qui a nié toute responsabilité. De plus, les droits de propriété quant à la côte polluée se révélèrent mal définis. L'accident n'était pas, selon la compagnie, une faute de négligence et une convention internationale limitait la responsabilité à 1,43 millions de livres anglaises, tandis qu'une estimation des coûts de la prévention et du contrôle de la marée noire donnait un minimum de 7,7 millions de livres anglaises – cela sans compter les dommages écologiques. Un autre problème qui se posa tint au fait que la compagnie n'avait pas de capital excepté les bateaux frères du *Torrey Canyon*. Comme aucun accord n'était en vue, les gouvernements français et anglais prirent donc chacun en otage un bateau frère. Ceci mena à un règlement hors cour selon lequel ladite entreprise s'engageait à payer 1,5 millions de livres à chacun des deux pays. Aucune victime individuelle n'a été indemnisée.

Après cet accident, le monde s'aperçut que les marées noires posaient un danger potentiellement considérable pour l'environnement et que la réglementation en place n'était pas adéquate afin de faire face aux dommages d'un sinistre d'un pétrolier de la nouvelle génération. En anticipant une réglementation de la part des États, l'industrie créa en 1969 le fonds volontaire des propriétaires de pétroliers (Tanker Owners Voluntary Agreement concerning Liability for Oil Pollution ou TOVALOP). Ce fonds réunit bientôt la plupart des membres de l'industrie et se chargeait de fournir de l'argent pour couvrir les suites d'une marée noire causée par un de ses membres. Par contre, le montant

offert par accident était fort limité et ne tenait pas compte des dommages écologiques. Deux ans plus tard, l'industrie pétrolière, c'est-à-dire les propriétaires de cargaison, mit en place une deuxième couche de compensation venant s'ajouter à ce qui était déjà couvert par TOVALOP, afin de pallier aux deux lacunes mentionnées plus haut. Les membres de ce contrat (Contract Regarding an Interim Supplement to Tanker Liability for Oil Pollution ou CRISTAL) payaient leurs frais en proportion de leur part du marché global du transport du pétrole.

Les gouvernements de nombreux États cherchèrent aussi à trouver une solution à cette problématique. En même temps que TOVALOP se formait, ils signaient une convention sur la responsabilité civile (The International Convention on Civil Liability for Oil Pollution Damage ou plus brièvement CLC). Cet accord transformait le régime de la responsabilité pour négligence (pour faute) en un régime de responsabilité stricte (sans faute). La différence concerne le fait que le propriétaire d'un vaisseau est dans le premier cas seulement responsable lorsqu'il n'a pas mis en application des précautions raisonnables, alors que la stricte responsabilité requiert que le propriétaire soit toujours responsable lorsqu'un accident se produit, sauf s'il résulte d'une guerre, d'un sabotage ou de la négligence d'une autre personne, ce qui inclut notamment l'absence d'aides de navigation normalement fournies par un État. Une limite à la responsabilité s'appliquait quand même sauf dans le cas de négligence. Plus tard, une assurance ou une preuve de capacités financières a été rendue obligatoire pour les propriétaires d'un vaisseau transportant du pétrole à un port d'un des pays membres.

Aujourd'hui, il existe trois formes de la CLC. Tout d'abord, un groupe de pays se trouve dans le cadre de la convention de 1969, à laquelle un fonds supplémentaire qui couvre davantage de dommages a été ajouté en 1971. D'autres pays sont membres de la convention de 1992 et une fraction de ceux-ci font partie du fonds de 1992 qui s'apparente fortement à celui de 1971. Ce dernier a cessé

d'exister en 2002. La CLC de 1992 et le fonds de 1992 se distinguent essentiellement de leurs contre-parties précédentes par une augmentation des limites de la responsabilité du transporteur, mais aussi par un accroissement de l'argent provenant du fonds qui est disponible par accident. Depuis le premier novembre 2003, on a vu encore une augmentation de ces montants d'environ 50%, probablement à cause des sinistres graves qui sont survenus pendant les années quatre-vingt-dix et d'une hausse continue des estimations des dommages.

Grosso modo, on peut dire que la CLC de 1969 et plus tard celle de 1992 ont incorporé le TOVALOP et se financent comme ce premier par des contributions des transporteurs des pays membres. Le capital du fonds est fourni par chaque personne recevant plus de 150,000 tonnes de produits d'hydrocarbures par année par voie maritime. Comme le TOVALOP, le CRISTAL a été remplacé par le fonds de 1992. Les deux contrats volontaires n'existent plus depuis 1997, ce qui veut dire que les États non-membres de l'une des CLC n'ont maintenant plus recours aux fonds internationaux. Une liste exacte des montants maximaux versés par accident selon la taille du pétrolier est présentée en annexe 3. Quelques gouvernements craignent cependant que même les limites élevées ne soient pas adéquates et ont proposé un fonds supplémentaire aux moyens existants, un fonds qui couvrirait jusqu'à un milliard de dollars américains de dommages. La date de sa mise en place, si elle a lieu, n'a pas encore été annoncée.

Malgré le support d'un grand nombre de participants de CLC et son succès (plus de 95% des cas étaient réglés à l'amiable), plusieurs gouvernements ont adopté des lois spécifiques pour leur pays. Les États-Unis, par exemple, ont annoncé une loi qui est aujourd'hui le Clean Water Act (CWA), après l'explosion de la plate-forme de drainage Santa Barbara en 1969, entraînant une marée noire de grande taille. Cette loi est conforme à la CLC de 1969 et suit essentiellement les lignes de cette convention. Pourtant, le congrès américain a adopté en 1990 le Oil Pollution Act (OPA '90) et s'est retiré de la CLC et du fonds, jugeant que

ceux-ci n'allaient pas assez loin. Ce processus a probablement été déclenché par le naufrage de l'*Exxon Valdez* et d'autres pétroliers dans un intervalle de courte durée, soit en 1989 et 1990. Le retrait des États-Unis de la convention représentait un coup dur pour sa légitimité, car approximativement un tiers du transport de pétrole mondial se dirige vers ce pays. Les représentants de cette organisation internationale devaient même changer ses statuts, afin de garantir la manoeuvrabilité et donc la survie de cette organisation.

L'OPA '90 comporte plusieurs changements par rapport au CWA. Les limites de responsabilité sont ajustées à la hausse, la responsabilité étant gérée à peu près comme sous la CLC de 1992. Un fonds a été créé qui couvre jusqu'à un milliard de dollars de dépenses pour le nettoyage et la limitation d'une marée noire, au cas où la compagnie responsable ne serait pas capable de payer tous les coûts, soit en raison d'une faillite, soit à cause de l'application d'une limite de responsabilité. L'Agence gouvernementale de l'environnement (EPA) et la Garde côtière américaine ont le droit d'intenter des poursuites judiciaires contre les responsables d'un sinistre pour les dépenses de nettoyage et de limitation. Une assurance ou une preuve de capacités financières est, comme sous la CLC, obligatoire. Des standards rigoureux de formation et de recrutement de l'équipage et de construction des pétroliers ont été mis en vigueur. À titre d'exemple, les mono-coques seront bannis dès 2015 des eaux territoriales des États-Unis et tous les pétroliers neufs doivent être construits avec une double-coque.

Un des faits parmi les plus importants est que l'OPA '90 laisse explicitement une latitude aux États particuliers leur permettant d'imposer des standards et amendes au-dessus de la législation fédérale. Vingt des vingt-trois états côtiers en ont profité pour rendre illimitée la responsabilité du fautif d'une marée noire. Un autre aspect, crucial pour ce travail, tient dans le fait que les propriétaires de cargaison ou les contracteurs d'affrètement peuvent être tenus co-responsables dans quelques États, afin que le transport ne soit pas effectué par des petites entreprises presque insolubles, qui seraient donc à l'abri de jugements.

Ainsi, le transport de pétrole d'un port à un autre aux États-Unis est interdit aux firmes étrangères ; plus exactement, il faut que l'équipage soit américain et que la firme soit enregistrée aux États-Unis.

L'Union Européenne (UE) reste pour le moment dans le cadre de la CLC, mais s'inquiète du fait que la réglementation actuelle ne donne pas d'incitation à réduire la probabilité ni l'ampleur d'une marée noire. C'est pour cela que l'UE exige à l'instar des États-Unis que toutes les nouvelles constructions de pétroliers soient des double-coques et qu'aucun navire transportant du pétrole à partir de 2015 ne soit équipé d'une mono-coque. La International Maritime Organisation des Nations Unies a annoncé récemment son appui à des standards comparables sur un niveau international. Puis, l'UE a publié une liste noire de bateaux qui n'ont plus le droit de passer par les eaux territoriales d'un de ses états-membres, en raison d'une classification trop dangereuse ou d'un trop grand nombre d'inspections montrant un non-respect des réglementations de l'UE. Une liste des vaisseaux qui seront expulsés la prochaine fois qu'une inspection détecte des lacunes est également disponible publiquement.

D'autres États qui se trouvent le long d'importantes routes de trafic du pétrole ont aussi annoncé qu'ils ne toléreront plus la situation actuelle. La Turquie vient de déclarer qu'elle enlèvera la priorité de passage pour les pétroliers au Bosphore et qu'elle emploiera un quota de pétroliers qui auront droit de passer. Un projet en Thaïlande prévoit la construction d'un oléoduc afin de circonvenir le dangereux détroit de Malacca, où un accident d'un grand pétrolier pourrait avoir des conséquences désastreuses, en particulier pour la circulation d'autres vaisseaux. Par contre, il y a aussi des gouvernements qui prennent une position plutôt laxiste quant à la réglementation du transport maritime de pétrole. Ceci pourrait s'expliquer par le fait qu'ils ont des intérêts importants dans les flottes de pétroliers qui sont enregistrées dans ces pays.

En somme, la législation de la plupart des gouvernements, à part celle des États-Unis peut-être, vise surtout à une indemnisation adéquate des victimes et à un dégagement de fonds pour le nettoyage et la prévention de la propagation de marées noires. Dans ce travail, nous ignorons cet aspect et nous nous concentrons sur un système d'incitation de fournir un effort élevé en termes de sécurité. Les mécanismes existants, visant une meilleure construction des pétroliers et un niveau approprié de précaution, montrent cependant plutôt les caractéristiques d'une réglementation directe.

2 Revue de la littérature

Après l'échouage du *Torrey Canyon* en 1967 et l'explosion de la plateforme de drainage *Santa Barbara* en 1969, les marées noires sont devenues objets d'intérêt pour les économistes. Les solutions standard que l'on trouve dans la littérature économique pour les externalités négatives, soit la négociation entre les pollueurs et les victimes en invoquant le théorème de Coase ou des taxes qui reflètent des coûts sociaux marginaux, ne s'appliquent pas à un processus de pollution stochastique, où l'effort de prévention n'est pas observable et les coûts de transactions sont considérables, du fait d'un grand nombre de victimes qui n'ont accès qu'à une information imparfaite. De plus, il s'agit surtout de dommages à l'environnement, qui a les caractéristiques d'un bien public. Il fallait donc chercher des politiques alternatives pour le transport du pétrole.

Les objectifs pour les politiques concernant cette problématique sont de fournir des mécanismes pour 1) inciter un niveau efficace de précaution 2) établir une quantité optimale de cette activité risquée et 3) compenser correctement les dommages causés par les accidents. Étant donné de telles politiques, les compagnies de pétrole et les transporteurs réagiront pour trouver des contrats optimaux. Plusieurs approches ont été proposées pour atteindre ces objectifs :

a) une responsabilité stricte : le responsable de l'accident est imputable pour tous les dommages qui résultent de cet accident même s'il peut prouver qu'il a pris des précautions raisonnables (sauf dans le cas de guerre, désastre naturel ou négligence par d'autres parties) ;

b) une responsabilité pour négligence : cela veut dire que le responsable est seulement imputable pour les dommages dans le cas où il n'aurait pas réalisé un niveau raisonnable de précaution ;

c) une réglementation pour le niveau de sécurité sur les pétroliers, par exemple imposer des standards de formation pour l'équipage, des standards de construction de bateaux etc. : le respect de ces

réglementations est supervisé par une agence gouvernementale, le non-respect d'un tel standard ayant pour conséquence des amendes ;

d) une combinaison de ces politiques.

Burrows et alii (1974) étaient parmi les premiers à discuter des différentes politiques possibles permettant d'arriver à un niveau optimal de prévention/restauration et de pétrole transporté. Leur analyse est fondée sur une évaluation économique des séquelles du sinistre du *Torrey Canyon*. Les politiques proposées sont la négociation entre les pollueurs et les victimes, un transfert des droits de propriété en faveur des victimes des marées noires, une taxe sur le transport du pétrole ou une limitation de cette activité par le gouvernement. Reconnaisant les difficultés inhérentes, c'est-à-dire l'organisation des victimes, les coûts des procès, l'évaluation des dommages et le caractère stochastique et non-déterministe des accidents ainsi que le problème de risque moral, les auteurs soulignent l'importance d'une incitation dans le schéma de politiques et appuient le système TOVALOP.

Bradley (1974) modélise économiquement le problème du gouvernement et d'un pollueur. Il met l'accent sur la problématique de trouver le niveau acceptable de pollution, qui devrait ensuite être réalisé par un système de stricte responsabilité ou par la mise en place de standards et d'une agence gouvernementale qui surveille leur application ou par le droit des individus de poursuivre le pollueur dans le cas d'un accident. Bradley conclut que la première solution est préférable car elle incite les pollueurs à implanter des nouvelles technologies de prévention.

Dans Conrad (1980) on retrouve un modèle comparable à celui de Bradley et la conclusion est semblable : une stricte responsabilité de la part du pollueur. Par contre, il propose des bonus s'il n'y a pas d'accident, afin de diminuer davantage la probabilité d'une marée noire, pour tenir compte d'une masse d'individus non-assurés qui subissent les conséquences de l'accident. Cela

impliquerait par contre probablement un effort de précaution sous-optimal, puisque Just et Zilberman (1979) démontrent la plus grande efficacité d'amendes punitives sur de tels bonus quand la probabilité d'un accident est faible.

Hartje (1984) est conscient de la problématique d'un protagoniste qui peut être à l'abri de jugements dans le contexte de la responsabilité juridique. Il propose une assurance obligatoire qui couvrira les amendes, bien que le risque moral soit un facteur bien connu en ce qui concerne les assurances. Par contre, il souligne que la responsabilité ne peut jouer qu'un rôle secondaire dans la prévention d'accidents, car les mesures les plus efficaces sont à la portée des gouvernements et non des transporteurs individuels.

Shavell (1986) discute de la problématique d'un acteur à l'abri de jugements de façon générale et arrive à la conclusion que le niveau de l'activité risquée est trop élevé et l'effort de prévention d'accidents est trop faible. Il rejette la solution d'une assurance obligatoire si l'assureur ne peut pas établir un lien entre les primes et la probabilité d'un accident. Une réglementation directe ne règlera pas la question du niveau de l'activité et imposera probablement dans notre cas des coûts de mise en application importants. Une autre solution proposée, que nous approfondirons ultérieurement, consiste en l'augmentation de la responsabilité d'une personne liée à l'entrepreneur, soit quelqu'un qui a une influence sur les actions de la firme. Une autre politique considérée implique la criminalisation des accidents afin d'inciter l'entrepreneur à fournir un effort plus élevé, car au-delà de la perte de son capital, il risquera la prison. La menace d'une peine de prison pour l'équipage d'un pétrolier accidenté pourrait sûrement augmenter l'effort, mais ceci devrait s'avérer difficile à mettre en vigueur en raison du statut international des compagnies de transport (mis à part la question juridique de la proportionnalité des moyens). Une autre solution défendue par Shavell serait de requérir un niveau élevé de capital de la part de l'entrepreneur afin de diminuer la probabilité qu'il fasse faillite.

Beard (1990) et Posey (1993) regardent aussi le problème d'un entrepreneur à l'abri de jugements, mais avec une différence importante : contrairement à Shavell, ils supposent que le coût de l'effort est exprimé en termes monétaires et non en désutilité mesurée en argent. Ceci mène à des résultats ambigus, car la possibilité de faire faillite diminue non seulement le coût d'un accident, mais aussi les coûts de la prévention parce qu'il se peut que l'entrepreneur ait dépensé pour la prévention l'argent de quelqu'un d'autre si les dommages de l'accident dépassent son capital. Posey prouve que la diminution des coûts de l'accident et la diminution des coûts de la prévention peuvent avoir pour conséquence un niveau de précaution sous-optimal ou sur-optimal dans le cadre de la stricte responsabilité où l'entrepreneur fait face à la possibilité de faire faillite. Beard arrive au même résultat et démontre que ni le niveau de prévention ni la compensation des victimes ne croissent avec le capital de l'entrepreneur, étant donné que le capital n'est toujours pas suffisant pour couvrir les dommages totaux lors d'un accident.

Dans Cooter (1991), on trouve un bon survol des différentes sortes de responsabilité – stricte, par négligence – et une solution du marché. La possibilité que le pollueur fasse faillite diminue l'efficacité des trois options mais davantage pour la première que pour la deuxième. Selon l'auteur, les assurances de responsabilité représentent généralement une amélioration au sens de Pareto, mais il voit un deuxième problème mis à part le risque moral : « Perfect compensation is required to internalize costs, but perfect compensation covers harms that victims would not insure against. » Une solution pourrait être un marché de droits de déclaration de sinistre. De plus, l'évaluation d'une prime juste est difficile en raison de la probabilité d'un accident qui est minime et inconnue, d'un manque d'expérience avec ce type d'accident et de l'incertitude concernant le montant des amendes imposées. Ralston (1979) examine ce problème de plus près, mais souligne malgré ces objections les avantages que l'assurance obligatoire peut avoir sur une réglementation quant à la compensation de victimes.

Bolin (1999) critique l'assurance obligatoire pour les raisons déjà mentionnées. Bien que la compensation de victimes soit garantie, le niveau de prévention pourrait même être plus faible que dans la situation initiale. Des fonds de l'industrie (comme TOVALOP ou CRISTAL jusqu'en 1997) qui payeront les amendes seront plus prometteurs à ce niveau s'ils sont la propriété des firmes de cette industrie. Les entreprises recevront l'intérêt sur le montant du fonds et seront donc incitées à fournir un effort plus élevé que dans le cas d'une assurance obligatoire. Le problème qui se pose ici est celui du *resquillage*, c'est-à-dire que chaque firme participant à ce fonds aura intérêt à fournir un effort sous-optimal afin de profiter de l'effort élevé des autres compagnies (et donc en probabilité moins d'accidents) sans payer les coûts d'un haut niveau de précaution. Si l'effort est une information privée, toutes les firmes se comporteront ainsi et on se trouve dans un dilemme du prisonnier, où le niveau de prévention n'est pas Pareto-optimal.

Dekel et Scotchmer (1990) discutent aussi de la possibilité de collusion dans le cas d'Alyeska, le fonds des compagnies pétrolières impliquées dans l'extraction de pétrole en Alaska pour régler les séquelles financières d'une marée noire. Les résultats de cette étude indiquent que les membres de ce fonds pourraient avoir intérêt à investir trop peu dans la sécurité environnementale afin d'augmenter les prix par une interruption de l'offre dans le cas d'un accident. Cela revient au même qu'une entente illégale de fixation des prix. Contrairement au cas d'une entente conventionnelle, il serait, dans l'éventualité d'une collusion, difficile de prouver une participation à un tel cartel (en raison du caractère stochastique de la pollution et du caractère implicite de la convention) et il n'y aurait pas de problème de *resquillage* car la prévention est coûteuse. Si une telle collusion par assurance mutuelle avait lieu, la création de fonds pour couvrir collectivement les coûts d'un accident ne serait pas dans l'intérêt du législateur.

Une autre solution alternative pour surmonter le problème d'un entrepreneur qui est à l'abri de jugements en ce qui concerne la responsabilité est

présentée dans Pitchford (1995). Il discute des effets d'une co-responsabilité du créancier. Cela implique que ce dernier, ayant suffisamment de liquide (deep-pocketed en anglais), est responsable de l'indemnisation des victimes si la firme qui entreprend l'activité risquée n'en est pas capable. Dans son modèle, une augmentation des amendes peut mener à une réduction du niveau de précaution (non-observable pour le créancier), car le profit de la firme dans le cas sans accident diminue relativement au cas où un accident survient. Cela vient du fait que le créancier demandera une prime plus élevée pour le risque qu'il endosse. Ces résultats reposent sur l'hypothèse que l'entrepreneur a tout le pouvoir de négociation, ce qui n'est certainement pas vrai dans le cas du transporteur.

Il semble que beaucoup d'économistes se montrent sceptiques en ce qui a trait à la stricte responsabilité car ils craignent que l'activité risquée ne soit soustraite à des petites firmes à l'abri de jugements. Une augmentation d'amendes pourrait alors amener les compagnies pétrolières à avoir davantage recours à la sous-traitance. Le modèle de Brooks (2002) traite de cette problématique, mais il arrive à la conclusion que les compagnies pétrolières iront dans la direction opposée, c'est-à-dire qu'elles réduiront le nombre de sous-contractants, s'il existe une probabilité que les compagnies soient tenues co-responsables et si les amendes sont assez élevées¹. Dans la partie empirique de son article, il observe exactement ce comportement chez les compagnies pétrolières à la suite de l'OPA 90, une loi qui augmentait considérablement les amendes pour les marées noires et qui facilitait le verdict de co-responsabilité pour les compagnies pétrolières. Les conséquences de l'OPA 90 ne se sont pas seulement limitées à une croissance importante de la part du marché américain du transport du pétrole que possèdent les compagnies pétrolières. Aux Etats-Unis, le nombre de marées noires et leur ampleur ont, depuis 1990, aussi significativement diminué.

¹ Ceci est bien résumé dans Bradley (1974) : «This poses a curious dilemma. On the one hand, "making the punishment fit the crime" dictates that an individual offender not be subjected to penalties greater than the social damage he has caused, but, on the other hand, failure to have an upward bias in fines will result in a nonoptimal level of spill-preventing investment. »

Shavell (1984) montre que, sous certaines hypothèses, ni la réglementation ni la stricte responsabilité ne sont optimales. C'est, respectivement, 1) à cause du manque d'information de l'agence gouvernementale et 2) en raison de la possibilité qu'un pollueur soit à l'abri de jugements ou ne soit pas tenu responsable à 100%. Selon Shavell, une combinaison des deux politiques serait en général socialement désirable. Pourtant, il faudrait aussi considérer le double coût de ce mécanisme, soit celui de l'agence gouvernementale et celui des coûts potentiellement considérables des poursuites judiciaires. Cohen (1986 et 1987) et Epple et Visscher (1984) examinent de près un système de standards de prévention et sa mise en vigueur par la Garde côtière américaine. Ils arrivent à la conclusion que les avantages en termes de réduction d'accidents dépassent les dépenses pour la Garde côtière.

Il est cependant possible que la réglementation soit trop sévère (Ogus 1999). Cette auteure considère dans son modèle un monde où la réglementation se fait par fournées, car la fonction de distribution des accidents est inconnue et le gouvernement réagit seulement quand une grande marée noire change l'estimateur de cette fonction de distribution. Dans la réalité, ce fut souvent le cas que la réglementation changeait subitement après des catastrophes comme par exemple en 1969 avec le *Torrey Canyon* et en 1989 avec l'*Exxon Valdez*. Ogus suppose qu'il existe une rigidité de la réglementation à la baisse et que la base de données est petite. Elle démontre alors que la réglementation sera probablement trop stricte, parce qu'un seul grand accident peut changer considérablement l'estimateur et augmente donc le niveau de réglementation, ce qui devient irréversible par la suite.

Dans la partie théorique qui suit, nous nous contenterons d'examiner la responsabilité stricte sans assurances avec un agent à l'abri de jugements, dont le profit ne peut être réquisitionné lors d'un accident. La subvention de l'effort de prévention telle que mentionnée par Posey (1993) et Beard (1990) ne s'effectuera donc pas dans notre modèle.

3 Le modèle

On considère une économie simple avec information parfaite à trois acteurs neutres au risque: un transporteur de pétrole représentatif (T), une compagnie pétrolière monopoliste (CP) et le gouvernement (G) du pays importateur de pétrole². Les problèmes venant de la difficulté de mesurer les conséquences d'un accident et d'évaluer correctement la probabilité très faible d'une grande catastrophe ne nous concerneront pas ici. Nous faisons également abstraction des complications dues au fait que l'envergure des dégâts et les dommages écologiques et économiques varient énormément d'un accident à l'autre, c'est-à-dire que ces variables sont en réalité des variables aléatoires, dont la distribution est inconnue. Des valeurs moyennes supposées vraies pour ces variables nous serviront à la place d'une fonction stochastique inconnue.

Spécifiquement, nous présentons un modèle en trois périodes. Dans la première période, le gouvernement annonce un niveau d'amende par tonne de pétrole écoulé lors d'une catastrophe. Il ne peut pas changer cette amende après qu'une catastrophe se soit produite. Dans la deuxième période, la compagnie pétrolière choisit si elle assume elle-même le transport du pétrole ou si elle engage des transporteurs indépendants pour le faire. Si elle assume elle-même le transport, elle choisit la quantité de pétrole à acheminer, la qualité des bateaux, et l'effort de précaution. Si par contre elle choisit de sous-traiter le transport, elle ne choisit que la quantité de pétrole et la qualité des bateaux (toutes les différentes qualités sont disponibles) ; puis le jeu se poursuit dans une troisième période. Dans cette troisième période, un transporteur représentatif choisit l'effort précautionnaire.

² L'hypothèse de neutralité vis-à-vis du risque est une hypothèse simplificatrice. Mais il n'y a aucune raison de penser que l'un ou l'autre des acteurs soit averse au risque.

3.1 Le problème du transporteur

On suppose qu'il y a une infinité de transporteurs, chacun ayant un seul pétrolier de taille uniforme qui constitue l'ensemble de ses actifs. Des bateaux de toutes les qualités différentes (par exemple mono-coques ou double-coques) existent dans des quantités suffisantes. On se trouve dans une situation de concurrence parfaite et la rémunération du transporteur est alors égale à ses coûts quand son profit est maximisé. Le transporteur maximise son profit en choisissant un niveau de précaution (par exemple la formation et la paie de l'équipage, la présence d'échéances plus ou moins exigeantes, la qualité de l'équipement de navigation, etc.). Ce niveau est inobservable pour les autres acteurs, donc de l'information privée, tandis que la fonction de profit elle-même est connue de tout le monde.

La fonction à maximiser est la suivante :

$$\Pi_T = w - c(x) - p(x)k(b) \quad (1)$$

où $w > 0$ est la rémunération pour un voyage. La variable de choix, le niveau de précaution x , implique un coût $c(x)$, avec $c'(x) > 0$ et $c''(x) \geq 0$, mais influence également la probabilité $p(x)$ d'un accident du pétrolier dans un voyage, avec $p'(x) < 0$ et $p''(x) > 0$. Nous exigeons un niveau minimal de x , disons \underline{x} , c'est le niveau le plus bas physiquement possible pour faire naviguer un pétrolier, tel que $p(\underline{x}) < 1$.

Les pertes en cas d'accident sont déterminées par une fonction strictement croissante $k(b)$, b représentant la qualité du bateau, ce qui n'a pas d'impact sur la probabilité d'un accident, mais seulement sur son ampleur. Nous définissons \underline{b} comme la valeur la plus petite physiquement possible. Cette fonction $k(b)$ indique la valeur du pétrolier et donc le capital total de la firme de transport. Cela implique que b ne sert pas seulement comme variable expliquant la qualité du pétrolier, mais détermine aussi les fonds propres investis par le transporteur. La

seule manière d'inciter le transporteur à fournir un effort plus que minimal consiste alors à exiger un bateau plus cher. Nous omettons ici un coût important dans la réalité, celui de l'amortisation, de la dépréciation, des paiements d'intérêt etc. pour le bateau. Ceci permet de simplifier le modèle et de mieux pouvoir comparer les différentes politiques. Les résultats ne devraient pas changer significativement ; ils restent qualitativement les mêmes.

Donc, pour chaque qualité de bateau b possible, le détenteur d'un tel bateau choisit x afin de maximiser Π_T . La concurrence fait en sorte que $\Pi_T = 0$, ce qui nous donne la valeur concurrentielle de w . Ainsi, la solution de cette étape du modèle sera représentée par deux valeurs, $x^*(b)$ et $w^*(b)$.

Dans notre modèle de départ le transporteur est toujours responsable d'un accident. Pourtant, il est impossible de le punir dans le cas d'un accident, car il se trouve déjà dans la pire des situations : tout son capital propre, la valeur du bateau, est perdu dans l'accident. Il semble aussi difficile parfois d'identifier le transporteur, qui est par exemple enregistré aux Bahamas, dont le siège social se trouve au Libéria et qui gère ses activités d'Athènes. On peut dès lors considérer que le transporteur est à toute fin pratique à l'abri de jugements, intouchable.

3.2 Le problème de la compagnie pétrolière

Nous traitons la compagnie pétrolière comme un monopoleur. Dans la réalité ceci n'est pas le cas, mais ces firmes font partie d'un oligopole et profitent d'un pouvoir de marché considérable. La compagnie pétrolière a le choix de transporter elle-même la ressource ou d'embaucher des transporteurs. Nous supposons qu'elle fait face à la même fonction de coût que le transporteur, ceci pour faciliter la comparaison entre les résultats. En réalité, il semble que les économies d'échelle mèneraient à un avantage en termes de coûts pour les compagnies pétrolières.

La firme maximise son profit en choisissant la qualité des bateaux et le nombre de cargaisons (uniformisées à la taille des pétroliers) qu'elle veut envoyer dans le pays en question et le niveau de précaution si le transporteur n'est pas employé. En cas d'accident du pétrolier d'un de ses transporteurs, la firme comme propriétaire de la cargaison est tenue co-responsable avec une certaine probabilité et doit payer la totalité des amendes et les coûts de réparation et de nettoyage, car le transporteur est complètement à l'abri de jugements. Si la compagnie pétrolière règle le transport par elle-même, la probabilité de sa responsabilité égale un. Nous ne considérons pas les coûts de la mauvaise réputation (chez les consommateurs, à la bourse et chez les agences gouvernementales) pour fins de simplicité, même s'ils semblent considérables. Nous supposons que tout accident aura lieu dans les eaux territoriales du gouvernement et que, toutes autres choses étant égales, la probabilité d'un accident ne varie pas d'un trajet à l'autre, laissant de côté des considérations de routes différentes.

Le profit anticipé est, selon le choix avec transporteur (AT) ou sans transporteur (ST), respectivement décrit par les fonctions suivantes

$$\Pi_{CP}^{AT} = vz(v) - vw^* - v p(x^*)S(b)qA \quad (2)$$

$$\Pi_{CP}^{ST} = vz(v) - vc(x) - vp(x)[k(b) + S(b)A] \quad (3)$$

où $v > 0$ est le nombre de cargaisons et $z(v)$ est le prix du pétrole livré; w^* est la rémunération du transporteur pour un voyage dépendant de la qualité du pétrolier que la firme engage ; $S(b)$ indique la quantité de pétrole coulée dans l'océan lors d'un accident et est une fonction continue et décroissante de b , avec $S'(b) < 0$. $S(b)$ constitue la totalité de la cargaison d'un pétrolier. Un bateau de meilleure qualité laisse plus de temps pour limiter les conséquences de l'accident et diminue alors l'envergure de la marée noire.

La perte du pétrole pour la compagnie pétrolière lors d'un accident n'est pas considérée ici par souci de simplicité et parce que les coûts sont négligeables par rapport aux autres dommages infligés. Les amendes que le gouvernement impose par tonne de pétrole coulée dans l'océan sont données par A , et $q \in]0,1[$ est la probabilité que la compagnie pétrolière soit tenue co-responsable ; q est pour le moment considéré exogène et dépend par exemple des décisions des cours. La probabilité d'un accident pour un seul pétrolier se multiplie par le nombre v de voyages effectués.

Donc, dans (2), la compagnie intègre les solutions $x^*(b)$ et $w^*(b)$ du problème du transporteur, puis choisit b et v optimalement. Dans (3), elle choisit x , b et v optimalement. Enfin, elle choisit d'engager ou non des transporteurs, selon que Π_{ST}^{CP} est plus grand ou plus petit que Π_{AT}^{CP} . Les solutions de x , b et v sont maintenant exprimables en termes de A , qui est du ressort du gouvernement.

3.3 Le problème du gouvernement

Le gouvernement a deux objectifs contradictoires à arbitrer. D'une part, il veut minimiser les dommages de marées noires (tant les coûts monétaires de réparation et de restauration que les coûts écologiques à long terme, les effets négatifs sur l'industrie touristique et de pêche, mais aussi la pression politique des lobbies environnementalistes). D'autre part, il veut maximiser une fonction d'utilité dépendant de la quantité de pétrole importée. Le prix d'essence, le pouvoir de lobbies d'automobilistes, de l'industrie pétrolière et d'autres industries avec une consommation élevée d'énergie sont des facteurs qui influencent cette fonction d'utilité. Les fonctions qui indiquent l'ampleur de ces deux courants opposés seront \square et ϕ , respectivement.

L'hypothèse dans le modèle de base est que le seul outil qui reste à la disposition du gouvernement afin d'atteindre ses objectifs est une imposition d'amendes par tonne de pétrole déversée lors d'un accident et que tous les autres moyens de l'État pour augmenter la sécurité (l'implantation de voies de

navigation, la surveillance et les contrôles des pétroliers par la garde côtière etc.) sont déjà à un niveau optimal. Par contre, ces amendes ne contribueront pas à l'utilité du gouvernement, car elles représentent en même temps des coûts pour la compagnie pétrolière dont les profits rentrent jusqu'à un certain degré dans les considérations des agents politiques du gouvernement. Une supposition relativement facile à soutenir, semble-t-il, requiert que le niveau d'utilité du gouvernement soit positif pour toutes valeurs possibles de v , b , x et A . Ceci est important dans la mesure où nous désirons des solutions internes ; un niveau d'utilité négatif mènerait à un équilibre de coin, où les amendes sont infiniment hautes et où il n'y aurait pas d'importation de pétrole dans le pays en question.

La fonction d'utilité du gouvernement (4) se maximise en sachant que le transporteur et la compagnie pétrolière se comporteront de la façon présentée plus haut, en fonction du niveau des amendes :

$$\Pi_G = \phi(v^*) - v^* p(x^*) \Delta(S(b^*)) \quad (4)$$

où $\phi(v^*)$ et $\Delta(S(b^*))$ sont des fonctions croissantes dans leurs arguments.

3.4 Application de fonctions explicites³

Nous allons utiliser des fonctions explicites qui satisfont les exigences mentionnées ci-dessus pour les fins de notre analyse dans le but de fournir des résultats intuitifs et compréhensibles. Nous supposons que les résultats des variables de contrôle sont des solutions intérieures, c'est-à-dire qu'ils sont positifs et qu'ils satisfont les exigences pour \underline{x} et \underline{b} . Nous supposons $c(x)=cx$, $p(x)=p/x$ et $k(b)=kb$, où p , c et k sont des constantes positives et où $p < \underline{x}$. Ainsi, nous ré-écrivons l'équation (1) de la manière suivante:

$$\Pi_T = w - cx - \frac{p}{x} kb \quad (5)$$

où c et k sont des constantes positives. La condition du premier ordre pour une maximisation des profits du transporteur est la suivante :

$$\frac{\partial \Pi_T}{\partial x} = -c + \frac{p}{x^2} kb = 0 \quad (6)$$

À l'optimum, le coût marginal d'une augmentation du niveau de la prévention égale son bénéfice marginal, soit la réduction de la probabilité d'un accident.

$$\Rightarrow x_{AT}^* = \sqrt{pkb/c}$$

Le signe négatif de la dérivée seconde nous assure bien d'un maximum :

$$\frac{\partial^2 \Pi_T}{\partial x^2} = -2\sqrt{\frac{c^3}{pkb}} < 0 \quad (7)$$

³ Une liste des symboles utilisés et de leurs significations est présentée dans l'annexe 4.

Nous pouvons maintenant déterminer la rémunération w pour laquelle les profits anticipés sont nuls :

$$\Rightarrow w^* = 2\sqrt{pkbc}$$

La compagnie pétrolière décide ensuite par quel moyen elle veut faire le transport, en connaissance de la rémunération et du niveau de précaution du transporteur, dépendant de la qualité du pétrolier. Nous discuterons plus tard sous quelles conditions la compagnie fera le transport elle-même et quand elle ne le fera pas, et nous contenterons ici de présenter les décisions qu'elle prendra étant donné son choix. Nous supposons $z(v) = \alpha - (1/2)\beta v$ et $S(b) = S/b$, où α , β et S sont des constantes positives. $z(v)$ est donc une fonction de prix linéaire qui dépend de façon négative de la quantité de pétrole vendue.

$$\Pi_{CP}^{AT} = v[\alpha - \frac{1}{2}\beta v] - vw^* - v\frac{p}{x^*}\frac{S}{b}qA \quad (8)$$

$$\Pi_{CP}^{ST} = v[\alpha - \frac{1}{2}\beta v] - vcx - v\frac{p}{x}[kb + \frac{S}{b}A] \quad (9)$$

La firme ne peut pas observer le niveau de prévention effectué par le transporteur, mais elle sait quel niveau celui-ci choisira. Il faut souligner la différence car si le niveau de prévention était de l'information publique, la compagnie pétrolière pourrait faire dépendre la rémunération du transporteur selon la sécurité de son pétrolier et donc choisir directement le niveau de celle-ci. Or, dans notre modèle la compagnie pétrolière ne peut décider qu'implicitement cette variable, quand elle se sert du transporteur.

Pour ce cas, nous trouvons, en substituant les résultats présentés ci-haut pour w^* et x^* , les conditions du premier ordre (10) et (11) pour b et v respectivement.

$$\frac{\partial \Pi_{CP}^{AT}}{\partial b} = -v\sqrt{pkc/b} + \frac{3}{2}vSqA\sqrt{pc/kb^5} = 0 \quad (10)$$

Encore le résultat conventionnel, que le coût marginal d'une amélioration de la qualité du bateau égale le bénéfice marginal, soit la réduction de l'ampleur d'une marée noire et donc des amendes imputables dans le cas d'un sinistre.

$$\frac{\partial \Pi_{CP}^{AT}}{\partial v} = \alpha - \beta v - 2\sqrt{pkbc} - SqA\sqrt{pc/kb^3} = 0 \quad (11)$$

Les valeurs optimales de b et v découlent des équations (10) et (11) :

$$\Rightarrow b_{AT}^* = \sqrt{\frac{3}{2}SqA/k}$$

$$\Rightarrow v_{AT}^* = \frac{\alpha - 2\sqrt{pkbc} - SqA\sqrt{pc/kb^3}}{\beta} = \frac{\alpha - \frac{8}{3}\sqrt{pc}\sqrt{\frac{3}{2}SqAk}}{\beta}$$

Nous pouvons donc réécrire le niveau de précaution optimal comme suit :

$$\Rightarrow x_{AT}^* = \sqrt{(p/c)\sqrt{\frac{3}{2}SqAk}}$$

Les conditions de deuxième ordre (12) et (13) confirment qu'il s'agit d'un maximum⁴ :

$$\frac{\partial^2 \Pi_{CP}^{AT}}{\partial b^2} = -2v\sqrt{pck/b^3} < 0 \quad (12)$$

⁴ Les dérivées croisées égalent la dérivée première par rapport à b , divisée par v , et sont donc nulles par la condition de premier ordre (10). La matrice hessienne est alors semi-définie négative. Nos résultats sont donc valables.

$$\frac{\partial^2 \Pi_{CP}^{AT}}{\partial v^2} = -\beta < 0 \quad (13)$$

Les choix des variables de contrôle de la compagnie pétrolière si elle entreprend le transport elle-même sont donnés par les dérivées de l'équation (9) :

$$\frac{\partial \Pi_{CP}^{ST}}{\partial x} = -vc + v \frac{p}{x^2} [kb + \frac{S}{b} A] = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial \Pi_{CP}^{ST}}{\partial b} = v \frac{p}{x} [-k + \frac{S}{b^2} A] = 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial \Pi_{CP}^{ST}}{\partial v} = \alpha - \beta v - cx - \frac{p}{x} [kb + \frac{S}{b} A] = 0 \quad (16)$$

La différence la plus importante relativement à la situation « Avec Transporteur » découle du fait que la compagnie pétrolière tient compte des amendes dans le cas d'un accident quand elle détermine le niveau optimal de prévention, tandis que le transporteur ne se soucie pas de ces coûts, en raison de sa caractéristique d'intouchabilité. Ceci se voit dans les valeurs optimales.

$$\Rightarrow x_{ST}^* = \sqrt{(p/c)[kb + \frac{S}{b} A]} = \sqrt{2(p/c)\sqrt{SAk}}$$

$$\Rightarrow b_{ST}^* = \sqrt{SA/k}$$

$$\Rightarrow v_{ST}^* = \frac{\alpha - cx - \frac{p}{x} [kb + \frac{S}{b} A]}{\beta} = \frac{\alpha - 2\sqrt{2pc\sqrt{SAk}}}{\beta}$$

La matrice hessienne est semi-définie négative (les dérivées croisées sont nulles à l'optimum), la maximisation est donc garantie :

$$\frac{\partial^2 \Pi_{CP}^{ST}}{\partial x^2} = -2v \frac{p}{x^3} [kb + \frac{S}{b} A] < 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_{CP}^{ST}}{\partial b^2} = -2v \frac{p}{x} \frac{S}{b^3} A < 0 \quad (18)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_{CP}^{ST}}{\partial v^2} = -\beta < 0 \quad (19)$$

Le gouvernement doit annoncer sa politique *a priori*, mais il sait quels choix les compagnies pétrolières et les transporteurs feront en fonction du niveau d'amendes. Le gouvernement maximise donc son utilité (une fonction linéaire de l'équation (4)) comme s'il agissait *a posteriori* et surtout en sachant si les transporteurs sont embauchés ou non. On suppose $\phi(v) = \phi v$ et $\square(S(b)) = \square S(b)$, où ϕ et \square sont des paramètres positifs.

$$\Pi_G^i = \phi v_i^* - v_i^* \frac{p}{x_i^*} \Delta \frac{S}{b_i^*} \quad (20)$$

avec $i=AT, ST$. ϕ et \square indiquent l'influence des lobbies de l'industrie etc. et des environnementalistes *et alii* respectivement. Les conditions de premier ordre se présentent comme suit :

$$\frac{\partial \Pi_G^{ST}}{\partial A} = -\frac{\phi \vartheta}{\sqrt{2} \beta A^{3/4}} + \frac{3\alpha \vartheta \Delta}{4\sqrt{2} \beta A^{7/4}} - \frac{\vartheta^2 \Delta}{\beta A^{3/2}} = 0 \quad (21)$$

$$\Rightarrow \phi A + \sqrt{2} \vartheta \Delta A^{1/4} = \frac{3}{4} \Delta \alpha \quad (21a)$$

$$\frac{\partial \Pi_G^{AT}}{\partial A} = -\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{4}} \frac{\vartheta \phi q^{\frac{1}{4}}}{\beta A^{\frac{3}{4}}} + \left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{1}{4}} \frac{\alpha \vartheta \Delta}{2 \beta q^{\frac{3}{4}} A^{\frac{7}{4}}} - 2\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\vartheta^2 \Delta}{\beta q^{\frac{1}{2}} A^{\frac{3}{2}}} = 0 \quad (22)$$

$$\Rightarrow \phi(qA) + \frac{4}{3} \sqrt[4]{\frac{3}{2}} \vartheta \Delta (qA)^{\frac{1}{4}} = \frac{3}{4} \Delta \alpha \quad (22a)$$

où nous définissons $\vartheta = \sqrt{pc\sqrt{Sk}}$. On peut donc trouver un niveau d'amendes optimal pour les deux cas AT ou ST en fonction des paramètres $A_i^*(q_i^-, \phi^-, \Delta^+, \vartheta^-, \alpha^+)$, avec $i=ST, AT$ et $q_{ST} = 1$, où les indices représentent le signe des premières dérivées de A par rapport à ces paramètres. Ceci implique que le niveau d'amendes est croissant par rapport au profit de base de la compagnie pétrolière par unité de pétrole, représenté par \square , et en dommages par unité des dégâts \square^5 . Les amendes diminuent avec le paramètre de probabilité p , avec le coût c d'une réduction de cette probabilité, avec le coût d'un meilleur bateau k et avec la taille de base d'une marée noire S . De plus, le niveau d'amendes est aussi décroissant dans l'utilité du gouvernement ϕ par unité de pétrole et, dans le cas « Avec Transporteur », dans la probabilité de co-responsabilité de la compagnie pétrolière q . Ceci est conforme à l'intuition économique car le gouvernement a intérêt à imposer un niveau d'amendes qui corrige pour la probabilité $(1-q)>0$ avec laquelle la compagnie pétrolière n'est pas tenue responsable de ses activités risquées.

Les signes négatifs des deuxièmes dérivées assurent la maximisation,

$$\frac{\partial^2 \Pi_G^{ST}}{\partial A^2} = \frac{3}{4} \frac{\vartheta \phi}{\sqrt{2\beta A^{\frac{7}{4}}}} - \frac{2}{16} \frac{\alpha \Delta \vartheta}{\sqrt{2\beta A^{\frac{11}{4}}}} + \frac{3}{2} \frac{\vartheta^2 \Delta}{\beta A^{\frac{5}{2}}} < 0 \quad (23)$$

⁵ $\partial A_i^* / \partial \Delta > 0$ pour A_i^* solution intérieure (i.e. A_i^* suffisamment petit pour que les profits de la compagnie pétrolière soient positifs)

$$\frac{\partial^2 \Pi_G^{AT}}{\partial A^2} = \frac{3}{4} \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{4}} \frac{\phi \vartheta q^{\frac{1}{4}}}{\beta A^{\frac{7}{4}}} - \frac{7}{8} \left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{1}{4}} \frac{\Delta \vartheta \alpha}{\beta q^{\frac{3}{4}} A^{\frac{11}{4}}} + 3 \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\vartheta^2 \Delta}{\beta q^{\frac{1}{2}} A^{\frac{5}{2}}} < 0 \quad (24)$$

ce que nous prouvons en introduisant les équations (21a) et (22a) respectivement :

$$-\frac{4}{3} \phi A - \frac{1}{3} \sqrt{2} \vartheta \Delta \sqrt[4]{A} < 0 \quad (23a)$$

$$-\frac{4}{3} \phi q A - \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{7}{4}} \vartheta \Delta (q A)^{\frac{1}{4}} < 0 \quad (24a)$$

4 Résultats et analyse

À partir de ce modèle nous pouvons ainsi étudier quel équilibre se produira en fonction des paramètres externes, bien que nous n'ayons pas de solution analytique pour le niveau d'amendes.

4.1 Choix du mode de transport

Nous allons déterminer maintenant quand la compagnie pétrolière choisira de sous-traiter le transport du pétrole à une firme indépendante à l'abri de jugements et quand elle effectuera cette tâche par sa propre organisation. Nous rencontrons un problème ici : le niveau d'amendes A est pareil pour chaque compagnie pétrolière qu'elle fasse le transport elle-même ou non ; par contre, nous ne savons pas à ce point si le gouvernement impose un A_{AT}^* ou un A_{ST}^* . Pour faire son choix, la compagnie pétrolière devrait cependant savoir comment le gouvernement agira. À cause de cette problématique nous allons regarder la prise de décision de la compagnie pétrolière en faisant abstraction du niveau d'amendes spécifique et en introduisant un niveau quelconque A , bien que le niveau d'amendes n'ait probablement pas d'importance sur le choix de la compagnie pétrolière dans un modèle statique. Ceci s'explique par le fait que la compagnie doit payer le même niveau d'amendes, n'importe son choix.

Proposition 1 : La compagnie pétrolière fait son choix du mode de transport sans regard du niveau d'amendes.

Nous allons comparer le profit anticipé pour chaque cas ST et AT (équations (8) et (9)) et l'option avec le plus haut profit représentera donc le choix de la compagnie pétrolière :

$$\Pi_{CP}^{ST*} \geq \Pi_{CP}^{AT*} \quad (25)$$

$$\begin{aligned}
v_{ST}^* \left[\alpha - \frac{1}{2} \beta v_{ST}^* - c x_{ST}^* - \frac{p}{x_{ST}^*} \left(k b_{ST}^* + \frac{AS}{b_{ST}^*} \right) \right] \geq \\
v_{AT}^* \left[\alpha - \frac{1}{2} \beta v_{AT}^* - c x_{AT}^* - \frac{p}{x_{AT}^*} \left(k b_{AT}^* + \frac{qAS}{b_{AT}^*} \right) \right]
\end{aligned} \tag{25a}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\beta} (\alpha - 2\sqrt[4]{4A\vartheta}) (\alpha / 2 + \sqrt[4]{4A\vartheta} - \sqrt[4]{4A\vartheta} - \sqrt[4]{4A\vartheta} / 2 - \sqrt[4]{4A\vartheta} / 2) \geq \\
\frac{1}{\beta} (\alpha - \frac{8}{3} \sqrt[4]{\frac{3}{2} qA\vartheta}) (\alpha / 2 + \frac{4}{3} \sqrt[4]{\frac{3}{2} qA\vartheta} - \sqrt[4]{\frac{3}{2} qA\vartheta} - \sqrt[4]{\frac{3}{2} qA\vartheta} - \frac{2}{3} \sqrt[4]{\frac{3}{2} qA\vartheta})
\end{aligned} \tag{25b}$$

$$(\alpha - 2\sqrt[4]{4A\vartheta})^2 / 2\beta \geq (\alpha - \frac{8}{3} \sqrt[4]{\frac{3}{2} qA\vartheta})^2 / 2\beta \tag{25c}$$

Les transformations suivantes nous sont permises sous l'hypothèse que les profits de la compagnie pétrolière sont non-négatifs :

$$\alpha - 2\sqrt[4]{4A\vartheta} \geq \alpha - \frac{8}{3} \sqrt[4]{\frac{3}{2} qA\vartheta} \tag{25d}$$

$$2\sqrt[4]{4A} \leq \frac{8}{3} \sqrt[4]{\frac{3}{2} qA} \tag{25e}$$

Nous obtenons alors le résultat que la compagnie pétrolière choisira une solution interne du problème du transport du pétrole dès que l'inégalité suivante tient (indépendant du niveau d'amendes, ce qui prouve notre première proposition) :

$$\frac{27}{32} \leq q$$

On pourrait interpréter ce chiffre arbitraire comme un seuil à partir duquel les coûts inhérents à l'embauche du transporteur (contrôler l'effort de la prévention des accidents x indirectement par b) dépassent les bénéfices, c'est-à-dire une réduction des amendes à payer dans le cas d'un accident par un ratio de $(1-q)$.

4.2 Le rôle du gouvernement dans le choix ST vs AT

Il est donc impliqué que le niveau d'amendes n'a aucun impact sur la sous-traitance du transport ; celle-ci ne dépend que de la probabilité de co-responsabilité de la compagnie pétrolière. Ainsi, la maximisation de l'utilité du gouvernement n'est pas ambiguë dans le sens qu'il pourrait influencer la décision des autres acteurs concernant le choix du mode du transport par son propre comportement, comme on l'avait craint plus haut. Le niveau d'amendes a seulement un impact sur les variables x , b et v , si on suppose que q est un paramètre externe. Les valeurs choisies pour ces variables par les autres acteurs étant toutes dépendantes de A , il est alors possible pour le gouvernement d'obtenir des valeurs optimales, bien que ceci ne soit réalisable que dans le cadre donné par q . Il se pose la question d'une optimalité globale pour le gouvernement, s'il est préférable que le transport soit fait par le transporteur ou non. L'intuition ici semble claire : le biais du transporteur et de la co-responsabilité pour la compagnie pétrolière dans le problème d'internaliser la totalité des coûts de cette activité risquée amoindrit l'efficacité de toute politique.

Proposition 2 : Le gouvernement préfère en tous cas l'option « Sans Transporteur » à l'option « Avec Transporteur ».

Nous démontrons cette proposition en comparant l'utilité du gouvernement (équation (20)) pour les deux cas ST et AT :

$$\phi v_{ST}^* - v_{ST}^* \frac{p}{x_{ST}^*} \frac{S}{b_{ST}^*} \Delta \geq \phi v_{AT}^* - v_{AT}^* \frac{p}{x_{AT}^*} \frac{S}{b_{AT}^*} \Delta \quad (26)$$

La première étape consiste à prouver que les dégâts anticipés par unité de pétrole transportée $(p/x)(S/b)$ sont inférieurs pour toute valeur de $0 < q < 1$:

$$\frac{p}{x_{ST}^*} \frac{S}{b_{ST}^*} = A_{ST}^{*-3/4} \vartheta / \sqrt{2} \leq \frac{p}{x_{AT}^*} \frac{S}{b_{AT}^*} = \vartheta (3/2 q A_{AT}^*)^{-3/4} \quad (26a)$$

$$A_{ST}^* (32/27)^{1/3} \geq qA_{AT}^* \quad (26b)$$

quod erat demonstrandum, car $A_{ST}^* > qA_{AT}^*$, évident des équations (21a) et (22a).

Dans une deuxième étape nous établissons la supériorité des importations de pétrole d'une compagnie pétrolière qui gère le transport par ses propres moyens aux importations d'une telle firme qui se sert d'un intermédiaire pour le transport. Des plus grandes importations sont toujours préférables pour le gouvernement, du fait de la linéarité de sa fonction d'utilité non-négative par rapport à v .

$$(\alpha - 2\sqrt{2}\vartheta^4\sqrt{A_{ST}^*}) / \beta \geq (\alpha - \frac{8}{3}\vartheta^4\sqrt{\frac{3}{2}qA_{AT}^*}) / \beta \quad (27)$$

$$qA_{AT}^* \geq \frac{27}{32} A_{ST}^* \quad (27a)$$

Nous pouvons prouver que cette inégalité tient en regardant les équations (21a) et (22a), plus précisément, nous allons le faire en démontrant que le contraire mène ad absurdum. Nous égalisons lesdites équations et introduisons l'inégalité:

$$\phi A_{ST}^* + \vartheta\Delta^4\sqrt{4A_{ST}^*} = \phi qA_{AT}^* + \frac{4}{3}\vartheta\Delta^4\sqrt{\frac{3}{2}qA_{AT}^*} < \frac{27}{32}\phi A_{ST}^* + \vartheta\Delta^4\sqrt{4A_{ST}^*} \quad (28)$$

$$\phi A_{ST}^* < \frac{27}{32}\phi A_{ST}^* \quad (28a)$$

Evidemment ceci ne peut pas être vrai pour des paramètres et variables positifs. Le cas « Sans Transporteur » est donc toujours avantageux pour le gouvernement en ce qui concerne les importations de pétrole et la probabilité et la taille des marées noires.

Théoriquement, le gouvernement pourrait influencer le choix de la compagnie pétrolière en menaçant de jouer A_{AT}^* dans les prochaines périodes lorsque la compagnie pétrolière choisit une stratégie AT et de jouer A_{ST}^* lorsque la firme choisit le mode de transport ST. Par contre, une telle menace est peu crédible, car d'habitude les gouvernements changent fréquemment dans notre modèle (une période se déroulant pendant quelques années, puisqu'il s'agit de passer des lois, construire des bateaux etc.).

5 Conclusion

Considérant seulement les accidents majeurs de pétroliers, nous avons analysé le marché du transport maritime du pétrole avec un système de stricte responsabilité, où l'effort de prévention d'accidents n'est pas observable. Les compagnies pétrolières peuvent engager des transporteurs qui sont à l'abri des poursuites, mais il existe une probabilité que les compagnies pétrolières soient tenues co-responsables en cas d'accident. Malgré les simplifications faites dans le modèle, nous considérons que l'on peut tout de même déduire des conclusions qui pourraient être intéressantes pour les décisions politiques.

Dans notre modèle, les compagnies pétrolières ont des coûts de se servir des transporteurs à l'abri des poursuites autres que les pertes d'économie d'échelle, du fait que l'effort de prévention d'accidents n'est qu'indirectement dirigeable, soit par une exigence de meilleurs bateaux. Ces coûts devraient être encore plus importants quand on prend en considération les coûts d'amortissement des bateaux etc. que nous avons omis dans le modèle. D'autre part, les compagnies bénéficient du fait que les transporteurs sont à l'abri des poursuites.

En imposant des amendes par tonne de pétrole déversée, le gouvernement peut influencer les quantités de pétrole importées, le niveau de prévention d'accidents et la qualité des bateaux utilisés dans le transport. Par contre, avec le choix du niveau d'amendes, il ne peut pas affecter la décision des compagnies pétrolières d'effectuer le transport elles-mêmes ou par le biais de transporteurs. Cette décision dépend essentiellement de la probabilité que la compagnie pétrolière soit tenue co-responsable en cas d'accident du pétrolier d'un de ses transporteurs.

Il est toujours meilleur pour le gouvernement que les compagnies pétrolières ne se servent pas des transporteurs. C'est alors cette probabilité de co-responsabilité qu'un gouvernement devrait viser afin d'inciter un changement

dans l'intégration verticale du transport de pétrole. La réponse à la question que Brooks (2002) se posait – si le niveau d'amendes ou la probabilité de co-responsabilité ou les deux ensembles est le facteur déterminant dans la diminution de la sous-traitance – serait donc donnée.

Le modèle ne permet malheureusement pas l'analyse d'une politique de responsabilité par négligence ou une politique de réglementation, mais il nous semble que la responsabilité stricte est plus efficace dans la prévention d'accidents, quand la probabilité de co-responsabilité est assez élevée (ceci implique aussi l'identification de la compagnie pétrolière responsable, ce qui peut s'avérer difficile). Une comparaison de ces politiques ou d'une combinaison dans le cadre du transport maritime du pétrole avec des transporteurs à l'abri de poursuites pourrait être d'intérêt pour recherche future.

Annexe: Données statistiques

Annexe 1: Réserves de pétrole

RANK	COUNTRY	RESERVES IN MILLION TONNES	OPEC MEMBER
1	Saudi Arabia	35,700	Yes
2	Iraq	13,400	Yes
3	Kuwait	13,300	Yes
4	United Arab Emirates	12,700	Yes
5	Iran	12,000	Yes
6	Venezuela	9,300	Yes
7	Former USSR	7,800	
8	Mexico	7,100	
9	Libya	3,900	Yes
10	USA	3,700	
11	China	3,300	
12	Nigeria	2,800	Yes
13	Algeria	1,200	Yes
14	Norway	1,100	
15	Canada	900	
16	India	800	
17=	Indonesia	700	Yes
17=	Oman	700	
17=	Angola	700	
20=	Malaysia	600	
20=	United Kingdom	600	

Source: BP Statistical Review of World Energy, 1996.

Annexe 2: Consommation annuelle de pétrole

RANK	COUNTRY	MILLIONS OF TONNES CONSUMED
1	USA	806.8
2	Japan	267.3
3	Former USSR	214.7
4	China	157.5
5	Germany	135.1
6	Italy	94.9
7	South Korea	94.8
8	France	89
9	United Kingdom	81.7
10	Canada	80
11	India	72.5
12	Mexico	71.6
Total world consumption		3,226.90

Source: BP Statistical Review of World Energy, 1996.

Annexe 3: Montants maximaux de compensation disponibles sous les conventions
(en millions de dollars américains)

TANKER'S GROSS TONNAGE	1969 CLC	1992 CLC	1992 CLC (post-Nov 2003)	1992 FUND	1992 FUND (post-Nov 2003)
5,000	0.8	4.2	6.3	189.0	284.2
25,000	4.2	16.0	24.1	189.0	284.2
50,000	8.4	30.7	46.2	189.0	284.2
100,000	16.8	60.1	90.4	189.0	284.2
140,000	19.6	83.6	125.7	189.0	284.2

Source: International Tanker Owners Pollution Federation Limited

Annexe 4: Liste des symboles utilisés et leur définition

Symbole	Définition
x	Variable de choix du transporteur ou de la compagnie pétrolière concernant l'effort de précaution ; diminue la probabilité qu'un accident se produit.
b	Variable de choix de la compagnie pétrolière concernant la qualité des bateaux ; diminue l'envergure des dégâts dans le cas d'un accident, mais augmente aussi la perte pour le transporteur ou la compagnie pétrolière en cas d'accident.
v	Variable de choix de la compagnie pétrolière concernant le nombre de cargaisons effectués et du pétrole importé.
A	Variable de choix du gouvernement concernant le niveau d'amendes imposé par unité de pétrole versée lors d'un accident.
w	Rémunération du transporteur.
p	Constante qui détermine la probabilité d'un accident.
c	Constante qui détermine les coûts d'effort de précaution.
k	Constante qui détermine les coûts de la perte d'un pétrolier.
S	Constante qui détermine l'ampleur d'un accident.
\square	Constante qui détermine la fonction de prix.
\square	Constante qui détermine la fonction de prix.
\square	Constante qui détermine les dommages pour le gouvernement par unité de pétrole versée lors d'un accident.
ϕ	Constante qui détermine les bénéfices pour le gouvernement par unité de pétrole importée.
ϑ	$= \sqrt{pc\sqrt{Sk}}$

Références

- Beard, T.R.** (1990). "Bankruptcy and Care Choice". *RAND Journal of Economics* 21, 626-634
- Bolin, K.** (1999). "The Ownership of Funds and Systems for Reparation of Very Large Accidents". *Working Paper 1999:006*, Lund University Department of Economics
- Bradley, P.G.** (1974). "Marine Oil Spills: A Problem in Environmental Management". *Natural Resources Journal* 14, 337-59
- Brooks, R.R.W.** (2002). "Liability and Organizational Choice". *Journal of Law and Economics* 45, 91-125
- Burrows, P., Owen, D. et Rowley, C.** (1974) "The Economics of Accidental Oil Pollution by Tankers in Coastal Waters". *Journal of Public Economics* 3, 251-68
- Cohen, M.A.** (1986). "The Costs and Benefits of Oil Spill Prevention and Enforcement". *Journal of Environmental Economics and Management* 13, 167-88
- Cohen, M.A.** (1987). "Optimal Enforcement Strategy to Prevent Oil Spills: An Application of a Principal-Agent Model with Moral Hazard". *Journal of Law and Economics* 30, 23-51
- Conrad, J.M.** (1980). "Oil Spills: Policies for Prevention, Recovery, and Compensation". *Public Policy* 28, 143-70
- Cooter, R.D.** (1991). "Economic Theories of Legal Liability". *Journal of Economic Perspectives* 5, 11-30
- Dekel, E. et Scotchmer, S.** (1990). "Collusion through Insurance : Sharing the Cost of Oil Spill Cleanup". *The American Economic Review* 80, 249-52
- Epple, D. et Visscher, M.** (1984). "Environmental Pollution : Modelling Occurrence, Detection and Deterrence". *Journal of Law and Economics* 27, 29-60
- Feess, E. et Hege, U.** (2003). "Safety Monitoring, Capital Structure, and "Financial Responsibility"". *International Review of Law and Economics* 23, 323-339
- Hall, S.C. et Stammerjohann, W.W.** (1997). "Damage Awards and Earnings Management in the Oil Industry". *The Accounting Review* 72, 47-65

- Hartje, V.J.** (1984). "Oil Pollution Caused by Tanker Accidents: Liability Versus Regulation". *Natural Resources Journal* 24, 41-60
- Just, R. et Zilberman, D.** (1979). "Asymmetry of Taxes and Subsidies in Regulating Stochastic Mishap". *The Quarterly Journal of Economics* 93, 139-48
- Lewis, T.R.** (1996). "Protecting the Environment when Costs and Benefits are Privately Known". *RAND Journal of Economics* 27, 819-47
- Ogus, A.** (1999). "Three Essays on Accidental Oil Spills". *Doctoral dissertation*, Department of Economics, Boston College
- Pitchford, R.** (1995). "How Liable Should a Lender Be? The Case of Judgment-Proof Firms and Environmental Risk". *The American Economic Review* 85, 1171-1186
- Popp, A.H.E.** (2002). "Oil Spills – Who Pays for them and How Much?". www.spillcon.com/2002/Papers/final/Popp,A.pdf
- Posey, L.L.** (1993). "Limited Liability and Incentives when Firms Can Inflict Damages Greater than Net Worth". *International Review of Law and Economics* 13, 325-330
- Ralston, A.** (1979). "Pollution Liability and Insurance: An Application of Economic Theory". *The Journal of Risk and Insurance* 46, 497-513
- Sarin, R.K. et Scherer, C.R.** (1976). "Optimal Tanker Size with regard to Environmental Impact of Oil Spills". *Journal of Environmental Economics and Management* 3: 226-35
- Secrétariat du fonds de 1992** (2003). « Note explicative ». www.iopcfund.org/publications.htm
- Shavell, S.** (1984). "A Model of the Optimal Use of Liability and Safety Regulation". *RAND Journal of Economics* 15, 271-80
- Shavell, S.** (1986). "The Judgment Proof Problem". *International Review of Law and Economics* 6, 45-58