Règles de responsabilité optimales face aux risques et choix technologiques des firmes

Julien Jacob

▶ **To cite this version:**

Julien Jacob. Règles de responsabilité optimales face aux risques et choix technologiques des firmes. Economies et finances. Université Nancy 2, 2011. Français. NNT : 2011NAN20013 . tel-01749127

HAL Id: tel-01749127
https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01749127

Submitted on 29 Mar 2018

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

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

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Université Nancy II

Ecole Doctorale Sciences Juridiques, Politiques, Economiques et de Gestion

Faculté de Droit, Sciences Economiques et Gestion

REGLES DE RESPONSABILITE OPTIMALES FACE AUX RISQUES ET CHOIX TECHNOLOGIQUES DES FIRMES

THESE

pour l'obtention du Grade de

Docteur ès Sciences Economiques

Présentée et soutenue publiquement par :

Julien JACOB

Le 28 novembre 2011

À l'Université Nancy II

Membres du Jury :

M. Bruno DEFFAINS	Professeur, Université Paris 2 Panthéon-Assas, Rapporteur
Mme Meglena JELEVA	Professeur, Université Paris Ouest Nanterre La Défense, Rapporteur
M. Bernard SINCLAIR-DESGAGNE	Professeur, HEC Montréal (Canada)
Mme Sandrine SPAETER-LOEHRER	Professeur, Université de Strasbourg, Directeur de thèse

BETA REGLES, Université Nancy 2

13, place Carnot - C.O. n° 26 - 54035 NANCY CEDEX - France

LE CORPS ENSEIGNANT
de la Faculté de Droit, Sciences Economiques & Gestion
Année Universitaire 2011-2012

DOYEN — **M. Eric GERMAIN**

DOYENS HONORAIRES — MM. TALLON, GROSS, JAQUET, CRIQUI, CACHARD

PROFESSEURS ÉMÉRITES

M. VITU, Professeur de Droit Pénal
M. CHARPENTIER, Professeur de Droit Public
M. JAQUET, Professeur de Droit Public
M. COUDERT, Professeur d'Histoire du Droit
Mme GAY, Professeur d'Histoire du Droit
M. BORELLA, Professeur de Droit Public
Mme MARRAUD, Professeur de Droit Privé
M. GROSS Bernard, Professeur de Droit Privé
M. DUGAS DE LA BOISSONNY Christian, Professeur d'Histoire du Droit
M. Christian GOSSEREZ, Professeur de Droit Public

PROFESSEURS

M. RAY Jean-Claude	Professeur de Sciences Économiques
M. SEUROT François	Professeur de Sciences Économiques
M. SEUVIC Jean-François	Professeur de Droit Privé
M. MOUTON Jean-Denis	Professeur de Droit Public
M. JACQUOT François	Professeur de Droit Privé
M. CRIQUI Etienne	Professeur de Science Politique
M. BILLORET Jean-Louis	Professeur de Sciences Économiques
M. PIERRÉ-CAPS Stéphane	Professeur de Droit Public
M. GARTNER Fabrice	Professeur de Droit Public
M. EBOUE Chicot	Professeur de Sciences Economiques
M. MAZIAU Nicolas *(détachement)*	Professeur de Droit Public
M. DEREU Yves	Professeur de Droit Privé
M. BISMANS Francis	Professeur de Sciences Economiques
M. ASTAING Antoine	Professeur d'Histoire du Droit
M. STASIAK Frédéric	Professeur de Droit Privé
M. CACHARD Olivier	Professeur de Droit Privé
M. GRY Yves	Professeur de Droit Public
M. LAMBERT Thierry	Professeur de Droit Privé
M. HENRY Xavier	Professeur de Droit Privé
M. TAFFOREAU Patrick	Professeur de Droit Privé

M. PARENT Antoine	Professeur de Sciences Economiques
M. PERREAU-SAUSSINE Louis	Professeur de Droit Privé
Mme TUFFERY-ANDRIEU Jeanne-Marie	Professeur d'Histoire du Droit
M. PETIT Yves	Professeur de Droit Public
Mme GOLDIE-GENICON Charlotte	Professeur de Droit Privé
M. FOURMENT François	Professeur de Droit Privé
Mme PEGUERA POCH Marta	Professeur d'Histoire du Droit
M. LAFFAILLE Franck	Professeur de Droit Public
M. FARDET Christophe	Professeur de Droit Public
M. VAUTROT-SCHWARZ Charles	Professeur de Droit Public
M. FONTAINE François	Professeur de Sciences Economiques
M. GEA Frédéric	Professeur de Droit Privé

MAÎTRES DE CONFERENCES

M. BOURGAUX Claude	Maître de Conférences de Droit Privé
M. PELLISSIER Dominique	Maître de Conférences de Sciences Économiques
M. GERMAIN Eric	Maître de Conférences de Droit Public
M. LUISIN Bernard	Maître de Conférences de Droit Public
Mme MANSUY Francine	Maître de Conférences de Droit Privé
M. VENANDET Guy	Maître de Conférences de Droit Privé
Mme TILLEMENT Geneviève	Maître de Conférences de Droit Privé
Mme GANZER Annette	Maître de Conférences de Droit Privé
M. OLIVIER Laurent	Maître de Conférences de Science Politique
M. DIELLER Bernard	Maître de Conférences de Sciences Économiques
M. GUIGOU Jean-Daniel	Maître de Conférences de Sciences Économiques
M. GASSER Jean-Michel	Maître de Conférences de Droit Privé
M. AIMAR Thierry	Maître de Conférences de Sciences Economiques
Mme KUHN Nicole	Maître de Conférences de Droit Public
Mme DAVID-BALESTRIERO Véronique	Maître de Conférences de Droit Privé
Mme ETIENNOT Pascale	Maître de Conférences de Droit Privé
Mlle BARBIER Madeleine	Maître de Conférences d'Histoire du Droit
M. ANDOLFATTO Dominique	Maître de Conférences de Science Politique
Mme DEFFAINS Nathalie	Maître de Conférences de Droit Public
Mme SIERPINSKI Batyah	Maître de Conférences de Droit Public
M. MOINE André	Maître de Conférences de Droit Public
Mlle LEBEL Christine	Maître de Conférences de Droit Privé
Mlle LE GUELLAFF Florence	Maître de Conférences d'Histoire du Droit
M. EVRARD Sébastien	Maître de Conférences d'Histoire du Droit
M. FENOGLIO Philippe	Maître de Conférences de Sciences Economiques
Mme BOURREAU DUBOIS Cécile	Maître de Conférences de Sciences Economiques
Mlle GARDIN Alexia	Maître de Conférences de Droit Privé
M. KLOTGEN Paul	Maître de Conférences de Droit Privé
Mme DERDAELE Elodie	Maître de Conférences de Droit Public
M. DAMAS Nicolas	Maître de Conférences de Droit Privé
M. GICQUEL Jean-François	Maître de Conférences d'Histoire du Droit
Mme LELIEVRE Valérie	Maître de Conférences de Sciences Economiques
M. PREVOT Jean-Luc	Maître de Conférences de Sciences Economiques
Mme CHAUPAIN-GUILLOT Sabine	Maître de Conférences de Sciences Economiques
M. CHOPARD Bertrand	Maître de Conférences de Sciences Economiques
Mlle PIERRE Nathalie	Maître de Conférences de Droit Privé

M. PIERRARD Didier	Maître de Conférences de Droit Public
Mme HOUIN-BRESSAND Caroline	Maître de Conférences de Droit Privé
Mlle BLAIRON Katia	Maître de Conférences de Droit Public
M. FEREY Samuel	Maître de Conférences de Sciences Economiques
M. MULLER François	Maître de Conférences de Droit Public
Melle ABALLEA Armelle	Maître de Conférences de Droit Public
M. THIERRY Jean-Baptiste	Maître de Conférences de Droit Privé
Mlle DUBUY Mélanie	Maître de Conférences de Droit Public
Mme NAU Liliane	Maître de Conférences de Droit Privé
Mme SACHS Tatiana	Maître de Conférences de Droit Privé
Mme BOUGHANMI Afef	Maître de Conférences de Sciences Economiques
Mme HELSTROFFER Jenny	Maître de Conférences de Sciences Economiques
Mlle MARTI Gaëlle	Maître de Conférences de Droit Public
Mme MICHEL-CLUPOT Muriel	Maître de Conférences de Gestion
M. RESTOUT Romain	Maître de Conférences de Sciences Economiques

MAÎTRES DE CONFERENCES en langue anglaise

M. ECKERSLEY David

MAÎTRES DE CONFERENCES ASSOCIES

M. FERRY Frédéric	Maître de Conférences associé de Droit Privé
Mme MOUKHA Stéphanie	Maître de Conférences associé de Droit Privé
M. GAUDEL Pierre-Jean	Maître de Conférences associé de Droit Public
M. GUENOT Jacques	Maître de Conférences associé de Droit Privé
M. GREGOIRE Christian	Maître de Conférences associé de Sciences Economiques
M. CHRISTIENNE Jean-Philippe	Maître de Conférences associé de Droit Privé
M. LACHKAR Jean	Maître de Conférences associé de droit Public

ASSISTANTS - PRAG

M. LOVAT Bruno	PRAG de Mathématiques
Mme DIEHL Christel	PRAG d'Anglais
M. PERRIN Yves	PRAG d'Economie et Gestion

La faculté n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse : ces opinions doivent être considérées comme propres à son auteur.

A ma femme,

A ma soeur,

A mon grand-père

Résumé

L'analyse économique de la responsabilité civile s'est développée autour de l'idée que cet outil juridique peut ex ante fournir des incitations à prévenir les risques d'accident. En présence de risques technologiques de grande ampleur, cette littérature a notamment mis en avant les inefficiences du régime de responsabilité limitée. Voulant protéger les investisseurs pour faciliter l'afflux de capitaux nécessaires à l'émergence des activités modernes de production, ce régime peut fournir des incitations sous optimales à prévenir un risque dont le dommage n'est pas intégralement internalisé.

Dans le chapitre 1, nous dressons un état des lieux de cette littérature et mettons en évidence le fait qu'un rapprochement avec des analyses menées en économie de l'environnement est nécessaire. Un tel rapprochement, ouvrant l'analyse à la possibilité de changement technologique induit, a été amorcé dans un cadre de régulation d'émissions polluantes. Notre thèse montrera alors qu'un tel rapprochement est souhaitable et porteur de nouveaux résultats pour l'analyse économique de la prévention des risques technologiques de grande ampleur.

Le chapitre 2 montre que la possibilité de changement technologique permet de relativiser la portée des inefficiences de la responsabilité limitée. Nous mettons en avant le fait qu'un tel régime de responsabilité peut amener les firmes à procéder à du changement technologique permettant de réduire la probabilité d'accident et mieux internaliser le risque. En outre, l'instauration d'une taxe assise sur le niveau de production renforce l'efficience de ce régime.

Les chapitres 3 et 4 étendent l'analyse à la présence de risques imparfaitement connus, qui peut survenir en présence de nouvelles technologies. Nous comparons responsabilité limitée et illimitée, et montrons que cette dernière fournit davantage d'incitations à la recherche d'informations sur le risque tout en ayant le plus faible impact sur le choix technologique.

Enfin, le chapitre 5 aborde la thématique de l'innovation, lorsque le progrès technique peut modifier à la fois le coût de prévention et la probabilité d'accident. Nous montrons que le type d'innovation et le rôle du Régulateur sont essentiels : la règle de responsabilité sans faute est toujours préférable à la règle de négligence en présence d'un Régulateur conformiste, mais cette dernière peut être préférable en présence d'un Régulateur proactif si le progrès technique modifie essentiellement le coût de prévention.

Mots clés : responsabilité civile, risques technologiques, risques majeurs, changement technologique, innovation.

Abstract

The development of the economic analysis of liability was developed on the idea that this legal tool can ex ante provide incentives to prevent the risks of accident. In the context of large-scale technological risks prevention, this literature notably highlights the inefficiencies of the limited liability regime. This liability regime was implemented in order to build a protection, which encourages investors to provide massive capital inflows needed to start modern production capacities. But it can provide suboptimal incentives to prevent a risk of damage that is not fully internalized. In chapter 1, we draw a State of the Art of this literature and argue that a connection with the literature from environmental economics is necessary. Such a connection, that introduces the possibility of induced technological change into the analysis, was made in the context of effluents regulation. Our thesis will show that such a connection is also desirable for the economic analysis of large-scale technological risks prevention. Chapter 2 shows that allowing for technological change puts in perspective the inefficiencies of the limited liability regime. Indeed we highlight the fact that implementing such a regime can induce the firms to proceed to technological change, leading to a lower probability of accident and better risk internalization. Moreover, using a tax on the level of activity reinforce the efficiency of this liability regime. Chapters 3 and 4 extend the analysis to imperfectly known risks, which can be encountered when new technologies are introduced. We compare limited and unlimited liability regimes and show that the latter provide more incentives to search for more information about the imprecise risk, and it has the smoothest impact on technological choice. Finally, chapter 5 deals with innovation, when technological progress impacts both the cost of risk prevention and the probability of accident. We highlight that the nature of the innovation and the role of the Regulator are essential : in the presence of a "conformist" Regulator strict liability is always preferable to negligence, but negligence may be preferable in the presence of a "proactive" Regulator if the technological progress essentially impacts the cost of prevention.

Key words : liability, tort law, technological risks, major risks, technological change, innovation.

Remerciements

Ah les remerciements de thèse ! A bien des égards ils sont essentiels ! Bien entendu, on peut les voir comme l'ombre du drapeau à damier qui se profile après une tumultueuse et passionnante course de trois ans. Et comme tout bon thésard, j'ai déjà savouré cette image...
Mais ils restent avant tout l'instant unique où, après trois années hors du commun, on s'arrête quelques instants pour remercier tous ceux qui ont partagé ce beau projet avec nous, qui y ont contribué (chacun à leur manière), qui nous ont soutenu et, quelque part, qui nous ont permis de grandir.

Tout d'abord, ces remerciements me permettent d'exprimer ma plus profonde et sincère gratitude envers ma directrice de thèse, la Professeure Sandrine Spaeter-Loehrer. D'une part parce qu'elle m'a témoigné une confiance dont peu de personnes ont fait preuve auparavant à mon égard. D'autre part parce que son encadrement, mélange de liberté d'initiative et de précieux conseils et remarques, sa rigueur et son dynamisme m'ont fait progresser et grandir bien plus que ce que je n'aurais pu imaginer.
Ensuite mes remerciements vont aux membres du jury. En premier lieu à Monsieur le Professeur Bruno Deffains et Madame la Professeure Meglena Jeleva, qui m'ont tous deux fait l'immense honneur d'accepter d'évaluer mon travail. Je tiens également à remercier Monsieur le Professeur Bernard Sinclair-Desgagné qui a accepté de participer à mon jury. Je tiens sincérement à tous vous remercier par avance pour l'intérêt que vous portez à mon travail ainsi que pour tous les conseils, remarques et commentaires que vous me transmettrez, et qui continueront à me faire progresser.

Ces remerciements sont aussi pour moi l'occasion de remercier Messieurs les Professeurs Claude Fluet et Eric Langlais, ainsi que Raphaël Giraud pour leurs précieux conseils apportés à la lecture de certains de mes travaux.

Ensuite, je pense aux membres de mon laboratoire, le BETA, qui m'ont toujours témoigné leur sympathie, leurs encouragements, et ont toujours été la source de précieux conseils. Je tiens à remercier tout particulièrement Agnès Gramain pour m'avoir aidé et soutenu durant mes activités d'enseignement, et pour sa bonne humeur communicative. Je tiens aussi à remercier Samuel Ferey, lui aussi pour ses relectures attentives et ses

précieux conseils, Cécile Bourreau-Dubois, Bruno Jeandidier et Yannick Gabuthy.
La thèse, ce sont aussi les petites discussions du matin, en arrivant au labo, autour d'un bon café chaud. Je pense ainsi à Sylviane, à son sourire à toute épreuve et à son rire inoubliable qui sait réconforter tous les petits peines et tracas que l'on peut rencontrer durant ce périple. Je pense aussi, bien entendu, à Marc Hubert. Plus que de petites parenthèses, nos discussions ont été très précieuses tant sur les plans personnel que professionnel.
Je pense également aux "jeunes anciens", dont on ne saurait se tarir de leurs conseils et expériences. Je pense surtout à Olivier et Lydie qui, bien au-delà de leur rôle d'ainés bienveillants, me sont précieux pour leurs qualités humaines extraordinaires. Je pense aussi à Marielle et à Jenny : merci à toi aussi pour tes lectures attentives et tes conseils.
N'oublions pas non plus les "compagnons de galère" : Reynald et sa zenitude incomparable, Cécile, Oana, Zohra mais aussi Thierry, autre "pilier du labo" aux taquineries inégalables.

Je ne peux pas m'empêcher d'avoir une petite pensée à ceux qui ont fait naître la "vocation". Je pense ainsi à Myriam Doriat-Duban, qui a suscité chez moi l'intérêt pour l'économie publique, en licence, et m'a fait découvrir l'économie du risque et l'économie du droit, en master. Je pense aussi aux membres du Laboratoire d'Economie Forestière de Nancy, où j'ai effectué mon premier stage recherche en master ; et tout particulièrement à Serge Garcia qui a encadré mes premiers pas d'apprenti-chercheur.

Mes pensées se tournent ensuite vers ma famille, et plus particulièrement vers mes parents, qui m'ont soutenu dans ma volonté de faire des études longues, vers mon frère David, toujours le mot pour rire, et vers ma soeur, Sonia, dont la confiance, le sourire et le soutien ont toujours été pour moi une immense source de réconfort. Je pense également à mon cousin et ami Florent, dont la gentillesse et le courage m'ont toujours inspiré la plus grande admiration ; ton soutien indéfectible m'a beaucoup apporté aussi.
Enfin, je terminerai ces remerciements en pensant à la personne qui m'est la plus chère, ma femme Hélène. Ces quelques lignes ne sauraient exprimer tout ce que je te dois, notamment pour ta patience, les sacrifices consentis et ton soutien précieux tout au long de ce projet.

Sommaire

Introduction générale 14

Chapitre 1 - La responsabilité civile, outil initiateur d'une analyse économique de la prévention des risques 29

1 La genèse : comparaison de règles, inefficience d'un régime 31

2 Applicabilité de la responsabilité civile : des difficultés liées aux imperfections et imprécisions de l'information 48

3 La responsabilité, un moteur des innovations et du changement technologique 70

Chapitre 2 - Responsabilité et choix technologique en situation risquée 97

1 Introduction 98

2 Régimes de responsabilité et choix technologique des firmes 103

3 Inefficiences du régime de responsabilité limitée : la taxation comme palliatif ? 113

4 Discussion et conclusion 119

Chapitre 3 - Responsabilité en situation ambigüe : impact sur le choix technologique 123

1 Introduction 124

2 Un modèle de choix technologique en présence d'un risque *imprécis* 129

3 Régimes de responsabilité et définition des stratégies de choix technologique 135

4 Impact du régime de responsabilité sur le choix technologique : une analyse comparative 143

5 Discussion et Conclusion 153

Chapitre 4 - Responsabilité en situation ambigüe : incitations à rechercher davantage d'informations 158

1 Introduction 159

2 Analyse théorique des incitations à investir en recherche d'informations 161

3 Calculs numériques 172

4 Discussion et conclusion 191

Chapitre 5 - Responsabilité et innovation : à propos de l'importance de la nature de l'innovation et du rôle du Régulateur 196

1 Introduction 197

2 Un modèle d'innovation à double impact 200

3 Comportements en présence d'une règle de responsabilité sans faute 205

4 Efficience relative de la négligence et rôle du Régulateur 210

5 Discussion et Conclusion 219

Conclusion générale 223

Appendices 230

Appendice A 231

Appendice B 234

Appendice C **242**

Appendice D **245**

Appendice E **248**

Annexes 251

Annexe A **252**

Annexe B **259**

Références 270

Introduction générale

L'intérêt porté à la prévention des risques technologiques majeurs n'a cessé de se renforcer au cours des trente dernières années, au fil de l'occurrence de grandes catastrophes (Seveso (1976), Bhopal (1984), Tchernobyl (1986), AZF (2001), rupture d'un réservoir de l'usine d'aluminium d'Ajka (ouest de la Hongrie) le 4 octobre 2010, catastrophe nucléaire de Fukushima suite au séisme et au tsunami du 11 mars 2011). Les populations et autorités publiques ont progressivement pris conscience de la gravité des accidents pouvant résulter de l'exercice d'activités productives, amenant à un renforcement croissant des réglementations s'appliquant aux secteurs à hauts risques. En France, divers éléments témoignent de cette volonté : mise en place de la loi relative aux installations classées pour la protection de l'environnement en juillet 1976, loi relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages en juillet 2003, ou encore intégration du principe de précaution dans la Constitution française en février 2005.

La notion de risque majeur peut recouvrir plusieurs réalités distinctes selon la discipline scientifique concernée. Les sciences de la terre y voient l'occurrence d'un phénomène ou d'une conjonction de phénomènes (aléa) dont les effets sur l'environnement sont particulièrement dommageables (vulnérabilité). La science économique (tout en n'excluant pas la définition précédente) y voit plutôt un événement aléatoire et dommageable auquel sont associées de faibles probabilités d'occurrence et des conséquences de grande ampleur. Le risque majeur est source d'une *externalité négative* en ce sens que les victimes potentielles n'ont aucun moyen de contrôler l'activité qui en est la source. En outre, la science économique met particulièrement l'accent sur les difficultés pour couvrir de tels risques, à cause de la corrélation interindividuelle du risque qui limite la mutualisation [1] des risques. Au sein d'un portefeuille de risques indépendamment et identiquement distribués, le principe de mutualisation permet de garantir l'équilibre financier en instaurant une compensation entre pertes subies (en cas de réalisation de certains risques) et contributions versées par les agents source des risques supportés. Mais en présence d'une catastrophe naturelle ou industrielle touchant toute une population d'une même zone, la réalisation du risque relatif à un individu X habitant la zone

1. Un premier aperçu complet est donné dans l'article "Economie de l'assurance" de Pierre Picard dans l'*Encyclopaedia Universalis*, 2004. Pour un exposé plus précis, voir Gollier (2001), chapitre 7, section 21.

concernée est corrélée à la réalisation du risque relatif à un individu Y habitant la même zone : un grand nombre d'individus sont touchés par la réalisation du risque au même instant, ce qui met à mal le principe de mutualisation (du moins à un niveau trop local). Au sein des risques majeurs, les risques technologiques recensent les risques provenant de l'exercice d'activités humaines (notamment d'activités de production) : il est possible d'influer sur le niveau de risque via l'application de mesures de prévention, permettant de réduire la probabilité d'occurrence, et/ou via l'application de mesures d'auto-assurance, visant à réduire l'ampleur du dommage potentiel. Dans notre analyse, nous étudierons les deux cas de figure. Dans le cadre de risques liés à des procédés de production, ceci peut se traduire par la mise en place de protocoles et/ou dispositifs de sécurité tels que des disjoncteurs (prévention) ou des systèmes anti-incendie (auto-assurance). En outre, au-delà de l'application de telles mesures, un changement technologique (par exemple pour des technologies plus fiables) peut aider à prévenir un risque d'accident.

Comme le soulignent Sinclair-Desgagné & Vachon (2000), les problèmes fondamentaux en matière de gestion des risques technologiques majeurs peuvent être regroupés en trois thématiques : l'évaluation des risques, le partage optimal du risque, et les moyens de le contrôler. L'évaluation des risque pose la question de leur perception (par les firmes, les autorités publiques et la population), et fait référence aux difficultés liées à la définition d'éventuels seuils de tolérance ou d'acceptabilité. Dans cette thèse nous ne traiterons pas ces thématiques, et les activités à risque que nous considérons seront toujours supposées socialement souhaitables. En revanche nous focaliserons notre étude sur la prévention du risque à l'aide d'un outil (juridique) particulier, la *responsabilité civile* : en définissant *ex ante* le partage *ex post* des coûts liés à un dommage, cet outil permet de fournir des incitations aux agents à prévenir le risque dont leur activité est source.

Dans une large acception, la responsabilité civile peut être définie comme une règle de droit par laquelle une personne, physique ou morale, a pour obligation légale de réparer le dommage qu'elle a causé à autrui du fait de l'exercice de son activité. L'établissement de la responsabilité nécessite alors la réunion de trois éléments : un fait générateur, un préjudice, et un lien de causalité entre ces deux premiers éléments. Dans

un contexte de risques technologiques, le fait générateur est l'activité du prévenu (que nous considérerons toujours comme étant une firme), et le préjudice est le dommage causé. Concernant le lien de causalité entre l'activité de la firme et le dommage subi par la victime, notre analyse posera (implicitement) comme hypothèse que ce lien est toujours établi. Ainsi, dans le cadre de notre étude, la responsabilité civile peut contraindre une firme ayant causé des dommages du fait de son activité à réparer ces derniers. Nous dirons que la firme subit un coût en réparation, ce terme pouvant regrouper deux réalités : d'une part la réparation en nature (par exemple la firme doit financer la remise en état d'un site sinistré), et d'autre part la réparation pécuniaire sous forme de versement de dommages-intérêts aux victimes. Bien que ce dernier cas de figure soit le plus courant [2], nous utiliserons néanmoins la terminologie plus générique de "réparation". Par conséquent, la responsabilité civile permet de valoriser aux yeux de la firme les dommages qu'elle a causés à un environnement qui lui est externe. L'analyse économique de la responsabilité civile permet d'en déduire un mécanisme d'*internalisation* du coût du risque, incitant ainsi la firme concernée à le réguler par ses propres moyens.

L'analyse économique de la prévention des risques à l'aide de la responsabilité civile s'est développée suite aux travaux de Calabresi (1970). Ce champ de l'analyse économique étudie le rôle que peut jouer cet outil juridique dans la prévention des activités à risques, via les incitations exercées *ex ante* par le *dispositif de réparation* des dommages causés *ex post*. Ce dispositif de réparation n'est pas unique, et dépend de la *règle de responsabilité* qui est employée. Ainsi, plusieurs règles de responsabilités sont distinguées, dont les deux suivantes : la *règle de responsabilité sans faute* (ou *stricte*), qui oblige toute firme à réparer tout dommage du fait de son activité, quelle que soit l'attitude de la firme avant et au moment de l'accident ; et la *règle de négligence* (ou *règle de responsabilité pour faute*), qui conditionne l'obligation de réparation à la démonstration préalable que la firme ayant causé le dommage ait été *négligente* à l'égard d'un standard minimal de prévention (défini antérieurement par un Régulateur) qu'il convient d'adopter.

Cette littérature étudie un large éventail de situations, allant de la responsabilité contractuelle (dans le cadre, par exemple, de relations entre un vendeur et un client à propos des risques d'accidents liés à l'utilisation du produit vendu - responsabilité liée au

2. La littérature anglophone en analyse économique de la responsabilité civile utilise le terme de *damages*, pouvant être traduit par dommages-intérêts.

"risque-produit") à la prévention des accidents de la circulation. A chaque situation correspond un cadre analytique propre, qui n'est pas nécessairement transposable à l'étude d'une autre situation où intervient également la responsabilité civile. Ainsi, par exemple, les accidents de la route sont des situations de risques dits *bilatéraux* dans la mesure où les deux parties impliquées (par exemple un automobiliste et un piéton) peuvent agir sur le niveau de risque en exerçant des mesures de prévention (limiter sa vitesse pour l'un, regarder avant de traverser la chaussée pour l'autre). De même, l'analyse de la responsabilité dans le cadre de risques-produit suppose une relation contractuelle entre les deux parties, cette interaction pouvant être source d'incitations particulières : dans le cadre d'une relation entre un vendeur et des acheteurs-consommateurs, la menace de rétorsions de la part de ces derniers peut fournir des incitations au premier à fournir des efforts importants en prévention (voir par exemple Baumann *et al.* (2011)). Les deux cadres d'analyse que nous venons de citer ne sont pas applicables à notre étude, bien qu'utilisant tous deux la responsabilité civile. Dans le cadre de l'analyse de la prévention de risques technnologiques de grande ampleur, d'une part la firme et les victimes ne sont pas liées par une relation contractuelle et, d'autre part, les victimes ne peuvent agir sur le niveau de risque encouru : on dit alors que le risque est *unilatéral* (seule la firme source du risque peut en réguler le niveau).

Dans le cadre de cette thèse, nous analyserons la responsabilité civile comme un outil, à disposition de régulateurs publics, utilisé dans le cadre d'une politique visant à encourager la prévention des risques technologiques. En Europe comme aux Etats-Unis, la responsabilité civile fait déjà partie intégrante de telles politiques publiques. Aux Etats-Unis, la loi CERCLA (*Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act*), instaurée en 1980, met en place une règle de responsabilité sans faute dans le cadre de dommages liés à des pollutions industrielles. En France, le projet de loi relatif à la responsabilité environnementale, suivant la directive européenne 2004/35/CE du 21 avril 2004, a été définitivement adopté par le Sénat le 10 juillet 2008. Mais en présence de risques technologiques de grande ampleur (ou majeurs), cet outil peut faire preuve d'inefficiences, tout particulièrement lorsqu'un *régime de responsabilité limitée* est en vigueur. La notion de *régime* de responsabilité fait référence à *l'étendue* de l'obligation de réparation des dommages causés. Ainsi, un régime de responsabilité *illimitée* oblige toute firme reconnue responsable d'un dommage à le réparer intégrale-

ment, quelle que soit l'ampleur du dommage causé. Par conséquent, lorsque la valeur du dommage excède la valeur de l'ensemble des actifs liquidables de la firme (valeur que nous appellerons *valeur liquidative* par la suite), la réparation du dommage suit deux étapes : en premier lieu la firme est liquidée de façon à lever des fonds pour dédommager les victimes puis, alors que les fonds ainsi collectés se révèlent insuffisants pour compenser l'intégralité du dommage subi, le patrimoine personnel des détenteurs de parts sociales de la firme (nous les appellerons actionnaires) est mis à contribution. Ainsi, patrimoine de la firme et patrimoines personnels des actionnaires sont confondus, l'ensemble étant mis à contribution pour réparer l'intégralité du dommage causé. Bien entendu, cet ensemble peut se révéler insuffisant en cas de dommages d'une ampleur exceptionnelle (comme en cas de catastrophes nucléaires par exemple (Faure (1995), Schmitt & Spaeter (2007))), mais nous supposerons dans notre analyse que cette assiette se révèle suffisante pour couvrir l'intégralité des dommages causés. Depuis le 19e siècle, un autre type de régime de responsabilité s'est répandu, pour devenir dominant [3] aujourd'hui : le régime de responsabilité *limitée*. Contrairement au précédent, ce régime instaure une séparation entre patrimoine de la firme d'une part, et patrimoines personnels des actionnaires d'autre part. Ainsi, en cas de dommages d'une ampleur supérieure à la valeur liquidative de la firme, la firme est liquidée pour réparer les dommages, mais *pas plus*. Autrement dit, les actionnaires n'ont aucune obligation légale de puiser dans leur patrimoine personnel pour réparer le montant des dommages non couvert par la liquidation de la firme : une part des dommages reste non réparée, à la charge des victimes ou de la Société. Ce régime de responsabilité, protégeant le patrimoine personnel des actionnaires en cas de faillite de la firme, a été conçu pour favoriser l'afflux massif de capitaux nécessaire à l'émergence des activités nouvelles de production industrielle. Cependant cette protection légale, qui externalise une part du coût du risque au reste de la Société, est remise en cause par certains juristes et économistes (voir notamment Halpern *et al.* (1980), Leebron (1991), Summers (1983), Shavell (1986)) qui mettent en avant le fait qu'elle incite les agents économiques à s'engager dans des activités pouvant être socialement indésirables et/ou qu'elle fournit des incitations socialement insuffisantes à

3. Par exemple, en France, ce régime caractérise notamment les entreprises ayant un statut de SARL ou de SA. Les entreprises encore soumises à un régime de responsabilité illimitée sont essentiellement des entreprises unipersonnelles. Mais là encore, en 1985 a été créé le statut d'EURL (entreprise unipersonnelle à responsabilité limitée), offrant la possibilité à ce type d'entreprises de bénéficier d'un régime de responsabilité limitée.

prévenir le risque d'accident ; certains économistes ayant mis en avant que le fait que cette "insolvabilité protectrice" pouvait être un choix de la part de certaines firmes (voir notamment Dari-Mattiacci & De Geest (2005) et Friehe (2007), présentés dans le chapitre 1). Ce régime de responsabilité est ainsi jugé inefficient (dans la prévention du risque) et inéquitable (dans sa réparation). Face à cela, certains juristes (notamment Leebron (1991), Hansmann & Kraakman (1991)) ont plaidé pour la réintroduction du régime de responsabilité illimitée en lieu et place du régime de responsabilité limitée ; ce régime permettant, par définition, de faire internaliser aux firmes l'intégralité du risque qu'elles font supporter à la Société. Néanmoins cette proposition fait débat (Easterbrook & Fischel (1985), Grundfest (1992), Alexander (1992)) dans la mesure où il serait très difficile et coûteux, d'un point de vue procédurier, de remettre en cause le régime de responsabilité limitée.

L'analyse économique de la responsabilité civile a alors cherché d'autres moyens pour pallier ces inefficiences du régime de responsabilité limitée (en présence d'insolvabilité potentielle de la firme source du risque). Shavell (1986) a d'abord montré que l'application d'une règle de négligence peut fournir davantage d'incitations à fournir un effort optimal de prévention. Mais lorsque la firme se conforme au standard de prévention, l'exemption de responsabilité laisse l'intégralité du montant des dommages à la charge des victimes. Comme nous le verrons aussi dans le chapitre 1, des mécanismes d'*extension* de la responsabilité aux partenaires des firmes ont été envisagés (voir Deffains (2001), Deffains (2000)), et notamment à leurs créanciers (voir Pitchford (1995), Boyer & Laffont (1997), Dionne & Spaeter (2003)). De tels mécanismes ont même été appliqués aux Etats-Unis, dans le cadre de la loi CERCLA. Leur mise en place est motivée par le fait que ces partenaires peuvent inciter les firmes sources de risque à mieux le prévenir afin d'éviter des coûts en réparation (meilleure efficience dans la prévention), et que ces partenaires permettent d'élargir l'assiette des actifs disponibles pour la réparation des dommages (plus d'équité). Cependant, ces mécanismes sont eux aussi soumis à des inefficiences. D'une part, la présence d'asymétries informationnelles existant entre les firmes et leurs partenaires met à mal le contrôle de ces derniers sur ces premières. D'autre part, une responsabilité trop étendue aux partenaires financiers peut entraîner un "boycott" de ceux-ci, refusant de financer des activités qui sont pourtant socialement souhaitables : un tel phénomène a eu lieu aux Etats-Unis suite à l'application de la loi CERCLA qui

prévoyait initialement une responsabilité totalement étendue aux créanciers des firmes responsables de dommages environnementaux. Des secteurs entiers de l'industrie américaine, considérés "trop" risqués (comme l'industrie chimique par exemple), ont alors fait face à des difficultés de financement : la loi CERCLA a dû être amendée en 1996 pour restaurer une protection partielle des créanciers, et restreindre l'extension de responsabilité aux seuls partenaires impliqués dans la gestion active de la firme.

Cependant, comme le mettent en avant Endres & Bertram (2006) (et d'autres analyses ultérieures : Endres *et al.* (2007), Endres *et al.* (2008), Endres & Friehe (2011)), les études habituellement menées en analyse économique de la responsabilité civile le sont dans un cadre qui pourrait être qualifié de "*mono-technologique*". Ainsi, dans un contexte de prévention de risques technologiques, ces études mettent généralement en avant une firme qui doit chercher un niveau de prévention optimal (pour elle) de sorte à minimiser la somme du coût en prévention et du coût espéré en réparation, sous l'influence du cadre légal. Toutefois, l'évolution du coût en prévention et du coût espéré en réparation avec le niveau de prévention adopté suit des fonctions *données*. Ainsi, ces études laissent de côté la possibilité de procéder à un changement technologique, se traduisant par de nouvelles fonctions plus efficaces qui permettent, à niveau de prévention donné, de réduire davantage le niveau de risque et/ou de le prévenir à moindre coût. *A fortiori*, ces études négligent le rôle que peut jouer la responsabilité civile en termes d'incitation à adopter ou à développer de nouvelles technologies de prévention plus efficaces. Or, comme nous allons le montrer dans cette thèse, la prise en compte d'une telle possibilité permet de mettre en perspective certaines conclusions avancées par cette littérature. Comme l'a proposé Alfred Endres, un rapprochement entre l'analyse économique de la responsabilité civile et certaines études issues du champ de l'économie de l'environnement est alors souhaitable.

Essentiellement à partir des années 1980 et 1990, une branche de l'économie de l'environnement s'est penchée sur la question des incitations optimales à développer et à diffuser des technologies de dépollution plus efficaces, suivant en cela les affirmations de Kneese et Schultze (voir Kneese & Schultze (1975), p 38) qui mettent en avant l'importance du progrès technologique pour concilier poursuite du progrès économique et

conservation du patrimoine naturel. Ces études [4] ont ainsi cherché, dans divers contextes, la combinaison et/ou la configuration optimale d'instruments de politique environnementale (comme la taxation des émissions polluantes, les subventions à la dépollution, les normes de pollution, les permis d'émission négociables,...) en vue d'atteindre un double objectif, en termes de régulation des quantités de polluants émis (à technologie donnée) d'une part, et en termes d'incitation à développer et/ou à adopter des technologies "plus vertes" d'autre part. Cette littérature traite ainsi de problèmes de régulation d'externalités, mais aussi de problèmes d'innovation et de diffusion technologique. Cependant cette littérature considère le cadre légal comme étant donné [5], alors que la responsabilité civile peut, également dans ce cadre de régulation d'émissions polluantes, fournir des incitations à réduire les émissions et à procéder à un changement technologique. C'est en ce sens qu'Alfred Endres et co-auteurs ont amorcé un rapprochement entre ces deux littératures, permettant à la fois d'agrandir la palette d'outils à disposition du Régulateur en matière de politique environnementale, mais aussi de considérer l'efficience relative des différentes règles de responsabilité dans une optique plus large, incluant régulation d'une externalité de production et incitations à procéder à un changement technologique. Considérant cette double optique, lorsque la firme a la possibilité d'investir dans un processus de recherche et développement (R&D) permettant de mettre au point une technologie de prévention du risque (ou de réduction des émissions polluantes) moins coûteuse, Endres *et al.* (2008) montrent que la règle de négligence peut être préférée à la règle de responsabilité sans faute, tant en termes d'effort de prévention fourni qu'en termes d'investissement effectué en R&D. Après Shavell (1986) en présence de firmes insolvables bénéficiant d'un régime de responsabilité limitée, Endres *et al.* (2008) fournissent, grâce à cette dimension supplémentaire, un nouvel argument en faveur de la règle de négligence.

Néanmoins, les travaux menés par Alfred Endres et co-auteurs laissent de côté certaines particularités importantes de l'analyse des risques technologiques de grande ampleur, voire sont inadaptés à cette analyse.

Ainsi, Endres & Friehe (2011) étudient le rôle des règles de responsabilité civile en termes d'incitation à diffuser une technologie d'abattement des émissions polluantes moins coû-

4. Parmi les "classiques" nous pouvons citer Downing & White (1986) et Milliman & Prince (1989).

5. Une exception notable est White & Wittman (1983) qui compare quotas d'émissions, taxe pigouvienne et règles de responsabilité en termes d'incitations à réduire les émissions polluantes. Cependant cette étude est menée dans un cadre statique, sans possibilité de changement technique.

teuse. Cependant cette analyse est menée dans un contexte de pollution diffuse (*non-point source pollution*), c'est-à-dire dans un contexte où plusieurs firmes participent à la constitution d'une pollution globale, sans que l'on puisse déterminer la contribution de chacune dans cette pollution : la part de responsabilité de chaque firme est arbitrairement établie. Dès lors, la décision d'une firme (en termes de réduction des émissions) a un impact sur le dommage commun et, donc, sur la responsabilité incombant à l'autre firme. La prise en compte d'une telle interaction est incompatible avec l'étude de risques technologiques, où seule une firme peut influer sur l'ampleur du risque dont elle est l'unique source [6].

D'autre part, des travaux comme Endres & Bertram (2006) ou Endres *et al.* (2008) sont applicables à l'étude des risques technologiques, mais laissent de côté des questions importantes. En présence de risque de grande ampleur, entraînant l'insolvabilité des firmes en cas d'accident, nous avons précédemment mis l'accent sur les inefficiences du régime de responsabilité limitée en termes de prévention optimale du risque. Or, ces travaux laissent de côté cette problématique, en supposant que la firme source du risque est toujours suffisamment solvable pour réparer l'intégralité des dommages causés.

Enfin, bien que traitant de l'introduction de technologies nouvelles, nous pouvons remarquer que les travaux de Alfred Endres et co-auteurs laissent de côté une question importante de l'analyse des secteurs à risques : la présence de risques imparfaitement connus. Comme nous le verrons dans cette thèse, l'introduction de nouvelles technologies de production peut être source d'*ambiguïté*, notamment en présence de technologies radicalement nouvelles. Actuellement, l'émergence des nanotechnologies fait l'objet de controverses, surtout dans le domaine de la pharmacologie. L'usage de nanoparticules suscite ainsi d'importants espoirs dans le traitement de certaines maladies dégénératives, en permettant de livrer des médicaments dans des parties jusqu'alors inaccessibles du cerveau. Mais cette possibilité est également source de craintes : la petitesse de ces particules, capables d'altérer la composition des cellules, pourrait être source d'importants dommages. Ellsberg (1961) définit l'ambiguïté comme une situation dans laquelle les probabilités ne sont pas parfaitement connues mais le décideur peut avoir une "idée" les concernant grâce à quelques éléments d'information. Dans cette thèse nous traiterons

6. Dans un cadre plus complexe, la pollution commune pourrait être source d'un risque sanitaire (au-delà d'un certain seuil de concentration de polluants dans l'environnement). Ceci ouvrirait l'analyse à la responsabilité multiple, qui n'est pas l'objet de cette thèse.

d'une situation de *risque imprécis* au sens de Jaffray (1989a) pour étudier une situation dans laquelle l'introduction d'une nouvelle technologie de production est source de controverses, de sorte que sa probabilité d'accident est comprise dans un intervalle de probabilités objectives, reconnues par tous. Toutefois, cette représentation s'applique à notre situation (controverse autour de la nature d'un risque) alors que l'ambiguïté peut, par exemple, résulter d'un manque de confiance en une unique probabilité d'accident (voir, par exemple, Teitelbaum (2007). Une revue de littérature des modélisations de situations ambigües est fournie par Etner *et al.* (2011)).

Notre thèse montrera que la double optique proposée par Alfred Endres et co-auteurs, mêlant prévention et innovation, peut amener à une nouvelle mise en perspective des résultats relatifs aux inefficiences du régime de responsabilité limitée. Ainsi, en incluant la possibilité d'adopter une technologie nouvelle, notre étude met en avant le fait que le régime de responsabilité limitée peut conduire une firme, potentiellement insolvable en cas d'accident, à adopter une technologie caractérisée par une probabilité d'accident plus faible tout en réduisant le dommage potentiel de sorte à internaliser totalement le risque émis. Nous verrons qu'un tel résultat doit s'analyser à la lueur de contributions telles que celle de Dari-Mattiacci & De Geest (2005) qui montre, dans un contexte excluant toute possibilité de changement technologique, qu'une firme n'ayant pas intérêt à internaliser totalement le risque n'a aucune incitation à adopter des mesures visant à réduire l'ampleur du dommage potentiel.
De plus, nous soulignerons le fait qu'associer au système de responsabilité civile des outils habituellement utilisés dans un cadre de régulation des émissions polluantes peut renforcer l'efficacité de ce premier en matière de prévention et de réparation des dommages. Ainsi, nous montrons qu'associer la responsabilité civile à une taxation du niveau de production permet, en présence d'un régime de responsabilité limitée, de renforcer l'incitation à adopter une nouvelle technologie plus sécuritaire (probabilité d'accident plus faible) et d'accroître l'incitation à réduire le dommage potentiel, de sorte à internaliser totalement le risque. La possibilité de changement technologique, alliée à une politique de taxation, permet ainsi d'accroître l'efficacité (diminution de la probabilité d'accident) et améliore l'équité (réparation intégrale des dommages plus fréquente) du régime de responsabilité limitée.

Ainsi, l'analyse menée dans cette thèse propose de poursuivre le rapprochement engagé entre l'analyse économique de la responsabilité civile et les contributions issues de l'analyse économique de la régulation des émissions polluantes. Nous proposons alors d'élargir les analyses habituellement menées en économie de la responsabilité à la possibilité de changement technologique, via l'adoption de technologies nouvelles voire la mise au point de technologies permettant de réguler le niveau de risque plus efficacement. Cependant, nous entendons spécifiquement axer notre analyse sur la question de la prévention des risques technologiques majeurs, notamment en tenant compte de spécificités inhérentes à cette question, comme la possibilité d'internalisation partielle du risque en raison de l'insolvabilité des firmes en cas d'accident. Dans cette perspective, notre analyse s'articulera autour de cinq chapitres.

Dans un premier chapitre nous procédons à une présentation plus détaillée des deux littératures (analyse économique de la responsabilité civile et analyse économique de la régulation des émissions polluantes), afin d'identifier les problématiques abordées ainsi que certaines de leurs limites. Nous y ancrons davantage notre problématique en montrant en quoi un rapprochement entre ces deux littératures, permettant d'ouvrir l'analyse économique de la responsabilité civile à des possibilités de changement technologique, est souhaitable.

Dans le deuxième chapitre, nous montrons que la prise en compte dans l'analyse économique de la prévention des risques de la possibilité de changement technologique peut remettre en perspective l'inefficience relative du régime de responsabilité civile dans l'encadrement des activités à hauts risques. Pour ce faire nous proposons un modèle dans lequel une firme, en présence d'une règle de responsabilité sans faute, fait face à un risque d'accident dont l'ampleur est proportionnelle au niveau d'activité. La firme doit effectuer un choix entre deux technologies, dont une nouvelle caractérisée par une probabilité d'accident plus faible. En outre, une telle modélisation laisse à la firme le choix d'internaliser tout ou partie du risque lorsqu'un régime de responsabilité limitée est en vigueur. Ainsi, nous comparons responsabilité illimitée et responsabilité limitée en termes de capacité à promouvoir le changement technologique (vers la nouvelle technologie sécuritaire) et l'internalisation totale du risque. Bien que le régime de responsabilité

illimitée soit plus incitatif au changement technologique, nous montrons que l'efficience relative du régime de responsabilité limitée est renforcée lorsque ce dernier est combiné à une politique de taxation du niveau de production : l'incitation au changement technologique est accrue, et l'internalisation totale du risque est plus vraisemblable.

Les troisième et quatrième chapitres étendent l'analyse à la prise en compte de risques imparfaitement connus, dont la présence peut survenir lors de l'introduction de nouvelles technologies. Tout comme dans le chapitre 2, nous supposons une firme, soumise à une règle de responsabilité sans faute, devant effectuer un choix entre deux technologies de production, ayant des caractéristiques différentes sur les plans productifs et préventifs. La firme, initialement dotée d'une technologie parfaitement éprouvée, a la possibilité d'adopter une nouvelle technologie dont le risque d'accident est imparfaitement connu, situé dans un intervalle de probabilités : la nouvelle technologie peut être plus sécuritaire ou plus dangereuse que la technologie historique. Néanmoins, avant d'effectuer son choix technique, la firme a la possibilité d'investir dans un processus de recherche d'informations en vue de réduire l'incertitude quant au risque inhérent à cette nouvelle technologie. A l'aide d'une modélisation inspirée des travaux de Jean-Yves Jaffray (Jaffray (1989a)), tenant compte à la fois des préférences de la firme à l'égard du risque et à l'égard de l'ambiguïté, notre chapitre 3 analyse le comportement de la firme en matière de choix technologique, selon son degré d'optimisme/pessimisme face à l'ambiguïté et selon l'information dont elle dispose. Tout comme dans le chapitre 2, nous comparons les incitations fournies par deux régimes de responsabilité civile : responsabilité limitée et responsabilité illimitée. Nous montrons alors que le régime de responsabilité limitée (relativement au régime de responsabilité illimitée) favorise l'adoption de la technologie procurant le revenu d'activité le plus important, quelle que soit l'information à disposition de la firme.

Ensuite, le chapitre 4 propose de poursuivre l'analyse en étudiant la décision de la firme en matière de recherche d'informations supplémentaires sur le risque imparfaitement connu. Nous cherchons à déterminer l'investissement maximal qu'une firme est prête à allouer à la recherche d'informations (en diverses situations), avant d'effectuer tout choix technologique, selon le régime de responsabilité civile en vigueur. En d'autres termes, nous cherchons quel est le régime de responsabilité civile qui fournit le plus d'incitations à adopter une attitude précautionneuse : promouvoir la recherche d'informations

supplémentaires sur un risque imparfaitement connu peut en effet être une question essentielle dans le cadre d'une application du Principe de Précaution. Pour cela, nous aurons recours à l'utilisation de calculs numériques en calibrant les paramètres de notre modèle sur des données issues de l'industrie chimique européenne. Nous montrons que le régime de responsabilité illimitée, comparativement au régime de responsabilité limitée, peut fournir des incitations plus importantes à investir dans un processus de recherche d'informations si le montant du dommage potentiel est suffisamment élevé.

Enfin, après avoir analysé le changement technologique, le cinquième et dernier chapitre entend aborder la thématique de l'innovation. A cet égard, la méthodologie de notre étude s'inspire de celle adoptée par Fischer *et al.* (2003) et de l'esprit des travaux de Endres *et al.* (2008). Nous considérons ainsi une industrie abritant une firme ayant capacité d'innovation (i.e. possibilité d'investir en R&D pour mettre au point une technologie de prévention du risque plus efficace) et une firme n'ayant pas une telle capacité. Alors que l'innovation proposée par Endres *et al.* (2008) consiste uniquement en une efficacité plus grande en termes de moindre coût de prévention du risque (à niveau de prévention donné), notre analyse propose une innovation dite à "double impact" en ce sens qu'elle permet à la fois de réduire le coût de prévention ("efficacité-coût"), mais aussi d'améliorer l'efficacité des mesures de prévention dans leur capacité à réduire le niveau de risque ("efficacité-sécuritaire"). En déposant un brevet, nous considérons que la firme innovante a la possibilité de vendre sa technologie sous licence à l'autre firme, mais cette dernière est capable d'imiter imparfaitement l'innovation. Restant en cela proche de Endres *et al.* (2008) nous comparons, en présence d'un régime de responsabilité illimitée, l'impact de la règle de responsabilité sans faute et de la règle de négligence en termes d'incitations à investir en R&D et en termes de capacité à prévenir le risque. Nous montrons que le classement des règles de responsabilité à l'égard de ces deux critères dépend essentiellement du type d'innovation pouvant être produite et du comportement du Régulateur.

Notre analyse montre ainsi que les inefficiences liées à l'instauration d'un régime de responsabilité limitée peuvent être atténuées, en présence de situations risquées, lorsque l'on considère la possibilité de changement technologique et l'application de politiques hybrides (responsabilité et taxation) si les firmes sont suffisamment capitalisées.

Néanmoins, en présence de firmes faiblement capitalisées ou de situations ambigües, de nouvelles difficultés apparaissent et l'instauration de ce régime est à nouveau mise en question : la responsabilité doit alors être accompagnée de dispositifs complémentaires, notamment en présence de situations ambigües où même l'application d'un régime de responsabilité illimitée peut se révéler insuffisant pour inciter les firmes à adopter des comportements *précautionneux*. En présence d'une situation risquée, responsabilité sans faute et règle de négligence ne peuvent fournir des incitations optimales à l'innovation. Néanmoins, lorsque le progrès technologique altère essentiellement le coût de prévention du risque, la règle de négligence peut être préférée lorsque le Régulateur tient compte des effets de la fixation du standard de prévention sur l'incitation à innover. Néanmoins, cette première analyse exclut un certains nombre de coûts liés à la mise en oeuvre d'une telle règle de responsabilité, comme les coûts informationnels et (surtout) les coûts sociaux relatifs à l'allocation (potentiellement aux victimes) du coût des dommages subis.

Chapitre 1

La responsabilité civile, outil initiateur d'une analyse économique de la prévention des risques

Comme nous l'avons vu en introduction générale, l'analyse économique de la responsabilité civile est née de la volonté d'analyser et d'utiliser la responsabilité civile comme un outil de prévention des risques attachés à l'exercice de certaines activités. Au-delà de l'organisation de la répartition des coûts des dommages causés, *ex post*, ce champ de l'économie publique s'intéresse aux incitations exercées *ex ante* par cette répartition des coûts, en termes de mise en oeuvre de mesures visant à prévenir le risque d'accident.
Dans une première section, nous analyserons d'abord les premières contributions de ce champ qui ont fourni des études comparatives des différentes règles de responsabilité civile en information parfaite. Nous montrerons ensuite que certaines analyses ont rapidement révélé que l'application d'un régime de responsabilité limitée peut être source d'incitations sous optimales à prévenir les risques. Nous verrons que ce constat, particulièrement important étant donné la large diffusion des régimes limitant ou plafonnant la responsabilité depuis le 19e siècle, est la source,aujourd'hui encore, de controverses et d'un grand nombre de contributions de cette littérature.
Alors que ces premières analyses ont été menées dans un cadre d'information parfaite entre les différents acteurs, la deuxième section analysera des contributions qui ont mis en avant d'autres inefficiences, liées à la présence d'asymétries d'information entre différents acteurs. Ainsi, nous montrerons d'abord que la présence d'une asymétrie d'information entre les firmes à risque et leur(s) créancier(s) limite la portée d'une mesure visant à pallier les inefficiences liées à l'application d'un régime de responsabilité limitée, à savoir l'extension de responsabilité aux agents partenaires. Nous analyserons ensuite certaines contributions pointant les conséquences, sur l'application et la définition des règles de responsabilité, de la présence d'asymétries informationnelles entre Régulateur, Tribunaux et firmes, ainsi que de la présence de risques imparfaitement connus.
Enfin, la dernière section introduira une dimension supplémentaire, presque ignorée jusqu'alors par la littérature consacrée à la responsabilité civile : les possibilités de changement technologique et d'innovation. Nous montrerons qu'un rapprochement avec certaines analyses issues du champ de l'économie de l'environnement, qui a débuté au milieu des années 2000, peut enrichir les analyses existantes et compléter (voire reconsidérer) certains résultats en tenant compte de situations et possibilités nouvelles.

1 La genèse : comparaison de règles, inefficience d'un régime

A partir du début des années 1980, l'analyse économique de la responsabilité civile a rapidement développé un important corpus d'études consacrées à la prévention des risques d'accidents. Les premières études se sont consacrées à l'analyse des incitations fournies par différentes règles de responsabilité, en termes d'adoption de mesures optimales de prévention, sur des agents émetteurs de risque [7] (sous-section 1.1). Tandis que ces premiers travaux se sont focalisés sur la comparaison de règles de responsabilité en considérant uniquement la présence d'un régime de responsabilité illimitée, d'autres études ont très vite mis en avant des inefficiences en présence d'un régime de responsabilité limitée (sous-section 1.2). Nous montrerons enfin que l'applicabilité de ce régime est la source d'un grand nombre d'études, certaines d'entre elles mettant en exergue des comportements stratégiques de certains acteurs face à la possibilité de protection financière en cas d'insolvabilité (sous section 1.3).

1.1 Règles de responsabilité et prévention des risques : premières analyses comparatives

Suite aux travaux de Calabresi (1970), des analyses plus formalisées se sont développées en vue d'étudier les effets de la responsabilité civile sur les comportements individuels en matière de prévention du risque (Brown (1973), Shavell (1980), Landes & Posner (1987),...). Cependant, les résultats mis en avant par ces analyses sont très contrastés : alors que la sous-optimalité de la règle de négligence est mise en avant en présence d'un risque dont l'ampleur dépend du niveau d'activité (1.1.1), elle est atténuée en d'autres circonstances, selon la nature du risque et le type de mesures aidant à le prévenir (1.1.2).

7. La terminologie "agent émetteur de risque" permet de prendre en compte un large éventail d'activités risquées (circulation automobile,...), puisque cette littérature n'est pas spécifiquement dédiée aux activités émises par des firmes. Néanmoins, nous ferons uniquement référence à des firmes exerçant des activités risquées.

1.1.1 Une règle de négligence sous optimale en présence d'un risque multiplicatif

Shavell (1980) compare les deux principales règles de responsabilité en termes d'incitations à prévenir les risques d'accident, à savoir la règle de responsabilité sans faute (*strict liability*) et la règle de responsabilité pour faute ou de négligence (*negligence rule*). Lorsqu'une règle de responsabilité sans faute prévaut, la firme est reconnue responsable dès qu'un accident se produit. En présence d'une règle de négligence la responsabilité de la firme n'est établie que s'il est démontré que cette dernière a été négligente au regard d'un critère de prévention préalablement défini. Shavell (1980) étudie un grand nombre de situations mais nous nous contenterons d'exposer les cas les plus pertinents du point de vue de notre sujet, à savoir les *relations entre étrangers dans le cadre d'un risque unilatéral*. En effet, dans le cadre de risques technologiques, les victimes potentielles sont tous les êtres et biens sis dans l'environnement proche de la firme, sans lien commercial avec la firme (*étrangers*). Le risque est dit *unilatéral* car seule la firme émettant le risque peut agir sur le niveau de celui-ci (nous considérons que les moyens d'autoprotection pouvant permettre de réduire l'ampleur des dommages potentiels sont négligeables face à certains risques industriels). Un apport essentiel de cet article est d'étudier le niveau d'activité comme variable déterminant le niveau de risque. Il est motivé par le fait que pour certaines activités, à niveau de prévention donné, un accroissement du niveau d'activité augmente la probabilité d'occurrence d'un accident et/ou l'ampleur du dommage potentiel.

Notons x le niveau de prévention exercé par la firme, y son niveau d'activité. Maximiser le bien-être social revient à résoudre le programme suivant :

$$\max_{x,y} = u(x,y) - p(x)dy \tag{1}$$

avec $u(x,y)$ l'équivalent monétaire de l'utilité que retire la firme de son activité, $p(x)$ la probabilité d'accident qui est décroissante à taux décroissant avec le niveau de prévention ($\frac{\partial p(x)}{\partial x} < 0$, $\frac{\partial^2 p(x)}{\partial x^2} > 0$), et d le dommage par unité d'activité.

Shavell (1980) suppose implicitement ici que la firme est toujours en mesure de ré-

parer l'intégralité du montant du dommage en cas d'accident. Une telle hypothèse peut recouvrir plusieurs réalités : le dommage potentiel est un dommage de faible ampleur, et/ou le régime de responsabilité qui prévaut est un régime de responsabilité illimitée [8] Par conséquent, lorsqu'une règle de responsabilité sans faute est en vigueur, la firme est responsable de l'intégralité d'un dommage dès lors que celui-ci a lieu [9]. Le problème privé de la firme se confondant avec le problème social, la responsabilité sans faute procure des incitations socialement souhaitables.

Lorsqu'une règle de négligence est appliquée, le schéma de responsabilité est le suivant :

$$L(x,\bar{x}) = \begin{cases} 0 & si \quad x \geq \bar{x} \\ dy & si \quad x < \bar{x} \end{cases}$$

$L(x,\bar{x})$ étant le montant en réparation incombant à la firme en cas d'accident, selon son niveau de prévention x et le standard minimal de prévention $\bar{x}$ préalablement fixé par le Régulateur.

Dans un cadre d'information parfaite, le Régulateur peut fixer $\bar{x}$ au niveau socialement souhaitable. Shavell (1980) montre que la firme aura intérêt à adopter ce niveau de prévention, puisqu'il correspond au niveau qu'elle adopterait dans le cadre d'une responsabilité sans faute (tout en bénéficiant d'une exonération de responsabilité en cas d'accident). En revanche, une fois ce standard adopté, la firme fixera un niveau d'activité supérieur à celui qui serait socialement souhaitable. L'intuition est la suivante : la firme étant exemptée de toute responsabilité, elle ne subit plus aucun coût du risque lié à son activité. Le coût marginal *total* (exploitation et dommage espéré) d'activité étant plus faible, la firme adoptera un niveau d'activité plus élevé qu'avec une règle de responsabilité sans faute. Les principaux résultats de cette étude peuvent être synthétisés comme suit :

Proposition 1 ***(Shavell, 1980)*** *Considérons une firme supportant un risque d'accident unilatéral, sans contrainte d'insolvabilité.*

(i) La règle de responsabilité sans faute est socialement optimale.

(ii) En présence d'une règle de négligence :

8. C'est-à-dire lorsque la responsabilité personnelle des détenteurs de parts sociales de la firme est engagée (lorsque la firme, insolvable, ne peut réparer l'intégralité des dommages causés).

9. Sous l'hypothèse que le lien de causalité entre l'activité de la firme et l'occurrence de l'accident est établi ; ce qui est supposé ici. Cette hypothèse, forte, ne modifie en rien la comparaison des règles de responsabilité.

- *la firme a intérêt à adopter la norme $\bar{x}$ lorsqu'elle est définie de façon optimale*
- *mais si le risque est croissant avec le niveau d'activité (multiplicatif), elle adoptera un niveau d'activité supérieur à celui qui serait socialement souhaitable.*

Cependant, cette sous optimalité de la règle de négligence peut être atténuée en d'autres contextes, admettant des technologies de prévention différentes.

1.1.2 La négligence réhabilitée en présence de prévention durable ou non observable

Nussim & Tabbach (2009) ont montré que cette sous optimalité de la règle de négligence peut être atténuée en présence de mesures de prévention dites "durables" (*durable precautionary models*). Ces auteurs discutent ainsi de la pertinence de la proportionnalité du coût en prévention avec le niveau d'activité [10], et considèrent un coût en prévention indépendant du niveau d'activité. Une telle hypothèse peut refléter des situations courantes telles que l'équipement de systèmes ABS sur les automobiles, ou de systèmes de disjonction de processus de production en cas de surchauffe ou de court-circuits,...
En présence de mesures de prévention dont le coût est indépendant du niveau d'activité, il n'est plus possible de palier l'inefficience de la règle de négligence (en matière de contrôle du niveau d'activité en présence d'un risque multiplicatif) en instaurant un standard de prévention plus contraignant que le niveau optimal (afin d'accroître le coût marginal d'activité). Néanmoins, le bénéfice marginal de prévention étant plus élevé lorsque le niveau d'activité (et le dommage) sont élevés, un standard de prévention plus contraignant pourrait également être souhaitable dans ce contexte. Néanmoins, dans ce cas, un tel standard ne trouve pas sa justification dans la nécessité de contrôler indirectement le niveau d'activité de la firme mais dans l'accroissement de l'efficacité marginale de la prévention en présence d'un niveau d'activité élevé.

Deffains & Franckx (2009) ont également atténué la portée des propos de Shavell (1980), en montrant que l'ignorance du niveau d'activité lors de la fixation du standard de prévention (définissant la négligence) peut s'avérer socialement souhaitable lorsque la technologie de prévention est constituée à la fois de prévention vérifiable et de prévention non observable (*ex post* par le Tribunal). Ainsi, lorsque ce sont les mesures de prévention

10. Voir Nussim & Tabbach (2009) p 169-171.

non observables qui sont essentielles à la prévention du risque, de sorte qu'une variation du niveau d'activité (pour un niveau donné en prévention non observable) a un impact suffisamment faible sur la probabilité d'occurrence d'un accident, il n'est pas socialement souhaitable que le Régulateur tienne compte du niveau d'activité lors de la fixation du standard de prévention.

Néanmoins, il convient d'analyser tous ces résultats avec une certaine prudence puisque le cadre d'analyse adopté par ces différentes études est très simple. En effet, l'ensemble des coûts d'application des règles ne sont ici pas pris en compte. Or l'application d'une règle de négligence nécessite une collecte d'informations plus importante que l'application d'une règle de responsabilité sans faute : outre la détermination du lien de causalité, la règle de négligence implique une recherche d'informations pour établir le standard de prévention, et pour vérifier *ex post* si celui-ci fut respecté ou non. Des problèmes d'asymétrie informationnelle entre la firme inculpée et le Tribunal ou le Régulateur peuvent ainsi mettre à mal son efficacité. Ensuite, comme nous l'avons mentionné en introduction générale, ces contributions issues de l'analyse économique de la responsabilité se focalisent sur le rôle préventif de la responsabilité alors que d'autres instruments complémentaires peuvent l'aider à remplir sa mission, comme l'instrument fiscal par exemple (taxes/subventions). Ainsi, une taxation du niveau de production peut mitiger l'insuffisance de la règle de négligence en présence d'un risque multiplicatif ; une subvention à l'innovation peut aider la firme à entreprendre des travaux de R&D afin de mettre au point une technologie moins risquée. *C'est en ce sens que l'analyse développée au cours du chapitre 2 de cette thèse étudiera la possibilité d'une politique hybride dans laquelle l'instrument fiscal (une taxe), couramment étudié dans le champ de l'économie de l'environnement, assistera l'instrument juridique (la responsabilité) dans sa mission de fournir des incitations adéquates à prévenir le risque d'accident.* Enfin, notons encore que ces analyses ne tiennent pas compte de la possibilité de non compensation complète du dommage pour cause d'insolvabilité de la firme dans le cadre d'un régime de responsabilité limitée. Or, ce phénomène, qui entraîne une internalisation partielle du risque par la firme, conduit à une sous optimalité des incitations à prévenir le risque de façon socialement souhaitable. *Ce phénomène néfaste, remettant en cause l'efficacité même des règles de responsabilité civile, sera pris en considération dans l'analyse développée*

dans cette thèse.

1.2 Le régime de responsabilité limitée, ou la difficulté de concilier activité et prévention

Suite à l'occurence d'un certain nombre d'accidents industriels majeurs [11], des juristes américains ont remis en cause dans les années 1980-1990 la pertinence du régime de responsabilité limitée pour les firmes exerçant des activités potentiellement hautement dommageables à l'environnement. La remise en cause du principe de responsabilisation partielle, doctrine mise en oeuvre au début du 19e siècle pour faciliter l'entreprenariat et l'investissement industiel, est motivée par un souci de mieux confronter les entrepreneurs aux risques qu'ils font peser à la Société (meilleure internalisation) ainsi que par la volonté de mieux indemniser les victimes en cas d'accident.
Ainsi, Halpern *et al.* (1980) ont été parmi les premiers à prôner une responsabilité illimitée pour les firmes les plus petites, composées d'un actionnariat restreint (*closely-held corporations*), ainsi qu'une responsabilité personnelle des directeurs de firmes plus importantes, cotées en bourse (*publicly-traded corporations*) concernant les dommages à autrui (*involuntary creditors*). D'autres juristes ont également manifesté leur volonté de remettre en cause la limitation de la responsabilité, comme Leebron (1991) et Anonymous (1986) prônant une responsabilité étendue aux maisons-mères des filiales ayant des activités risquées, ou encore Hansmann & Kraakman (1991) prônant une responsabilité illimitée pour toutes les firmes. Mais cette volonté ne fut pas unanimement partagée dans la communauté juridique américaine. La responsabilité limitée a été défendue par plusieurs autres juristes, dont Easterbrook & Fischel (1985), Grundfest (1992), ou encore Alexander (1992) qui mit en avant la difficulté, d'un point de vue procédurier, à remettre en cause la responsabilité limitée.

Suite à ce débat, des économistes issus du courant de la *law and economics* ont tenté d'analyser les implications du régime de responsabilité limitée en termes d'incitations à prendre des mesures visant à prévenir les risques d'accident. Dans un premier

11. Quelques exemples : 4 fevrier 1971, explosion dans une usine de produits chimiques à Brunswick, Géorgie (25 morts) ; 28 mars 1979, accident nucléaire à la centrale de Three Mile Island, Pennsylvanie ; 4 mai 1988, explosion à l'usine PEPCON à Henderson, Nevada (2 morts, 372 blessés, 100 millions de dollars de dégâts) ; 9 juillet 1990, 40 morts au total à la suite de trois explosions d'usines chimiques dans la région de Houston, Texas, en neuf mois.

temps, nous allons présenter la première analyse ayant formellement mis en évidence les incitations sous optimales exercées par ce régime de responsabilité (1.2.1), avant de présenter une autre contribution tempérant ce résultat, lorsque la nature des mesures de prévention adoptées est différente (1.2.2).

1.2.1 Responsabilité limitée et insolvabilité : des incitations insuffisantes à prévenir le risque

Bien que l'analyse des problèmes liés à l'insolvabilité potentielle des individus entreprenant des activités risquées fut amorcée par Summers (1983), Shavell (1986) entreprit une analyse plus formalisée et approfondie des effets que peut avoir la responsabilité limitée sur le comportement de prévention des risques. L'auteur développe son analyse dans trois contextes différents : en l'absence d'assurances responsabilité civile, lorsque de telles assurances sont disponibles, et lorsque l'achat d'une telle assurance est obligatoire. Nous considérerons ici uniquement le premier cas.

Notons toujours x le niveau de prévention, $p(x)$ la probabilité d'accident ($0 < p(x) < 1$, $p'(x) < 0$, $p''(x) > 0$), et W le niveau de patrimoine liquidable de la firme. L'auteur admet ici un risque additif, de dommage D. Dans le cadre de l'application d'un régime de responsabilité limitée, en présence d'une règle de responsabilité sans faute, l'utilité espérée d'une firme faisant face à une insolvabilité potentielle en cas d'accident ($W < D$) est :

$$E[u^{SLL}(x, y)] = (1 - p(x))u(W - x) + p(x)u(-x) \tag{2}$$

$E[.]$ étant l'opérateur espérance, $u(.)$ l'utilité Von Neuman - Morgenstern, et SLL dénotant la responsabilité stricte et limitée. Cette équation signifie qu'en l'absence d'accident (probabilité $(1 - p(x))$), la firme jouit de son revenu et subit un éventuel effort de prévention, et en cas d'accident (probabilité $p(x)$), elle liquide son revenu pour réparer les dommages et subit l'éventuel effort de prévention adopté au moment de l'accident.

Il est important de noter que l'auteur suppose ici une prévention x non monétaire, en ce sens qu'elle ne réduit pas le montant du patrimoine W disponible pour réparer le dommage (aucun impact sur la solvabilité de la firme). L'effort de prévention induit seulement une désutilité. Une telle hypothèse n'est pas exempte de conséquences sur l'analyse. Beard (1990) lèvera cette hypothèse en supposant une prévention pécuniaire ;

nous présentons cette contribution plus loin.

Dans ce contexte de responsabilité sans faute limitée, l'auteur démontre que la firme a intérêt à adopter un niveau de prévention inférieur à l'optimum social. L'intuition est la suivante. Du fait de la limitation de la responsabilité à la valeur du patrimoine W de la firme, le coût privé du risque est le même pour tout dommage dont la valeur D est supérieure à W. La firme internalisant partiellement le risque, le bénéfice marginal privé d'un accroissement de la prévention est inférieur à son bénéfice marginal social. En revanche, la désutilité liée à la mise en oeuvre de mesures de prévention est toujours subie, quel que soit le montant du dommage. A mesure que le revenu/patrimoine W de la firme s'accroît, le coût privé du risque s'accroît, renforçant l'intérêt de prévenir le risque : le niveau de prévention adopté est plus important, mais reste sous optimal tant que $W < D$.

En revanche, lorsqu'une règle de négligence est appliquée, la firme peut être exonérée de toute responsabilité si elle adopte un niveau de prévention conforme au standard requis. Cette rupture dans la fonction de coût espéré en réparation de dommage peut fournir des incitations suffisamment importantes à la firme pour se comporter de façon socialement souhaitable (en admettant que le standard est optimal) dès lors que le patrimoine W de la firme est suffisamment élevé. Le raisonnement est le suivant. Notons x^F le niveau de prévention maximisant (2), avec $x^F < x^*$ dès lors que $W < D$. Rappelons qu'en cas d'adoption d'un niveau de prévention inférieur au standard $\bar{x}$, la firme est tenue responsable du dommage au même titre qu'en présence d'une règle de responsabilité sans faute. Adopter le standard $\bar{x}$ lui permet de bénéficier d'une exonération de responsabilité (gain de $p(x^F)W$) mais lui procure une désutilité ($\bar{x} - x^F$). Pour W suffisamment faible, la firme n'adoptera pas le standard ; la situation sera équivalente à celle d'une responsabilité sans faute limitée.

L'apport de Shavell (1986) peut être synthétisé de la façon suivante :

Proposition 2 ***(Shavell, 1986)***

En présence d'un régime de responsabilité limitée, l'insolvabilité potentielle des firmes les incite à adopter un niveau de prévention inférieur à l'optimum. Ce problème est

moins prononcé en présence d'une règle de négligence qu'en présence d'une règle de responsabilité sans faute.

Cependant, ce résultat sera tempéré par une étude ultérieure, lorsque la réduction du risque requiert l'application de mesures de prévention de nature différente.

1.2.2 Responsabilité limitée et insolvabilité : la possibilité d'efforts trop importants en prévention en présence de mesures *monétaires*

Peu après l'analyse initiée par Shavell (1986), Beard (1990) va tempérer le résultat de Shavell en considérant un contexte différent dans lequel les mesures de prévention sont dites monétaires (ou pécuniaires) [12], c'est-à-dire réduisent le montant des actifs liquidables de la firme. Le problème de la firme est alors le suivant :

$$\min_x x + p(x)(W - x) \tag{3}$$

La firme doit alors minimiser le coût de son activité, i.e. le coût en prévention x ainsi que le coût espéré en responsabilité ($(W-x)$ en cas d'accident, probabilité $p(x)$). Tout comme dans Shavell (1986), les actifs de la firme sont insuffisants pour réparer l'intégralité du dommage ($W < D$), mais le coût en prévention réduit le montant des actifs pouvant être saisis pour réparer le dommage (ce montant s'élève alors à $W - x$). Dès lors, le niveau de prévention x^F adopté par la firme est tel que :

$$1 - p(x^F) = -p'(x^F)(W - x^F) \tag{4}$$

$-p'(x^F)(W-x^F)$ représente le bénéfice marginal de la prévention en termes de réduction du coût espéré d'accident, $1 - p(x^F)$ représente son coût marginal. Tout comme Shavell (1986), Beard (1990) montre que le bénéfice marginal privé de la prévention est inférieur à son bénéfice marginal social (internalisation partielle du dommage causé). Mais ici, le coût marginal privé est également inférieur au coût marginal social. En effet, du fait du caractère pécuniaire de la prévention, chaque dollar investi en prévention est un dollar

12. Miceli & Segerson (2003) développent un modèle permettant de comparer les analyses de Beard (1990) (prévention pécuniaire) et de Shavell (1986) (prévention non pécuniaire). Cette analyse inclut aussi la présence de frais de Justice. Il est montré que la présence de frais de Justice influe sur le niveau de prévention adopté et peut, en présence de prévention pécuniaire, amener les firmes peu solvables à accroître leur niveau de prévention de façon à réduire leur valeur liquidative pour dissuader toute victime d'intenter des poursuites en Justice (cf p 280).

de moins qui pourra être saisi au titre de la réparation des dommages en cas d'accident (probabilité $p(x)$) ; ce qui explique un bénéfice marginal de $1 - p(x)$. Dès lors, si le coût marginal de la prévention est suffisamment faible, il est possible que le niveau de prévention x^F adopté par la firme soit supérieur au niveau de prévention socialement souhaitable x^*.

Proposition 3 ***(Beard, 1990)***

Sachant que la possibilité de faillite réduit à la fois les coûts et bénéfices marginaux des dépenses (en prévention) de la firme relativement aux coûts et bénéfices supportés par la Société, $x^F > x^*$ et $x^F < x^*$ sont tous deux possibles.

En dernier lieu, nous pouvons noter la contribution de Friehe (2007) qui tempère aussi les conclusions de Shavell (1986). Reprenant le cadre d'analyse de Shavell (1986), il procède à une comparaison des comportements (en matière de prévention du risque) entre agents solvables et agents insolvables ; ce que Shavell (1986) ne fait pas. Il montre que, sous certaines conditions, certains agents potentiellement insolvables en cas d'accident dépensent plus en prévention du risque que certains agents n'étant pas potentiellement insolvables. Tout comme Shavell (1986), il montre qu'une augmentation du niveau d'actifs pour des agents potentiellement insolvables incite à davantage de prévention [13]. En revanche, une augmentation du niveau d'actifs pour des agents solvables entraîne une diminution du coût marginal ainsi que du bénéfice marginal de prévention. En effet, pour ces derniers, la désutilité de la perte causée par un accident diminue avec le niveau d'actifs, en raison de l'utilité marginale décroissante liée à l'aversion au risque. Si cet effet est suffisamment important, alors une hausse du niveau d'actifs peut entraîner une diminution du niveau de prévention.

Pour conclure, nous pouvons noter que ces analyses mettent en avant le fait que l'application d'un régime de responsabilité limitée en présence d'importants dommages potentiels (pouvant entraîner les firmes à la faillite en cas d'accident) peut fournir des incitations sous optimales à mettre en oeuvre des mesures visant à prévenir le risque ; aboutissant ainsi à un sous-investissement ou à un sur-investissement en prévention, selon la nature des mesures adoptées.

13. En effet, pour des agents insolvables, une augmentation du niveau d'actifs entraîne une diminution de la désutilité marginale liée à la prévention du risque. En outre, le bénéfice marginal de la prévention est plus important (rendre moins probable une perte plus grande).

Cependant, ces analyses considèrent comme *donnée et exogène* la situation d'insolvabilité potentielle des agents concernés, qui est alors considérée comme *subie*. Or, comme l'a noté Beard (1990) en conclusion de son analyse, l'insolvabilité potentielle peut au contraire être une opportunité pour les firmes. Il note ainsi que la troncature dans le coût espéré du dommage instaurée par le régime de responsabilité limitée pourrait entraîner une "désintégration verticale" de certaines industries [14] dites dangereuses ; ce qui a été montré empiriquement par Ringleb & Wiggins (1990). [15] En effet, les firmes les plus faiblement capitalisées disposent alors d'un avantage comparatif en termes de moindre coût espéré en réparation. Par conséquent, si le système légal prévoit une responsabilité uniquement pour les agents (sous-traitants) exploitant directement l'activité à risque, alors il existe une incitation pour certaines industries à risque à sous-traiter leurs activités les plus dangereuses à des firmes peu capitalisées, et bénéficier ainsi d'un "bouclier de responsabilité" (*liability shield*).

Suivant un raisonnement similaire, d'autres études mettent en avant le fait que dans certains cas les firmes peuvent agir sur la nature du risque, via diverses variables sous leur contrôle (niveaux de prévention, d'activité,...), et ainsi rendre *endogène* le fait d'être insolvable ou non en cas d'accident. Par conséquent, au lieu d'être subie, l'insolvabilité devient un choix qui peut être utilisé de façon stratégique en certaines circonstances.

1.3 L'insolvabilité, un choix stratégique

A notre connaissance, l'une des premières contributions à avoir montré l'insolvabilité potentielle comme variable de décision des firmes est l'étude de Boyd & Ingberman (1994), dont l'objectif premier est de montrer que l'application de dommages-intérêts non compensatoires peut être justifiée (1.3.1). Par la suite, d'autres études vont montrer l'intérêt stratégique que peut revêtir l'insolvabilité en cas d'accident, parmi lesquelles celle de Dari-Mattiacci & De Geest (2005) qui le fera dans un cadre unifié, admettant l'emploi simultané de mesures de prévention visant à réduire la probabilité d'accident, et d'autres visant à réduire l'ampleur des dommages (1.3.2).

14. Voir Beard (1990) p 633.

15. Deffains (2000) fournit des exemples réels de telles stratégies de "désagrégation industrielle", et recense des études qui y sont consacrées.

1.3.1 Plafonnement de responsabilité et réduction des dommages potentiels

Le principal objectif de l'analyse de Boyd & Ingberman (1994) est de montrer que la fixation de dommages-intérêts non compensatoires peut être socialement souhaitable. Des dommages-intérêts sont dits non compensatoires (*non compensatory damages*) lorsque leur montant n'est pas en adéquation avec la valeur du dommage causé : ils sont dits punitifs (*punitive damages*) lorsque leur valeur est supérieure à celle du dommage subis, ils sont dits plafonnés (*capped damages*) lorsque leur valeur est inférieure [16]. L'analyse de Boyd & Ingberman (1994) montre en particulier que le plafonnement de la responsabilité peut être bénéfique en incitant des agents à mettre en oeuvre des mesures de prévention visant à réduire le montant des dommages potentiels. Les auteurs développent un modèle, décliné en plusieurs exemples, dans lequel un investissement en prévention peut réduire la probabilité d'accident (exemple 1 p 902), ou réduire l'ampleur du dommage potentiel (exemple 2 p 903).

Leur *exemple 2* (Boyd & Ingberman (1994), p 903) rend la possibilité d'insolvabilité endogène à l'analyse et justifie l'application d'une responsabilité plafonnée dans le cadre du transport maritime pétrolier. Les auteurs considérent un niveau de production exogène (y, la capacité d'un tanker), et analysent le choix entre deux techniques de prévention : protection simple coque amenant à un dommage unitaire d_1 pour un coût c_1, ou protection double coque amenant à un dommage unitaire d_2 pour un coût c_2, avec $d_2 < d_1$, $c_2 > c_1$. Les auteurs supposent qu'un régime de responsabilité limitée est appliqué et que, en présence de dommages compensatoires, un accident avec une double coque peut être intégralement compensé par le transporteur ($d_2 y < W$, W représentant le montant des actifs du transporteur). En revanche,un accident avec une simple coque entraîne la faillite du transporteur ($d_1 y > W$), qui paie alors W au titre de la réparation des dommages. Dès lors, le transporteur adoptera une double coque si et seulement si :

$$p(W - d_2 y) > c_2 - c_1 \tag{5}$$

16. Ceci est notamment le cas dans le cadre du transport maritime pétrolier (exemple repris par Boyd & Ingberman (1994)) : la limitation de responsabilité est fixée à 75 millions de dollars aux Etats-Unis (voir http ://www.gpo.gov/fdsys/pkg/USCODE-2009-title33/html/USCODE-2009-title33-chap40.htm (section §2704)).

c'est-à-dire l'économie réalisée en termes de réduction du coût espéré d'accident doit être supérieure au supplément de coût lié à l'adoption d'une double coque. W étant inférieur à $d_1 y$, il est évident que l'incitation est sous optimale.
Dans ce cadre, les auteurs montrent qu'il est possible d'accroître l'incitation à adopter une double coque en instaurant une responsabilité plafonnée. Soit L le montant de dommages-intérêts à payer en cas d'accident avec un tanker à double coque, avec $L < d_2 y$. Considérant (5) en remplaçant $d_2 y$ par L, il est aisé de voir que le bénéfice lié à l'installation d'une double coque (en termes de réduction du coût espéré en responsabilité) est accru, augmentant alors les chances qu'une firme adopte cette mesure de prévention.

Dans cet exemple, l'insolvabilité de la firme est endogène au travers de la possibilité d'adopter une mesure de prévention permettant de réduire le montant du dommage potentiel (adoption d'une double coque). A la lecture des différents exemples développés dans cette analyse, nous pouvons constater que l'adoption de mesures de prévention plus importantes amène toujours à une meilleure internalisation du risque ; soit de façon certaine via la réduction de l'ampleur du dommage (comme dans l'exemple présenté ici), soit en espérance via un déplacement de la distribution des probabilités d'occurrence d'un accident vers de plus fortes probabilités de faibles dommages et de moindres probabilités de dommages importants. Cette meilleure internalisation est notamment due au caractère exogène du niveau de production. *Dans le chapitre 2 de la présente thèse, nous montrerons qu'en considérant un modèle de choix technologique plus large, dans lequel le choix du niveau d'activité est endogène, il est possible de mettre en évidence des situations dans lesquelles l'adoption d'une technologie plus sécuritaire, caractérisée par une probabilité d'accident plus faible, entraîne une moindre internalisation du risque par la firme.* A présent, nous allons présenter des études mettant en avant des stratégies d'insolvabilité de la part des firmes.

1.3.2 Une insolvabilité choisie, au profit de dommages moins fréquents

Tout comme Boyd & Ingberman (1994), Dari-Mattiacci & De Geest (2005) développent un modèle dans lequel la décision d'insolvabilité potentielle en cas d'accident est endogène mais, contrairement à Boyd & Ingberman (1994), la firme dispose de deux

types de mesures de prévention : l'une permet de réduire la probabilité d'occurrence d'un accident, l'autre permet de réduire l'ampleur du dommage en cas d'accident (modèle dit *separate probability-magnitude model*). De ce fait, le problème de la firme peut s'écrire de la manière suivante :

$$\begin{aligned} &\min_{x,s} C(x,s) = p(x)L(s) + x + s \\ &s.c.\ L(s) = \min[D(s), W] \end{aligned} \tag{6}$$

$C(x,s)$ étant le coût d'activité de la firme, x le niveau et le coût des mesures de prévention visant à réduire la probabilité d'accident ("probabilité-prévention"), s le niveau et le coût des mesures de prévention visant à réduire l'ampleur du dommage ("dommage-prévention"), $D(s)$ le montant du dommage potentiel, $0 < D(s) < D_{max}$, $D_{max} > W$, $\frac{\partial D(s)}{\partial s} < 0$, $\frac{\partial^2 D(s)}{\partial s^2} > 0$.

Décomposons le processus de décision de la firme. Celle-ci bénéficiant du régime de responsabilité limitée, sa fonction de coût est :

$$\begin{cases} C(x,s) = p(x)D(s) + x + s \quad lorsque \quad D(s) \leq W \\ C_W(x,s) = p(x)W + x + s \quad lorsque \quad D(s) > W \end{cases}$$

Le processus de décision de la firme se fait par comparaison des décisions optimales dans ces deux types de situations. D'une part, considérons la situation dans laquelle la firme ne peut internaliser l'intégralité du risque ; c'est-à-dire lorsqu'elle a intérêt à adopter un niveau de dommage-prévention s tel que $D(s) > W$. Dans ce cas, le niveau de dommage-prévention minimisant son coût d'activité $C_W(x,s)$ est $s_W = 0$ puisque $C_W(x,s)$ est linéaire et croissant en s : la prévention ne permet pas de réduire le dommage espéré alors qu'elle est coûteuse. Dès lors, le niveau de probabilité-prévention qu'elle adoptera sera x_W tel que :

$$1 = -p'(x_W)W \Leftrightarrow p'(x_W) = \frac{-1}{W}$$

La seconde situation que la firme doit analyser est celle dans laquelle elle est en mesure d'internaliser la totalité du risque (i.e. intérêt à adopter s tel que $D(s) \leq W$). Dans ce cas, son problème se confond avec le problème social, et elle adopte x^* et s^* tels que

(respectivement) :

$$1 = -p'(x^*)D(s^*) \Leftrightarrow p'(x^*) = \frac{-1}{D(s^*)},$$
$$1 = -p(x^*)D'(s^*) \Leftrightarrow D'(s^*) = \frac{-1}{p(x^*)}$$

La firme va comparer les deux situations ($x = x_W$, $s_W = 0$) et ($x = x^*$, $s = s^*$) et choisira la moins coûteuse.

La première situation (internalisation incomplète du risque) mérite quelques commentaires supplémentaires. En effet, selon le niveau de solvabilité W de la firme, plusieurs comportements peuvent être observés. Si le montant des actifs W est très faible (i.e. $W < D(s^*)$), alors la firme n'adoptera aucune mesure de dommage-prévention et sous investira en probabilité-prévention ($x_W < x^*$ puisque $\frac{-1}{W} < \frac{-1}{D(s^*)}$). En revanche si la firme, bien qu'étant en situation d'insolvabilité en cas d'accident, dispose d'un niveau d'actifs plus élevé W tel que $W > D(s^*)$, alors elle n'adoptera toujours aucune mesure de dommage-prévention mais sur-investira en probabilité-prévention : $x_W > x^*$ puisque $\frac{-1}{W} > \frac{-1}{D(s^*)}$.
La firme adoptera des niveaux de prévention optimaux si et seulement si cette situation (x^*, s^*) et moins coûteuse que l'alternative (x_W, s_W), c'est-à-dire :

$$p(x^*)D(s^*) + x^* + s^* \leq p(x_W)W + x_W$$
$$\Leftrightarrow W \geq \frac{p(x^*)D(s^*) + x^* + s^* - x_W}{p(x_W)} \tag{7}$$

Ainsi, concernant leur *separate probability-magnitude model*, les auteurs montrent le résultat suivant :

Proposition 4 ***(Dari-Mattiacci & De Geest, 2005)*** *Soit une firme ayant la possibilité de réduire le niveau de risque via l'application de deux mesures de prévention distinctes*

(i) Seules les firmes ayant un niveau de richesse suffisamment élevé sont incitées à prendre des mesures de prévention optimales.

(ii) Pour des niveaux de richesse intermédiaires, les firmes ont intérêt à ne pas prendre de mesures visant à réduire le dommage et être insolvables en en cas d'accident,

tout en investissant massivement en probabilité-prévention.

En revanche, il s'agit bien ici pour la firme de rechercher la combinaison de mesures de prévention permettant de minimiser son coût d'activité, pour une technologie avec des fonctions $p(.)$ et $D(.)$ données, et non de procéder à un changement technologique *à proprement parler*, c'est-à-dire en adoptant, par exemple, une technologie alternative B plus efficiente caractérisée par des fonctions $p_B(.)$ et $D_B(.)$ telles que $p'_B(x) < p'(x)$ et $D'_B(s) < D'(s)$, x et s donnés.
Au cours de cette thèse, nous analyserons des situations de changement technique au sens strict, les firmes devant choisir entre des technologies d'efficiences différentes. Ainsi dans le chapitre 2, dans un cadre de maximisation du profit incluant la décision de production, nous analyserons le choix entre deux technologies caractérisées par des probabilités d'accident et des coûts marginaux de production différents. Nous admettrons aussi la présence d'un risque multiplicatif, en ce sens que la firme pourra agir sur le montant du dommage espéré via sa décision de production. Au cours de cette étude nous confirmerons le résultat de Dari-Mattiacci & De Geest (2005) selon lequel, *pour une technologie donnée*, en situation d'insolvabilité, la firme n'a aucun intérêt à adopter des mesures de prévention visant à réduire le dommage [17]. *En revanche, dans notre cadre plus large incluant une possibilité de changement technique, nous montrerons qu'il est possible qu'une firme potentiellement insolvable en cas d'accident ait intérêt à adopter une nouvelle technologie caractérisée par une probabilité d'accident plus faible tout en l'amenant à réduire le montant du dommage potentiel* [18]. Dès lors, en présence d'un régime de responsabilité limitée, le changement technique peut amener à une réduction du niveau de risque.

Nous pouvons noter que Dari-Mattiacci & De Geest (2006) reprennent l'analyse initiée par Dari-Mattiacci & De Geest (2005) et introduisent une comparaison entre prévention monétaire et prévention non-monétaire (Dari-Mattiacci & De Geest (2005) considérant uniquement des mesures de prévention non-monétaires). Les auteurs montrent que le niveau de prévention adopté par des firmes potentiellement insolvables n'est pas nécessairement plus faible dans le cas non-monétaire que dans le cas monétaire (contrairement à la situation décrite par Beard (1990)) et, surtout, ils confirment l'affirmation

17. Dans notre analyse, ceci se traduira par l'adoption d'un niveau d'activité élevé.
18. La technologie admet un coût marginal de production plus élevé, amenant à un niveau d'activité plus faible. Le risque étant multiplicatif, le dommage potentiel s'en trouve réduit.

émise dans Dari-Mattiacci & De Geest (2005) en arguant que le sur-investissement en prévention ne peut concerner que la probabilité-prévention (et non la prévention permettant de réduire l'ampleur du dommage) ; ce que l'analyse développée dans notre chapitre 2 nuancera en présence d'une possibilité de changement technologique.
Enfin, nous pouvons citer encore Friehe (2007) qui, lui aussi, met en avant l'utilisation stratégique par certains agents de la possibilité d'insolvabilité en cas d'accident. En présence de mesures de prévention monétaires permettant de réduire la probabilité d'occurrence d'un accident, il montre que certains agents, qui pourraient être solvables en cas d'accident s'ils adoptaient le niveau optimal de prévention, préfèrent sur-investir en prévention afin d'être insolvables en cas d'accident. Ce comportement est expliqué par la discontinuité dans la fonction de coût marginal en prévention, comme l'a exposé Beard (1990) (pas de coût dans l'état de la Nature "accident"), alors que le bénéfice marginal de la prévention est continu.

Bien que les contributions de Beard (1990) ou de Boyd & Ingberman (1994) montrent qu'insolvabilité potentielle (en régime de responsabilité limitée) et prévention du risque ne sont pas toujours antinomiques, il convient néanmoins de tempérer la portée de ces résultats à plusieurs égards.
Premièrement, au-delà du problème de la prévention du risque, l'insolvabilité potentielle de la firme en présence d'un régime de responsabilité limitée pose le problème de la compensation incomplète des victimes. Pour tenter d'y répondre, un régime d'extension de la responsabilité à certains partenaires des firmes à risques a été proposé. Cependant, le fait d'impliquer des agents extérieurs à la firme peut entraîner des inefficiences à cause d'éventuelles asymétries d'information entre les différents acteurs.
De plus, les résultats des analyses étudiées précédemment ont été montré en présence d'une règle de responsabilité sans faute. Or, dans le cadre de l'application d'une règle de négligence, un problème d'asymétrie informationnelle entre la firme d'une part, et le Régulateur et le Tribunal d'autre part, peut entraîner deux types d'incertitudes mettant à mal l'efficience de cette règle : d'une part, le Tribunal ne peut être certain de la valeur informative des preuves présentées devant lui (concernant le comportement de la firme en matière de prévention du risque par exemple) et, d'autre part, sachant la vision imparfaite du Tribunal, la firme ne peut être certaine du niveau exact de prévention à

adopter pour que le Tribunal lui accorde l'exemption de responsabilité.
Enfin, ces analyses ont considéré que les risques d'accident étaient parfaitement connus. Cependant, dans certains cas (et notamment face à l'introduction de technologies nouvelles), les firmes ne connaissent pas précisément la nature du risque auquel elles sont confrontées, de sorte qu'une recherche d'informations supplémentaires est nécessaire afin de le prévenir de manière plus efficiente. Dans ce cadre aussi, la responsabilité peut être utilisée comme un outil incitatif, et la comparaison des règles et régimes de responsabilité doit tenir compte de l'importance de ce rôle.

2 Applicabilité de la responsabilité civile : des difficultés liées aux imperfections et imprécisions de l'information

Alors que les analyses que nous venons de présenter ont toutes pour point commun de supposer un cadre d'information parfaite, diverses imperfections de l'information circulant entre différents acteurs peuvent mettre à mal l'efficacité de la responsabilité civile dans son rôle incitatif à la prévention des risques d'accident. Ainsi, le régime de responsabilité étendu aux partenaires (financiers) des firmes, proposé notamment pour palier la compensation incomplète des victimes d'accidents majeurs en présence d'un régime de responsabilité limitée, peut fournir des incitations sous optimales à la prévention du risque à cause de l'asymétrie informationnelle existant entre la firme et ses créanciers (sous-section 2.1). De plus, alors que le travail de Shavell (1980) montre l'équivalence entre responsabilité sans faute et règle de négligence en présence d'un risque additif, d'un cadre d'information parfaite et sans limitation de responsabilité, d'autres études mettent en avant des difficultés dans l'applicabilité de la règle de négligence en présence d'information imparfaite entre firmes et Régulateur et/ou Tribunal (sous-section 2.2). Enfin, nous présenterons des analyses reconsidérant le rôle incitatif de la responsabilité civile dans un cadre plus large, en considérant la nécessité de rechercher davantage d'informations en présence de risques imparfaitement connus (sous-section 2.3)

2.1 La responsabilité étendue aux partenaires : une tentative de réponse aux inefficiences de la responsabilité limitée

Face aux incitations sous optimales fournies par la responsabilité partielle des firmes, les Etats-Unis ont instauré en 1980 un régime de responsabilité étendue aux partenaires (notamment financiers) des firmes exploitant des activités potentiellement dommageables à l'environnement dans le but, d'une part, que ces partenaires incitent les firmes à adopter un comportement de prévention optimal et, d'autre part, pour accroître les fonds disponibles en cas d'accident. Par responsabilité étendue, il faut entendre le fait qu'en cas d'insolvabilité d'une firme responsable d'un dommage, les partenaires doivent compléter (totalement ou partiellement, selon la nature de l'extension de responsabilité) le solde du montant en réparation du montant en réparation. Cette extension de responsabilité, instaurée dans la loi CERCLA (*Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act*) aux Etats-Unis dans le cadre de dommages liés à des pollutions industrielles, fut initialement totale. Ceci a eu pour conséquence d'accroître le nombre de clauses d'exclusions de risques technologiques et/ou environnementaux dans les contrats d'assurance et de responsabilité civile, mais aussi le nombre de refus de financement des banques. Cependant, face à cette *Liability Crisis* des années 1980, CERCLA a été amendée en 1996 de sorte que seuls les partenaires financiers impliqués dans la gestion active de la firme [19] soient potentiellement tenus responsables.
Dans un premier temps, nous allons présenter des analyses montrant que l'extension de responsabilité peut être source d'un arbitrage entre efficacité et équité, lorsque l'on tient compte des asymétries informationnelles existant entre les acteurs concernés (2.1.1). Ensuite nous détaillerons une contribution montrant que, dans le cadre d'une responsabilité étendue, l'arbitrage entre investissements productifs et investissements préventifs ne se fait pas toujours au détriment de ce dernier (2.1.2).

2.1.1 Responsabilité étendue et arbitrages entre efficacité et équité

En réponse à l'inefficience du régime de responsabilité limitée qu'il a mis en avant, Shavell (1986) évoque (sans développer d'analyse formalisée) la possibilité d'étendre la responsabilité aux partenaires des firmes à risque afin que ces derniers les incitent à

19. Ainsi, les hypothèques ne servant qu'à assurer les fonds prêtés ont été exonérées de toute responsabilité.

adopter des mesures de prévention optimales, de façon à limiter le coût espéré en responsabilité.

Pitchford (1995) analyse la possibilité de faire porter la responsabilité (partiellement ou totalement) aux créanciers des firmes à risque. Contrairement au dispositif CERCLA qui prévoit que les firmes causant un dommage en soient les premières responsables, et que les partenaires "prennent le relais" de la firme une fois que cette dernière ait été liquidée pour réparer le dommage, Pitchford (1995) modélise une situation quelque peu différente. Supposant que la firme est toujours incapable de réparer seule le dommage potentiel, Pitchford (1995) applique implicitement la doctrine *respondeat superior* en faisant porter toute responsabilité directe à la banque (qui est alors la seule à payer au titre des réparations), et non à la firme.

L'étude de Pitchford (1995) est menée dans une double optique : analyser les conséquences d'un tel régime de responsabilité sur le niveau de prévention adopté par la firme ainsi que sur le niveau d'indemnisation des victimes. Son modèle met en avant un entrepreneur (d'une firme à risque), un prêteur (une banque) et une victime potentielle, tous trois neutres au risque. L'entrepreneur recherche des fonds à hauteur de F pour financer un projet risqué (dommage potentiel D) dont le retour attendu s'élève à R : le retour net du projet est $r = R - F$. L'entrepreneur contribue personnellement au projet à hauteur de $E \in [0, W]$, W étant sa richesse totale avec $W < F$. Dès lors, E constitue l'investissement de l'entrepreneur dans le projet (le capital social de la firme, qui peut être saisi par la Justice), alors que $W - E$ constitue son patrimoine personnel, insaisissable en raison de la responsabilité limitée de la firme. La banque prête F pour initier le projet, et sera au moins remboursée à hauteur de F quel que soit l'état de la Nature. La firme perçoit r, qui sera utilisé avec E pour payer le prêteur en retour. Le niveau des mesures de prévention x n'est pas contractualisable [20]. En cas d'accident, la responsabilité supportée par le prêteur, supposé suffisamment solvable, est $L \in [0, D]$. Les profits espérés de la banque et de la firme sont :

$$E[\Pi_{banque}] = (1 - p(x))t_0 + p(x)(t_1 - L) \tag{8}$$

$$E[\Pi_{firme}] = r - (1 - p(x))t_0 - p(x)t_1 - c(x) \tag{9}$$

20. Ceci peut s'expliquer par des difficultés de vérification par le prêteur, ou par un coût trop important de rédaction d'un tel contrat (détermination de l'ensemble des facteurs pouvant influer sur la décision de prévention,...).

t_n étant le paiement de la firme au prêteur dans l'état n, $n = 0, 1$, 0 étant l'état "sans accident" et 1 l'état "accident", $c(x)$ le coût (non monétaire) de mettre en oeuvre des mesures de prévention x visant à réduire la probabilité d'accident $p(x)$.
En vertu de la séparation du patrimoine de la firme de celui de l'entrepreneur imposée par le régime de responsabilité limitée, chaque transfert de la firme vers le prêteur est borné par la somme du retour net et des actifs investis par l'entrepreneur ($t_i \leq r + E$), et ces derniers sont eux-mêmes bornés par la richesse personnelle de l'entrepreneur ($E \leq W$). Dès lors, l'entrepreneur accepte le contrat si et seulement si : $t_i \leq r + W$.
Nous pouvons constater que le niveau de prévention adopté par la firme sera tel que :

$$\frac{\delta(9)}{\delta x} \Leftrightarrow p'(x)(t_0 - t_1) = c'(x) \tag{10}$$

En revanche, le niveau de prévention maximisant le profit du prêteur est tel que :

$$\frac{\delta(8)}{\delta x} \Leftrightarrow p'(x)(t_1 - t_0) = p'(x)L \Leftrightarrow (t_1 - t_0) = L \tag{11}$$

Ainsi, afin de maximiser son propre profit, le prêteur va chercher à imposer à la firme un contrat tel que $t_1 - t_0 = L$; tout en veillant à ce que la firme ait intérêt à participer à un tel contrat (i.e. $E[\Pi_{firme}] \geq 0$).
Dès lors, afin de maximiser les chances de fournir des incitations optimales, le prêteur va fixer t_1 à sa valeur maximale, soit $r + W$. Par conséquent, le t_0 minimal permettant à la banque de participer au contrat (i.e. $E[\Pi_{banque}] = 0$) est tel que :

$$(1 - p(x))t_0 + p(x)((r + W) - L) = 0 \Leftrightarrow t_0 = \frac{p}{1 - p}(L - (r + W))$$

Dès lors, le contrat acceptable par les deux parties et fournissant des incitations maximales à la prévention est tel que :

$$(t_0, t_1) = (\frac{p}{1 - p}(L - (r + W)), (r + W))$$

Mais les incitations fournies à la firme en matière de prévention seront sous optimales puisque :

$$t_1 - t_0 = (r + W) - \frac{p}{1-p}(L - (r + W)$$

avec $r + W < L$ et $\frac{p}{1-p}(L - (r + W) > 0$. Cette observation amène au principal résultat de cette analyse :

Proposition 5 ***(Pitchford, 1995)***

Lorsque la valeur nette de la firme est insuffisante pour compenser le dommage potentiel ($D > W + r$) :

(i) il est impossible d'induire le niveau optimal de prévention

(ii) une augmentation du niveau de responsabilité L du prêteur permet d'accroître le montant des réparations versées aux victimes (plus d'équité) mais réduit le niveau des mesures de prévention adoptées par la firme (moins d'efficacité).

Le constat est le suivant. De part la contrainte liée à la responsabilité limitée de la firme, t_1 ne peut être supérieur à $r+W$ qui représente l'ensemble des actifs de la firme (l'entrepreneur ayant alors investi l'ensemble de ses actifs personnels dans la firme ($E = W$)). La responsabilité du prêteur amène à une hausse du coût du risque, qu'il va répercuter sous forme de prime de risque à la firme dans l'état de la Nature "sans accident" ; t_0 étant configuré de manière à ce que le prêteur obtienne un profit espéré nul. Dès lors, la satisfaction de ces deux contraintes (responsabilité limitée de la firme et profit non nul du prêteur) se fera au détriment de la fixation des incitations à fournir un effort de prévention optimal (du point de vue du prêteur).

Aussi, l'interprétation suivante peut être proposée : en cas d'insolvabilité potentielle de la firme, le prêteur demande à l'entrepreneur d'engager l'ensemble de ses actifs dans l'exploitation ($E = W$) afin de minimiser sa perte en cas d'accident et de "responsabiliser" la firme. Mais le prêteur, encourant désormais un risque, va faire payer une prime de risque à la firme dans l'état "sans accident" (hausse de t_0) afin de compenser le montant $L - (r + W)$ qu'il perdra en cas d'accident. Dès lors, du fait de cette prime de risque, l'état "sans accident" devient moins attirant relativement à l'état "accident" (réduction de $t_1 - t_0$) ce qui réduit l'incitation à adopter des mesures de prévention adéquates.

Par conséquent, lorsque la richesse disponible des firmes est insuffisante pour couvrir

le montant en réparation réclamé au prêteur, accroître le degré de responsabilité L du prêteur amène à une augmentation de la probabilité d'accident, du fait de l'instauration d'une prime de risque désincitant la firme à engager des mesures de prévention. Etant donné cet arbitrage entre compensation des victimes (équité) et prévention du risque (efficacité), Pitchford (1995) démontre qu'en présence d'insolvabilité potentielle des firmes une responsabilité *partielle* du créancier est socialement préférable à une responsabilité complète.

Cet arbitrage entre équité et efficacité est partagé par Boyer & Laffont (1997) [21], sous une autre forme, malgré un cadre d'analyse quelque peu différent (possibilité de refinancement des firmes sur une seconde période, présence d'assurance-responsabilité pour les firmes, responsabilité "première" de la firme (les banques sont responsables du montant "non couvert" des réparations)). Dans Boyer & Laffont (1997), les auteurs mettent en avant le fait qu'une extension trop importante de responsabilité vers la banque peut entraîner des refus d'investissements de celle-ci dans des projets socialement souhaitables (malgré le risque), en raison de l'impossibilité d'inciter les firmes à adopter un niveau de prévention suffisamment élevé. En effet, un niveau de responsabilité plus important implique un coût espéré en réparation de dommages plus important aussi. Dans ce cas, la banque souhaite inciter la firme à adopter un niveau de prévention élevé, ce qui nécessite le versement d'une importante rente informationnelle. Sachant que la contrainte de solvabilité de la firme (responsabilité limitée) et la contrainte de participation de la banque sont toutes deux incompressibles, la banque peut être amenée à refuser de prêter à la firme en raison de son incapacité à verser cette rente. Par conséquent, une responsabilité partiellement étendue à la banque est là aussi préférable à une responsabilité totalement étendue puisqu'une réduction du coût espéré en réparation réduit le niveau de prévention que la banque souhaite faire adopter. Dès lors, la rente informationnelle à verser est moindre, ce qui accroît les chances de financement du projet. Alors que Pitchford (1995) met en avant un arbitrage entre prévention du risque et réparation des victimes, Boyer & Laffont (1997) mettent ici en avant un arbitrage entre financement de projets socialement souhaitables et réparation des victimes.

21. Plus précisément, se référer au cas avec aléa moral (section 5., p 1445).

2.1.2 Responsabilité étendue et arbitrage entre activités productives et activités préventives

Concernant les extensions de responsabilité aux créanciers, nous pouvons citer aussi le travail de Dionne & Spaeter (2003). Tout comme Pitchford (1995), les auteurs décrivent une situation dans laquelle une firme doit emprunter des fonds auprès d'une banque pour mener à bien son activité risquée, et la banque peut supporter une partie du montant des réparations. Toutefois, le cadre d'analyse posé par Dionne & Spaeter (2003) est plus large que celui de Pitchford (1995) en ce sens qu'il suppose que l'investissement en prévention est monétaire, et que la firme doit arbitrer entre investissement productif (permettant d'accroître les revenus d'activité) et investissement préventif (permettant de déplacer la distribution de probabilité de dommages vers des dommages de plus faible ampleur). Cet arbitrage, effectué par la firme, n'est pas observable par la banque (aléa moral). En outre, tout comme Boyer & Laffont (1997), Dionne & Spaeter (2003) admettent un mode d'extension de responsabilité plus proche de la loi CERCLA que celui admis par Pitchford (1995), en ce sens que la banque paie des réparations uniquement si la firme n'est pas en mesure d'en payer l'intégralité (insolvabilité). Par ailleurs, conformément à certaines législations environnementales, l'indemnisation des victimes est prioritaire sur le remboursement des créances bancaires. Dès lors, en cas d'accident, lorsque la firme est insolvable, la banque ne peut recouvrer la somme qu'elle a prêtée et doit payer le montant restant dû au titre des réparations. Les auteurs démontrent le résultat suivant.

Proposition 6 ***(Dionne & Spaeter, 2003)***

En présence d'aléa moral (de la firme sur la banque), une firme potentiellement insolvable devant investir simultanément dans des activités préventives et productives peut investir davantage en prévention que ce qui serait socialement souhaitable.

En présence d'insolvabilité potentielle de la firme, l'internalisation incomplète du risque qui en résulte conduit à une infériorité du bénéfice marginal privé de la prévention sur le bénéfice marginal social. Mais le coût marginal privé de l'investissement en prévention est également inférieur à son coût marginal social, car la firme évalue ce coût uniquement sur les états du monde pour lesquels elle est solvable [22] : les dépenses en prévention sont financées par la dette contractée auprès de la banque, dette qui n'est remboursée

22. Comme dans Beard (1990), l'investissement en prévention réduit la valeur liquidative de la firme.

qu'en cas de solvabilité. Une part du coût marginal en prévention est alors externalisée, réduisant le coût privé par rapport au coût social. Bien que l'investissement en prévention se fasse au détriment de l'investissement productif, réduisant alors le revenu espéré d'activité de la firme, il est tout de même possible que le bénéfice marginal privé de l'investissement en prévention au-delà du niveau socialement souhaitable soit supérieur à son coût marginal privé. Ce résultat renforce celui de Beard (1990), puisqu'il est ici obtenu dans un contexte plus contraignant d'arbitrage entre prévention et production. Pour finir, les auteurs mettent en évidence trois effets qu'exerce l'extension de la responsabilité à la banque sur le bien-être social. Le premier est positif et consiste en l'augmentation du montant des réparations versées aux victimes. Un second effet, dont l'impact est incertain, est mis en évidence. L'extension de responsabilité à la banque l'amène à accroître le coût du crédit pour couvrir le risque supplémentaire. Comme dans Pitchford (1995), cette hausse du coût du crédit va entraîner une diminution du bénéfice marginal de prévention puisque l'état du monde "non accident" est moins profitable. En revanche l'accroissement du coût du crédit, entraînant une diminution de la solvabilité de la firme, aura aussi un effet sur le coût marginal de la prévention (étant donné que le crédit est remboursé uniquement quand la firme est solvable, comme chez Beard (1990)). Au final, que l'investissement en prévention augmente ou diminue suite à une hausse du coût du crédit, son effet sur la probabilité des victimes à être compensées est incertain. La hausse (diminution) de l'investissement en prévention réduit (accroît) le montant espéré des pertes mais réduit (accroît) aussi les recettes de l'entreprise à cause d'une moindre productivité (productivité plus élevée). Notons que ce résultat est à distinguer de celui de Pitchford (1995), qui considère un investissement non monétaire (ne réduisant pas la solvabilité) en prévention : dans ce cas, face à une augmentation du coût du crédit, seul le bénéfice marginal de la prévention est réduit. Enfin, le dernier effet de l'extension de responsabilité décelé par Dionne & Spaeter (2003) est négatif et met en avant le fait que l'extension de responsabilité à la banque entraîne une augmentation de la prime de risque imposée à l'entreprise, ce qui diminue sa solvabilité. Etant donné ces trois effets, les auteurs montrent encore qu'une extension partielle de la responsabilité à la banque est optimale.

Avant de conclure, nous pouvons formuler deux dernières remarques. D'une part, nous pouvons noter que l'extension de responsabilité peut aussi concerner d'autres partenaires que les créanciers de la firme. Ainsi, elle peut être étendue aux partenaires industriels (sous-traitants) ou aux partenaires commerciaux (clients). Par exemple, Boyd & Ingberman (1996) étudient le cas d'une responsabilité étendue aux clients d'une firme polluante, ces clients utilisant le bien produit par la firme pour eux-mêmes produire des biens destinés à la consommation. Selon le capital investi, la firme polluante peut atteindre un certain niveau d'activité et peut engager un certain niveau de mesures de prévention. Leur étude montre notamment que l'extension de responsabilité peut réduire le bien-être social en présence d'économies d'échelle dans la production du bien. En effet, des clients ayant une forte capitalisation peuvent fuir un fournisseur lorsque ses autres clients et/ou ce fournisseur sont moindrement capitalisés, afin d'éviter de supporter des coûts trop importants en responsabilité. Il en résulte un équilibre séparateur (discrimination selon la capitalisation), qui peut être inefficace en présence d'économies d'échelle. La responsabilité étendue aux sous-traitants est étudiée notamment par Martimort & Hiriart (2006), en présence d'aléa moral entre le sous-traitant et la firme concernant le niveau de prévention adopté par le sous-traitant. Ils montrent que l'extension de responsabilité à la firme (la maison-mère) peut accroître le bien-être social lorsque celle-ci a un niveau de richesse suffisamment élevé pour mettre au point un contrat suffisamment incitatif (importantes récompenses/sanctions) ; arguant alors en faveur de l'imposition d'un seuil minimal en capital nécessaire à l'exploitation de certaines activités à risque. Enfin, d'autres alternatives à l'extension de responsabilité ont été proposées, tant dans le but d'améliorer la réparation des victimes que dans le but de mieux prévenir le risque. Ainsi, certaines analyses ont étudié la possibilité de contraindre les firmes à souscrire à une assurance responsabilité, ou encore à imposer un montant minimal en capital social avant de s'engager dans une activité risquée (voir notamment Shavell (2005)). Néanmoins, nous ne traiterons pas ces solutions alternatives, qui s'éloignent de l'analyse économique de la responsabilité.

Au cours de cette sous-section, nous avons présenté des contributions tentant de répondre aux inefficiences causées par le régime de responsabilité limitée en présence d'importants dommages potentiels, ces tentatives de réponse étant confrontées à des

difficultés en raison d'asymétries d'information entre les différents acteurs qu'elles impliquent. A présent, nous allons voir que, dans un cadre plus restreint, l'application de certaines règles de responsabilité (règles de négligence) peut également être compliquée par la présence d'informations imparfaites entre firmes et Régulateurs et Tribunaux.

2.2 Responsabilité et vision imparfaite du Régulateur et/ou Tribunal

Lors de la présentation des principales règles de responsabilité civile que nous avons faite précédemment nous avons remarqué que, selon la règle en vigueur, la définition et l'établissement de la responsabilité ne requièrent pas la même exigence en termes de collecte d'informations. Dès lors, des coûts additionnels doivent être intégrés à l'analyse, et ceux-ci peuvent influer sur la qualité des incitations *ante* accident. Certaines contributions à l'analyse économique de la responsabilité se sont penchées sur la prise en compte des asymétries informationnelles que l'on peut rencontrer lors de l'établissement de la responsabilité, spécialement en présence d'une règle de négligence (ou responsabilité pour faute). Nous distinguerons en premier lieu des contributions se focalisant sur l'application unique de la règle de négligence en information imparfaite (2.2.1), puis d'autres contributions proposant de coupler l'application de la responsabilité à un outil de régulation directe, *ex ante*, pour palier les asymétries informationnelles entre firme, Régulateur et Tribunal (2.2.2).

2.2.1 Négligence et preuves de qualité imparfaite

Fluet (1999) a développé un modèle dédié à l'étude de la règle de négligence en présence d'un aléa moral entre Tribunaux et firmes concernant les mesures de prévention adoptées.

Les hypothèses admises sont les suivantes. D représente le dommage potentiel, qui est connaissance commune. L'objectif de la firme est de minimiser la somme du coût de prévention, $c(x)$ $(c'(x) > 0)$, et du coût espéré de réparation ; x étant le niveau de prévention. La probabilité d'accident est $p(x)$ $(p'(x) < 0,\ p''(x) > 0)$. En cas d'accident, le Tribunal dispose d'une information imparfaite sur la prévention adoptée par la firme, ce qui peut mettre à mal l'application de la règle de négligence (la responsabilité étant conditionnée au niveau de prévention adopté). L'information transmise est représentée

par un vecteur Θ de signaux (dont les réalisations sont notées θ) normalisé dans [0,1], invariant en x. Sa fonction de répartition (de densité) est dénotée $G(\theta, x)$ ($g(\theta, x)$). Deux conditions sont admises :

1/ la monotonicité du rapport de vraisemblance $\frac{g_x(\theta,x)}{g(\theta,x)}$, strictement croissant en θ, ce qui signifie que la vraisemblance d'un effort de prévention élevé est d'autant plus grande que la valeur réalisée de Θ est grande ;

2/ la convexité de la fonction de répartition, i.e. $G_{xx}(\theta, x) \geq 0$, $\forall\theta$,x, ce qui signifie que la probabilité d'observer une valeur de Θ inférieure à un niveau donné ne diminue pas à taux croissant avec une augmentation de x (l'efficacité marginale de x en matière de transmission d'un "bon" signal est décroissante).

Dans ce contexte d'information imparfaite, la règle de négligence est :

$$L(x, \bar{x}) = \begin{cases} 0 & si \quad \theta \geq \bar{\theta} \\ \min[D, W] & si \quad \theta < \bar{\theta} \end{cases}$$

$\bar{\theta}$ représente le critère *de faute* (et non le standard de prévention) en ce sens que, nous le verrons juste après, en présence d'information imparfaite ce standard est partiellement déconnecté (ou lié d'une façon moins parfaite) du niveau de prévention adopté par la firme. Ainsi, la firme est responsable si la qualité du signal parvenu au Tribunal est inférieure à $\bar{\theta}$, dans le cas contraire elle est exonérée de toute responsabilité.

La firme bénéficie du régime de responsabilité limitée : sa responsabilité maximale se limite à la valeur W de ses actifs. Lorsque $\bar{\theta} < 1$,[23] la firme est responsable uniquement si le signal θ parvenu au Tribunal est inférieur à $\bar{\theta}$, ce qui se produit avec une probabilité $G(\bar{\theta}, x)$. Avec un tel mécanisme de sanction, la firme choisit x de façon à minimiser :

$$C(x) + p(x)G(\theta, x)\min[D, W] \tag{12}$$

D'une part, notons x_S le niveau de prévention qui serait adopté en présence d'une règle de responsabilité sans faute, c'est-à-dire x_S vérifie : $\arg\min_x C(x) + p(x)\min[D, W]$.

D'autre part, notons x_F le niveau de prévention d'équilibre avec le critère de faute $\theta \leq \bar{\theta}$.

L'auteur parvient au résultat suivant.

23. Lorsque $\bar{\theta} = 1$, la firme est toujours reconnue responsable : on retrouve une responsabilité sans faute.

Proposition 7 ***(Fluet, 1999)***

(i) Quel que soit le niveau de richesse de la firme (que la firme soit insolvable ou non en cas d'accident), le niveau de prévention adopté en présence d'une règle de négligence, x_F, est supérieur à celui qui serait adopté en présence d'une règle de responsabilité sans faute, x_S, si et seulement si :

$$\frac{-G_x(\theta, x_S)}{1 - F(\theta, x_S)} > \frac{-p'(x_S)}{p(x_S)} \tag{13}$$

(ii) Lorsque le niveau de richesse de la firme n'est pas trop faible, le niveau de prévention adopté en présence d'une règle de négligence (x_F) peut être (socialement) optimal.

Preuve : voir en Appendice A, preuve 1. ♦

Avant toute chose, rappelons qu'en présence d'un régime de responsabilité limitée, lorsque la firme est potentiellement insolvable en cas d'accident la règle de responsabilité sans faute fournit des incitations sous optimales à la prévention (voir Shavell (1986)). Dans ce cas, la règle de négligence est préférable dès lors qu'elle permet d'atteindre un niveau de prévention plus élevé.

Considérons le Point (i) de la Proposition 7 dans ce contexte d'insolvabilité potentielle. Le côté droit de l'inéquation (13) représente la réduction proportionnelle de la probabilité d'accident suite à un accroissement de l'effort de prévention, à partir du niveau de prévention x_S atteint en présence d'une règle de responsabilité sans faute. Le côté gauche représente l'augmentation proportionnelle de la probabilité d'être exonéré de responsabilité, en présence d'une règle de négligence, suite à un accroissement du niveau de prévention, à partir du niveau de responsabilité sans faute x_S (pour un standard de prévention donné). Ainsi, le Point (i) nous enseigne qu'en cas d'insolvabilité potentielle, la règle de négligence est préférable à la règle de responsabilité sans faute lorsque la probabilité que la firme soit exonérée de toute responsabilité est plus sensible à l'effort de prévention que la probabilité d'accident elle-même. En effet, en présence d'une règle de négligence, la principale préoccupation d'une firme n'est pas l'occurrence ou non d'un accident mais le fait d'en être reconnue responsable ou non. Une firme sera alors incitée à adopter un niveau de prévention plus important qu'en présence d'une règle de responsabilité sans faute si, à partir de ce niveau de prévention x_S, la production d'un effort supplémentaire de prévention augmente davantage (toute proportion gardée) la probabilité d'être exonérée de responsabilité qu'elle ne réduit la probabilité d'accident.

Suivant ce raisonnement, l'auteur montre aussi qu'un renforcement du critère de faute $\bar{\theta}$ (de façon à rendre l'exonération de responsabilité moins aisée) permet d'accroître le niveau de prévention adopté par les firmes. En effet, une augmentation du critère $\bar{\theta}$ accroît la sensibilité de la probabilité d'exonération de responsabilité à l'effort de prévention, incitant ainsi les firmes à accroître leur effort de prévention. Cet effet peut alors compenser la désincitation à la prévention liée à la limitation de responsabilité, ce qui explique le Point (ii).
Enfin, il convient de noter qu'une particularité de ce résultat tient dans le fait que, étant donné le contexte d'information imparfaite, il y a une déconnexion entre le standard de prévention $\bar{\theta}$ et le niveau de prévention socialement souhaitable, quel que soit le niveau de solvabilité de la firme. Ainsi, lorsque les signaux d'information transmis au Tribunal ne sont pas suffisamment informatifs, la règle de négligence est toujours sous optimale. En revanche, lorsque les signaux sont suffisamment informatifs, Fluet (1999) nous apprend qu'il existe un niveau de critère de faute $\bar{\theta}$ pour lequel la règle de négligence incite davantage à la prévention que la règle de responsabilité sans faute.

Bien entendu, l'analyse n'est pas exhaustive et il convient alors de tempérer ces résultats. En effet, cette étude considère un risque additif alors que l'analyse économique de la responsabilité civile a très tôt démontré l'insuffisance de la responsabilité pour faute en présence d'un risque multiplicatif, fonction du niveau d'activité (voir par exemple Shavell (1980)). En outre, nous pouvons noter que d'autres éléments peuvent venir perturber la fixation du standard de faute en présence d'une règle de négligence en information imparfaite. Les études que nous avons présenté jusqu'à présent supposent que les parties ont un accès gratuit aux éléments de preuves (même si leur qualité informationnelle n'est pas parfaite, comme dans Fluet (1999)), et que le procès pour dommage a toujours lieu. En réalité, l'accès aux preuves peut être coûteux et les victimes peuvent ainsi être dissuadées de s'engager dans un procès coûteux dont l'issue peut être incertaine, notamment si les dommages sont dispersés sur un nombre important de victimes faiblement atteintes. Le critère de faute peut alors réduire ce coût (voir par exemple Deffains & Demougin (2008b)). Cependant nous pouvons supposer que, dans le cadre d'accidents technologiques de grande ampleur, les dommages, bien que dispersés, sont suffisamment importants pour inciter les victimes à engager des poursuites (voire la collectivité peut

le faire en leur nom (par exemple, saisine du Ministère Public)).

2.2.2 Coupler régulation *ex ante* et régulation *ex post* pour palier aux problèmes informationnels

Enfin, nous pouvons noter la contribution de Hiriart *et al.* (2004) qui, s'inspirant d'une analyse initialement développée par Shavell (1984), étudie la combinaison optimale entre régulation *ex ante*, avec un Régulateur fixant une norme de prévention à appliquer, et régulation *ex post*, avec un Juge pouvant infliger une pénalité à la firme s'il découvre qu'elle n'a pas respecté la norme. Les firmes, bénéficiant du régime de responsabilité limitée, sont caractérisées par l'ampleur du dommage potentiel qu'elles peuvent causer (leur "type"). Ainsi, la norme de prévention à adopter dépend du type de firme. Cependant, le type de firme est non observable par le Régulateur, ni par le Tribunal (sélection adverse) : la norme imposée à la firme dépend alors de sa propre déclaration au Régulateur concernant le dommage qu'elle peut potentiellement infliger. Lorsque le niveau d'effort de prévention adopté par la firme est observable, les auteurs montrent qu'il est possible de déterminer un contrat (des transferts selon l'état "accident" ou "non accident", et une pénalité en cas de procès révélant la non confirmité à la norme) pour lequel la firme révèle son profil et adopte le niveau de prévention optimal malgré la limitation en responsabilité. En revanche, lorsqu'un problème d'aléa moral vient s'ajouter (prévention non observable), aucune norme ne peut être imposée. Lorsque le niveau de richesse de la firme est suffisamment faible, les auteurs montrent que la limitation de responsabilité de la firme empêche l'élaboration d'un contrat suffisamment incitatif pour induire un comportement de prévention optimal.

Au cours des deux dernières sous-sections, nous avons mis en avant certaines difficultés dans l'applicabilité de la responsabilité civile, causées par la présence d'asymétries informationnelles entre différents acteurs : la première sous-section a mis en avant les difficultés liées à l'extension de responsabilité aux partenaires des firmes lorsque celles-ci disposent d'une information privée, la seconde a notamment souligné la difficulté d'établir un standard de faute lorsque les preuves de négligence (ou non-négligence) fournies au Tribunal sont de qualité imparfaite. Mais outre les problèmes d'asymétries informationnelles entre différents acteurs, l'information disponible sur le risque à prévenir peut

parfois être *imprécise*. Ainsi, bien qu'étant connaissance commune, l'information disponible peut empêcher de définir avec précision la nature véritable du risque (probabilité et/ou dommage imparfaitement définis). Dans de telles situations, le niveau optimal de prévention est incertain et il convient alors d'entreprendre, si possible, des recherches d'informations complémentaires afin de mieux définir (et prévenir) le risque. A cet égard, la responsabilité civile peut aussi jouer un rôle incitatif qu'il convient d'analyser.

2.3 Règles de responsabilité civile et risques imparfaitement connus

Au cours de cette sous-section, nous présenterons en premier lieu les études pionnières (2.3.1) avant de présenter des contributions plus complexes, introduisant notamment la possibilité de recevoir des signaux d'information imparfaitement fiables (2.3.2).

2.3.1 Les analyses pionnières : processus déterministe et signal parfait

A notre connaissance, la première réflexion traitant de l'impact des règles de responsabilité sur le comportement des firmes en matière de recherche d'informations sur un risque imparfaitement connu a été réalisée par Schwartz (1985) dans le cadre de la responsabilité-produit. Bien que l'analyse de la responsabilité-produit traite de la réparation de dommages du fait d'autrui, cette analyse est à distinguer des autres analyses de responsabilité civile à plusieurs égards. En premier lieu, cette analyse admet généralement la présence de dommages potentiels dont l'ampleur ne peut entraîner la faillite de la firme ou, à tout le moins, elle suppose une compensation complète du dommage (à notre connaissance, la seule exception est l'analyse de Baumann *et al.* (2011)). En outre, cette analyse suppose l'existence d'une relation contractuelle entre l'agent source du risque et la victime (par exemple, producteur - consommateur), en ce sens que la victime peut agir sur le comportement de la firme via une relation de marché (modification de la demande, mesures de rétorsions,...). Ce contexte est très différent de la relation "entre étrangers" (au sens de Shavell (1980)) que nous considérons dans l'analyse des risques technologiques majeurs.

Schwartz (1985) expose le problème d'une firme fabriquant un produit dont le degré de dangerosité n'est pas parfaitement connu. Avant de le commercialiser, la firme peut engager une politique de recherche d'informations sur sa toxicité. En effet, dans le cadre de la responsabilité-produit, en cas d'accident la firme peut être reconnue responsable si le

message d'avertissement relatif à la dangerosité du produit est insuffisamment précis ou absent. En outre, dans le cadre d'une responsabilité basée sur le *remote risk*[24], la firme peut être tenue responsable d'un dommage causé par un produit dangereux qu'elle a commercialisé, même si elle a engagé des recherches de toxicité/dangerosité appropriées au moment de la mise en vente, et que l'état des connaissances du moment n'aurait pas permis de déceler un tel degré de dangerosité[25]. L'auteur admet que la firme dispose initialement de croyances quant à la moyenne de la distribution des profits possibles[26], quant à son écart-type, et dispose du coût de finalisation du processus de recherche (jusqu'à connaître le véritable risque). Au fur et à mesure que la firme recherche de l'information sur le risque, la dangerosité "véritable" du produit se précise, l'écart-type de la distribution des profits se réduit tandis que la moyenne de cette distribution s'accroît (diminue) à mesure qu'une dangerosité faible (élevée) se précise.

La recherche d'informations consiste en une succession de phases de recherche ou de tests qui sont coûteuses. Avant chaque nouvelle étape de recherche, au vu de l'information dont elle dispose, la firme peut (i) stopper la recherche, vendre le produit et émettre une indication sur la base de l'information disponible, (ii) stopper la recherche et ne pas vendre le produit, (iii) continuer la recherche. L'auteur définit une "région de continuation"[27] de la recherche définissant des bornes sur la moyenne de la distribution des profits possibles : au delà d'une borne supérieure la firme arrête la recherche et commercialise le produit, en deçà d'une borne inférieure la firme stoppe la recherche et ne vend pas le produit, entre les deux bornes la firme poursuit la recherche ; l'ampleur de cette "région" étant croissante avec l'écart-type de la distribution des profits possibles et décroissante avec le coût de la recherche. Cependant cette étude reste peu formalisée et ne constitue qu'une première réflexion, une "invitation"[28] à l'élaboration de modèles plus formalisés.

24. Voir Schwartz (1985) p 691-695.

25. Dans un cadre d'information imparfaite entre Tribunal et firme, Deffains & Demougin (2008a) développe une réflexion sur le critère de faute optimal lorsque le produit comercialisé s'avère plus dangereux que prévu, sachant que l'état des connaissances scientifiques au moment de la commercialisation n'aurait pas permis de déceler ce degré de dangerosité.

26. Plus le produit est perçu comme dangereux par la firme, plus la moyenne de la distribution des profits est faible : la commercialisation d'un produit très dangereux dont la dangerosité sera "correctement" notifiée (ex : "danger de mort") engendrera peu de coûts en responsabilité mais également peu de ventes, tandis que la commercialisation d'un produit très dangereux sans aucune mise en garde engendrera des ventes plus élevées - du moins dans un premier temps - mais des coûts élevés en responsabilité.

27. Voir Schwartz (1985) p 698.

28. *Dixit* Schwartz (1985) p 703.

Une étude plus formalisée traitant de la recherche d'informations sur des risques imparfaitement connus a été fournie par Shavell (1992). Ici, l'auteur étudie le comportement d'une firme dont l'activité peut être *potentiellement* source d'un risque unilatéral d'accident. Avant toute recherche d'informations, P dénote la croyance de la firme *qu'il existe un risque d'accident*. Cet accident peut générer une perte espérée $p(x)D$, $p(x)$ étant la probabilité d'occurrence fonction du niveau de prévention x ($p'(x) < 0$, $p''(x) > 0$), D l'ampleur du dommage. L'état de la Nature alternatif (croyance $(1 - P)$) est que l'activité de la firme est sans danger. Si elle investit un montant donné $\bar{I} \geq 0$ en recherche d'information, la firme peut savoir si le risque d'accident existe ou non. La recherche d'information mène donc, avec certitude, à une information binaire : $P = 0$ (pas de risque) ou $P = 1$ (il y a un risque, $p(x)D$). Un régime de responsabilité illimitée est en vigueur (ou tout du moins l'absence d'insolvabilité potentielle de la firme).
L'objectif de l'auteur est alors de déterminer sous quelles conditions il est socialement souhaitable de rechercher de l'information sur la présence du risque, et d'analyser les incitations fournies par différentes règles de responsabilités. Mais dans ce contexte, la prévention du risque ne se limite pas à une décision en matière de prévention ; elle est composée de deux décisions : recherche d'informations, et application de mesures de prévention (étant donné l'information disponible). Dès lors, différentes règles de négligence peuvent être définies, selon l'exigence du Régulateur en matière de recherche d'informations et d'application de mesures de prévention. Ainsi sont distinguées :

1/ La règle de négligence *complète*, pour laquelle la firme est responsable si elle n'a pas adopté le niveau de prévention minimal défini par le Régulateur (optimal ici) et/ou si elle n'a pas entrepris d'activités de recherche d'informations alors qu'il aurait été socialement souhaitable de le faire ;

2/ La règle de négligence *étant donné une politique socialement optimale d'acquisition de l'information*, pour laquelle le niveau de prévention adopté par la firme est comparé à celui qu'elle aurait dû adopter en prenant une décision socialement souhaitable en termes de politique de recherche d'informations ;

3/ La règle de négligence *basée sur l'information dont dispose la partie*, pour laquelle la firme est responsable dès lors qu'elle est négligente vis-à-vis du standard qu'il convient d'adopter étant donné l'information à sa disposition ;

4/ La règle de négligence *avec présomption que l'information a été obtenue.*

Ces quatre règles de négligence sont comparées à la règle de responsabilité sans faute. Le modèle est résolu à rebours : définition de la politique de prévention (à information donnée), puis de la décision de rechercher ou non de l'information. Les décisions socialement souhaitables sont alors définies de la manière suivante. Lorsque l'acquisition de l'information est non souhaitable, le coût social d'activité est :

$$x + P.p(x)D \tag{14}$$

Le niveau optimal de prévention x_0^* est alors tel que : $1 = -P.p'(x_0^*)D$, 0 définissant l'absence de recherche d'informations.

Lorsque l'acquisition d'informations est souhaitable, le coût social de l'activité de la firme est nul si l'information révèle qu'il n'existe aucun risque d'accident. Le niveau de prévention x optimal est nul. En revanche, s'il existe un risque d'accident le coût social est :

$$x + p(x)D \tag{15}$$

Le niveau de prévention socialement souhaitable $x_{\bar{I}}^*$ est alors tel que : $1 = -p'(x_{\bar{I}}^*)D$.

La définition du comportement optimal en matière d'acquisition d'informations nécessite de déterminer la valeur sociale brute de l'information. Celle-ci est égale à la somme (pour chaque état de la Nature - existence d'un risque ou non) de la différence de coût d'activité entre "ne pas rechercher de l'information" et "rechercher de l'information". A cette valeur brute est retranchée le coût $\bar{I}$ de la recherche d'informations, donnant lieu à sa valeur nette. Si cette dernière est positive, alors il est optimal d'investir en acquisition d'informations. Nous obtenons ainsi :

$$\begin{aligned} & V_{nette} = V_{brute} - \bar{I} \\ & \Leftrightarrow [V_{risque} + V_{sansrisque}] - \bar{I} \\ & \Leftrightarrow [((x_0^* + P.p(x_0^*)D) - (x_{\bar{I}}^* + p(x_{\bar{I}}^*)D)) + (x_0^* - 0)] - \bar{I} \end{aligned} \tag{16}$$

Ainsi il est socialement souhaitable d'investir en acquisition d'informations si (16) > 0.

Proposition 8 ***(Shavell, 1992)***

En l'absence de certitude quant à l'existence d'un risque, et en présence d'information parfaite entre Tribunal et firme :

(i) la règle de responsabilité sans faute est optimale

(ii) la règle de responsabilité pour faute complète est optimale.

Preuve : voir en Appendice A, preuve 2. ♦

Ici, une responsabilité sans faute permet l'adéquation entre problème privé et problème social, conduisant à un comportement optimal. Concernant la règle de responsabilité pour faute *complète*, deux cas sont à distinguer. Lorsque le régulateur estime qu'il n'est pas souhaitable de rechercher de l'information, cette règle permet à la firme d'être exonérée de responsabilité dès lors que $x \geq x_0^*$. L'information permet d'économiser x_0^* lorsqu'il n'y a pas de risque, mais ce bénéfice est faible : la firme ne recherche pas d'informations et adopte $x = x_0^*$ pour échapper à toute responsabilité. Lorsqu'il est optimal de rechercher de l'information, la firme est "automatiquement" reconnue responsable si elle n'effectue aucune recherche d'informations [29]. Dans le cas contraire elle peut ne supporter aucun coût s'il n'y a pas de risque, et être exonérée de responsabilité si elle adopte $x = x^*$ lorsqu'un risque existe : ces bénéfices sont suffisamment importants l'inciter à rechercher de l'information.

Proposition 9 ***(Shavell, 1992)***

En présence d'une règle de négligence avec présomption que l'information a été obtenue, les incitations à la recherche d'informations sont supérieures à ce qui serait socialement souhaitable.

Preuve : voir en Appendice A, preuve 3. ♦

Avec une telle règle, une firme est responsable en cas d'accident dès lors que $x < x_{\bar{I}}^*$. Considérant une firme non informée, une inadéquation se créé entre le niveau de prévention permettant de minimiser le coût espéré ($x = x_0^*$) et celui permettant d'être exonérée de toute responsabilité ($x = x_{\bar{I}}^*$). Si, sans information, la firme est incitée à adopter $x = x_{\bar{I}}^*$, alors l'économie de coût réalisée en cas de découverte de l'absence de risque est importante. Ceci peut conduire à une situation dans laquelle une firme recherche de l'information alors que ce n'est pas optimal.

29. La situation est alors similaire à une responsabilité sans faute.

Shavell (1992) pose ainsi les bases de l'analyse de la relation information-responsabilité en développant une analyse complète de l'optimalité des incitations fournies par toute une batterie de règles de responsabilité. Cependant, ce modèle doit être étendu dans la mesure où il pose des hypothèses simples, notamment en termes de précision du signal d'information reçu (qui est parfaite).

2.3.2 Investissement en recherche d'informations et possibilité de recevoir des signaux imparfaitement fiables

Plus récemment, Chemarin & Orset (2010) ont développé une analyse plus complexe, relâchant l'hypothèse de perfection du signal d'information reçu. Dans cette étude les auteurs, qui ne s'inscrivent pas dans le champ de l'économie du droit, souhaitent avant tout mener une analyse comparative des décisions prises par différents types d'entrepreneurs qui ont des préférences différentes pour le présent. Néanmoins, une analyse comparative des incitations exercées par une règle de responsabilité sans faute et de celles fournies par une règle de négligence est développée.

Cette analyse décrit le comportement d'un entrepreneur faisant face à un projet innovant mais risqué, dont le risque est imparfaitement connu. Le problème est exposé en trois périodes. A la période 0, l'entrepreneur investit un montant d'actifs $E > 0$ dans un projet. Deux degrés de dangerosité du projet sont possibles. Si l'état H (L) prévaut, la probabilité de dommage inhérente à ce projet est p^H (p^L), $p^H > p^L$. La croyance *a priori* de l'entrepreneur en la réalisation de H est $P(H)$ (sa croyance en L est $(1 - P(H))$). A la même période, l'entrepreneur peut investir $I \in [0, +\infty[$ en recherche d'informations afin d'obtenir en période 1 un signal $\theta = l, h$. Un signal l (h) indique que le véritable état du monde serait L (H). La fiabilité du signal θ est représentée par la fonction $f(I) = P(h|H, I) = P(l|L, I)$ $(f'(I) \geq 0,\ f''(I) < 0)$. Autrement dit, la fiabilité du signal est représentée par la probabilité que le signal reçu soit en adéquation avec le *véritable* état de la Nature, et cette fiabilité est croissante avec le montant I investi. Ainsi, avant tout investissement éventuel en recherche d'informations, la probabilité espérée de dommage est :

$$E(p) = P(H)p^H + (1 - P(H))p^L$$

Après investissement en recherche d'informations et réception d'un signal θ, la firme conditionne ses croyances et la probabilité espérée de dommage devient :

$$E(p|\theta) = P(H|\theta)p^H + (1 - P(H|\theta))p^L$$

avec $P(H|\theta)$ la croyance en l'occurrence de l'état H conditionnelle au signal θ, après application de la règle de Bayes [30].

Ainsi, un premier apport de Chemarin & Orset (2010) est d'instaurer un continuum de montants pouvant être dépensés en recherche d'informations. En période 1, selon le signal reçu, l'entrepreneur peut stopper le projet ou l'amener à son terme. S'il décide de le mener à terme, il percevra en période 2 un revenu R_2 et subira une perte D si un accident se produit. S'il stoppe le projet en période 1, il récupère immédiatement R_1 (avec $R_1 < E$) et subira une perte D' (avec $D' < D$) si un accident se produit en période 2.

Concernant l'analyse des règles de responsabilité civile, les auteurs comparent responsabilité sans faute et règle de négligence, toutes deux appliquées en présence d'un régime de responsabilité illimitée. La comparaison porte à la fois sur l'intensité de l'incitation à investir en recherche d'informations, et sur le choix (stopper ou continuer le projet) opéré après réception du signal. Dans ce contexte, le critère de faute repose sur le montant investi en recherche d'informations. Les auteurs montrent que la règle de responsabilité sans faute n'incite pas toujours suffisamment à la recherche d'informations les entrepreneurs ayant des préférences assez importantes pour le présent, même si la recherche n'est pas très coûteuse (voire gratuite). Sachant qu'en l'absence d'information il est supposé qu'un entrepreneur a toujours intérêt à mener le projet à terme, Chemarin & Orset (2010) montrent qu'un entrepreneur, ayant une préférence suffisamment importante pour le présent, peut avoir intérêt à rester ignorant quant au degré de dangerosité du projet afin d'éviter de devoir prématurément stopper le projet en cas de réception d'un signal $\theta = h$. Concernant la règle de négligence, les auteurs montrent qu'il est toujours possible de configurer cette règle de façon à ce que des entrepreneurs n'ayant pas de préférences trop marquées pour le présent dépensent un montant $I^{min} > 0$ leur permettant d'être incités à suivre une politique précautionneuse (stopper le projet si $\theta = h$, le continuer si $\theta = l$). En revanche, cette règle est totalement inefficiente pour des

30. Nous obtenons alors : $P(H|h) = \frac{P(H)f(I)}{P(H)f(I)+(1-P(H))(1-f(I))}$ et $P(H|l) = \frac{P(H)(1-f(I))}{P(H)(1-f(I))+(1-P(H))f(I)}$

entrepreneurs ayant une préférence marquée pour le présent : un entrepreneur de ce type investit I^{min} en recherche d'informations uniquement pour bénéficier de l'exemption de responsabilité, mais n'est pas incité à suivre une politique précautionneuse.

Au final, malgré son apport en termes de modélisation du processus de recherche d'informations, cette étude comporte quelques limites dans son analyse des règles de responsabilité. Dans ce cadre d'information parfaite entre le Tribunal et l'entrepreneur, une règle de responsabilité pour faute *complète* (au sens de Shavell (1992)) pourrait être optimale. Outre l'imposition d'un niveau minimal de dépense en recherche d'informations I^{min} (tel que défini dans l'étude), la règle de négligence pourrait s'accompagner d'une obligation de suivre les indications fournies par le signal reçu. Dès lors, même les firmes ayant une préférence marquée pour le présent auraient intérêt à suivre le signal pour bénéficier de l'exonération de responsabilité même si ce signal est tel que, sans cette double contrainte légale, ces firmes n'auraient pas eu intérêt à le suivre. Dans ce cas, contrairement à ce qui est suggéré dans cette étude, le caractère "non/peu informatif" du signal d'information importe peu pour les firmes, du moment que l'exonération de responsabilité est profitable. Néanmoins, la méthodologie adoptée (présence d'un signal imparfait, conditionnement des croyances) nous aidera, dans nos chapitres 3 et 4, à poursuivre l'analyse initiée par Shavell (1992).

Nous venons de voir que la littérature relative à l'analyse économique de la responsabilité civile s'est penchée, dès les années 1980, sur le rôle que peuvent jouer ces règles de droit dans la régulation des activités à risque, et notamment des risques technologiques de grande ampleur. Cependant, comme nous l'avons mentionné en introduction générale, nous pouvons remarquer que les analyses que nous avons présenté ne considèrent pas la possibilité de changement technologique (et, *a fortiori*, la possibilité d'innover). Or, la possibilité de s'engager dans des processus visant à mettre au point et/ou à adopter des technologies nouvelles, plus efficaces, permettant de réduire le niveau de risque (à niveau de prévention donné), doit être considérée. Et dans ce cadre aussi la responsabilité civile a un rôle incitatif à jouer. En parallèle, une littérature relative aux interactions entre politiques environnementales et changement technologique (voire innovation) s'est développée. Celle-ci compare, dans différents contextes, l'efficacité de différents instruments

de politiques environnementales en termes d'incitation à adopter (voire à concevoir) des technologies de réduction des émissions polluantes plus efficaces ; mais elle laisse de côté certains aspects essentiels à la gestion de risques technologiques de grande ampleur (comme la possibilité d'insolvabilité) et ne considère pas la dimension incitative du cadre légal. Nous allons à présent voir comment un rapprochement entre ces deux littératures, qui a commencé à s'opérer à partir de la seconde moitié des années 2000, peut mener à une analyse plus large qui, nous le verrons au cours des chapitres suivants, permet d'élargir, voire de reconsidérer, certains résultats mis en avant par l'analyse économique de la responsabilité civile.

3 La responsabilité, un moteur des innovations et du changement technologique

Dans une large acception, l'innovation peut être définie comme le résultat d'un processus par lequel un agent mobilise des ressources (financières, intellectuelles, physiques) pour développer une nouvelle technologie lui permettant d'accroître l'efficacité de son effort dans la poursuite de son objectif. Le "manuel d'Oslo" (Org. pour la Coop. et le Dév. Eco. (1997)) distingue l'innovation technologique selon que celle-ci concerne un produit de consommation ou un procédé de production. Dans ce dernier cas, l'innovation se caractérise par "*la mise au point/adoption de méthodes de production ou de distribution nouvelles ou notablement améliorées. Elle peut faire intervenir des changements affectant - séparément ou simultanément - les matériels, les ressources humaines ou les méthodes de travail.*"[31] : l'innovation est donc source de progrès technique.

La Science Economique a très tôt reconnu le rôle du progrès technique (et, donc, de l'innovation) ; le progrès technnique étant le facteur clé de la croissance économique à long terme pour Solow (1956). Partant de ce constat, le champ de l'économie industrielle a essayé d'identifier les meilleurs outils politiques (brevets, récompenses, contrats de recherche, subventions,...) permettant d'inciter les firmes à s'engager dans des processus de mise au point d'innovations, processus dits de "recherche et développement"

31. Voir Org. pour la Coop. et le Dév. Eco. (1997), p9.

(R&D), en vue d'améliorer notamment l'efficacité des procédés de production. Certaines contributions en économie industrielle ont ainsi mis en avant des particularités propres au marché de la R&D (nous détaillerons ces particularités en sous-section 3.2), comme la présence de *spillovers* ou l'effet dit de *common-pool*.

Le concept de *spillovers* fait référence à l'externalité positive inhérente au processus de R&D. La Science Economique définissant la production d'une innovation comme une production de nouvelles connaissances (technologiques), une part de l'information acquise durant ce processus peut être captée gratuitement par d'autres acteurs. Les *spillovers* font alors référence au caractère de bien public que revêt l'innovation, qui peut désinciter un acteur privé à s'engager dans un processus (coûteux) de R&D (voir Arrow (1962)). Deux types de spillovers sont distingués : d'une part les *input spillovers* font référence à l'externalité qui se produit durant la phase de recherche du processus de R&D (échanges entre chercheurs,...), ils bénéficient aux autres acteurs produisant de la recherche (voir Hartwick (1984), d'Aspremont & Jacquemin (1988), Helm & Schöttner (2008), Martin (2002), Endres *et al.* (2008)). D'autre part les *output spillovers* font référence à la capacité de certains acteurs à imiter l'innovation, après que celle-ci soit développée (par exemple par ingénierie inverse (pour un produit), ou en utilisant l'information contenue dans un brevet d'invention (pour un procédé notamment) ; voir Martin (2002), Fischer *et al.* (2003)). Alors que les *input spillovers* se situent en amont de la mise au point de l'innovation (pendant la phase de recherche), les *output spillovers* se situent en aval, une fois que l'innovation est développée. Le concept de *common pool* fait référence à la non prise en compte par les firmes s'engageant dans un processus de R&D de leur impact (négatif) sur la vraisemblance de découverte d'une innovation par d'autres firmes (voir Dasgupta & Stiglitz (1980), Wright (1983), Parry (1995)). Chacun de ces deux effets altère l'optimalité du processus d'allocation des ressources à la R&D, les spillovers venant réduire les incitations à la R&D tandis que l'effet de common-pool vient les accroître.

Enfin, d'autres analyses en économie industrielle étudient les incitations à innover en tenant compte de l'incertitude inhérente au processus de R&D (Loury (1979)), de la relation entre marché de R&D et marché du produit (Dasgupta & Stiglitz (1980)), ou comparent les incitations à la R&D fournies par différents instruments de politique industrielle (Wright (1983) compare brevets, récompenses et contrats de recherche).

Par la suite, l'importance du progrès technique et le souci de favoriser les activités de R&D a dépassé le champ de l'économie industrielle pour devenir l'une des principales préoccupations des économistes de l'environnement. Ainsi, Kneese et Schultze affirment : "*Over the long haul, perhaps the most important single criterion on which to judge environmental policies is the extent to which they spur new technology towards the efficient conservation of environmental quality*" (voir Kneese & Schultze (1975), p 38). [32] Partant de ce constat, des contributions en économie de l'environnement étudient le rôle que les innovations technologiques environnementales peuvent jouer, notamment en matière de régulation des émissions polluantes.

Les premières contributions à ce mouvement mettent en avant les incitations à adopter une nouvelle technologie moins polluante (ou permettant de réduire les coûts de réduction des émissions polluantes) fournies par divers instruments de politique environnementale (taxes sur les émissions polluantes, normes de pollutions, subventions à la dépollution, permis d'émission négociables (PEN),...), en comparant les coûts auxquels doivent faire face les firmes avant et après changement technique (sous-section 3.1). Plus récemment, les analyses se sont complexifiées pour se rapprocher d'un cadre plus réaliste, en intégrant des phénomènes mis en évidence par l'économie industrielle, comme par exemple la possibilité d'imitation des innovations par des firmes concurrentes (sous-section 3.2). Enfin, nous détaillerons les analyses qui ont initié, à partir de la seconde moitié des années 2000, un rapprochement entre cette littérature en économie de l'environnement et l'analyse économique de la responsabilité civile, en vue d'accroître la portée de la responsabilité civile comme outil de régulation des risques technologiques (sous-section 3.3)

3.1 Une inspiration venue de l'économie de l'environnement

Ce n'est qu'à partir de la fin des années 1980 que l'analyse économique fait preuve d'un intérêt prononcé pour le rôle que peuvent jouer l'innovation et/ou le choix technologique dans la régulation des externalités négatives émises par les entreprises. Pour autant, des travaux précurseurs ont initié l'analyse dès les années 1970 parmi lesquels ceux de Zerbe (1970) et de Magat (Magat (1978), Magat (1979)), que nous présente-

32. Cette affirmation semble aujourd'hui faire consensus dans la littérature (voir Baumol & Oates (1988), Jaffe *et al.* (n.d.)).

rons en (3.1.1). Ces premiers travaux ont introduit quelques résultats aujourd'hui bien connus, comme la préférence généralement affichée par les économistes pour les outils dits *market-based* (créant des incitations via des mécanismes de marché) sur ceux dits *command-and-control* (interventions hors marché). Ensuite, nous présenterons l'analyse de Milliman & Prince (1989) qui, outre ses apports directs, a ouvert la voie à de nombreuses autres réflexions (3.1.2).

3.1.1 Une préfèrence pour les outils *market-based*

Ainsi, Zerbe (1970) analyse une situation dans laquelle une firme fabrique un bien dont la production nécessite l'utilisation d'une technologie émettant des rejets polluants (technologie de production). Cette firme est également dotée d'une technologie de réduction des émissions polluantes (technologie d'abattement) qui permet, pour un niveau de production donné, de réduire le niveau de polluants émis. La firme a la possibilité de mettre au point une technologie d'abattement plus efficace (réduction du coût d'abattement d'une quantité donnée de polluants) ; la technologie de production restant inchangée. Via une analyse graphique [33], Zerbe (1970) démontre la supériorité de la taxe unitaire (sur chaque émission pollutante) sur la norme (ou le standard) d'émission maximale en termes d'incitation à innover. En effet, en présence d'une taxe comme en présence d'une norme, la nouvelle technologie d'abattement permet de réduire le coût de contrôle des émissions déjà contrôlées avec la technologie initiale. Cependant, la présence d'une taxe unitaire permet en outre de réaliser des économies sur le paiement de la taxe en augmentant la quantité d'émissions contrôlées (cette nouvelle réduction des émissions coûtant moins cher que la taxe) ; ce qui n'est pas possible en présence d'une norme fixant la quantité d'émissions contrôlées. L'introduction de la nouvelle technologie permettant une réduction de coûts plus importante en présence d'une taxe unitaire que d'une norme, l'incitation à innover est alors plus importante en présence d'une taxe.

L'analyse de Magat (Magat (1978), Magat (1979)) ne contredit pas cette assertion mais va au-delà de celle de Zerbe (1970). Magat (1978) développe un modèle dans lequel l'allocation de l'investissement en R&D est décomposé entre innovation productiviste (*output technology innovation*), permettant d'accroître l'efficacité de la technologie de production, et innovation environnementale, permettant d'accroître l'efficacité de la

33. Analyse reprise par Magat (1979), p 14-15.

technologie d'abattement. De ce fait, ce modèle dynamique tient compte des possibilités de progrès technique tant dans le domaine environnemental que dans le domaine productif, l'investissement en innovation productiviste permettant alors d'accroître le niveau de production mais aussi le niveau en rejets polluants émis (chaque unité produite nécessitant l'émission de rejets polluants). C'est dans cette optique que Magat distingue les taxes et normes *fixes* (*fixed charges/standards*), c'est-à-dire dont la configuration ne varie pas dans le temps (comme Zerbe (1970) l'entend), d'une vision plus dynamique dans laquelle les outils de politique environnementale doivent s'adapter aux progrès des technologies de production, puisque ceux-ci engendrent un accroissement du niveau de production (et de pollution) à plus long terme.

Proposition 10 ***(Magat, 1978 ; Magat, 1979)*** *Soit une situation dans laquelle le progrès technique permet d'améliorer la technologie de production et/ou la technologie d'abattement des émissions polluantes.*

La taxation "fixe" des émissions n'est pas équivalente à une norme "fixe" de pollution : en cas d'adoption d'une technologie d'abattement plus efficace, la taxation engendre d'abord une réduction trop importante des émissions, puis une réduction insuffisante.

Magat montre que la taxe n'empêche pas l'innovation productive. Elle permet alors une croissance continue du niveau d'activité : à terme, une augmentation des émissions émises est constatée même après l'adoption d'une nouvelle technologie. C'est en cela que l'auteur affirme que la taxe fixe n'est pas équivalente au standard fixe, puisqu'elle ne permet pas de contrôler le niveau des émissions dans le temps. Par conséquent, en présence d'une taxe unitaire sur les émissions polluantes, si le Régulateur souhaite fixer la quantité d'émissions rejetée (comme un standard pourrait le faire - taxe "équivalente" au standard), il doit dans un premier temps réduire le taux de taxation après changement technique afin de tenir compte de l'efficacité accrue de la nouvelle technologie (et éviter une réduction trop importante des émissions). Ensuite, à mesure que l'innovation productiviste permet d'accroître la production de la firme (et donc la quantité de pollution émise), le Régulateur doit accroître le taux de taxation pour inciter la firme à réduire la quantité de ses émissions polluantes.

De prime abord, ce résultat semble opposé à celui de Zerbe (1970) et de ceux rencontrés par la suite dans la littérature [34]. Cependant, cette différence de résultats s'explique

34. Il est communément admis que l'ajustement de la taxe (après innovation) doit se faire à la baisse

aisément par le fait que l'analyse de Zerbe suppose que le niveau d'activité est exogène.

3.1.2 Instruments de politique environnementale et incitations à l'innovation : de multiples pistes de réflexion

Parmi les principales études comparatives des instruments de politique environnementale en matière d'incitation à innover ou à adopter des technologies "vertes", nous pouvons nous pencher sur Milliman & Prince (1989). Ces auteurs effectuent une analyse graphique des incitations à promouvoir le changement technique dans le domaine des technologies de réduction des émissions polluantes, au niveau de la firme, dans une industrie composée d'une firme innovante et de firmes non-innovantes identiques [35]. Cinq instruments sont analysés : standards sur les émissions (*direct controls*), subventions, taxes, permis d'émission négociables (PEN) alloués gratuitement (*grandfathered*), PEN alloués aux enchères. Le processus de changement technologique est décomposé en trois étapes : *innovation*, diffusion de l'innovation (dans l'ensemble de l'industrie), et réajustement optimal de la politique environnementale. Cependant, les auteurs ne modélisent pas le processus de R&D : ce qu'ils nomment *innovation* consiste seulement, pour la firme "innovante", en l'adoption d'une technologie d'abattement moins coûteuse (et non en l'investissement dans un processus de R&D). Il s'agit donc d'un changement technique, la nouvelle technologie étant déjà disponible. Considérant que seule la firme innovante peut disposer de la nouvelle technologie, la question de la *diffusion* cherche à savoir si la firme innovante a intérêt ou non à diffuser sa nouvelle technologie auprès des autres firmes de l'industrie. Quant au réajustement optimal de la politique environnementale, il s'agit de la modification de la configuration de cette dernière (modification du taux de taxation, du nombre de PEN,...) en vue d'atteindre le nouveau niveau optimal de pollution (considérant la nouvelle technologie utilisée dans l'industrie).

Les incitations à s'engager dans chacune des trois étapes (mesurées en termes de différence de coût avant et après engagement) sont étudiées, en distinguant la firme innovante des autres firmes. Le fait de comparer autant d'instruments, de distinguer deux types de firmes, et d'étudier les incitations fournies à chaque étape [36] du processus du changement

afin de tenir compte du moindre coût d'abattement des émissions, et éviter ainsi une réduction trop importante des émissions. Voir Parry (2001) p 2-4, voir Milliman & Prince (1989) p 251 par exemple.

35. Jung *et al.* (1996) analysent la diffusion d'une nouvelle technologie d'abattement au sein d'une industrie composée de firmes hétérogènes.

36. Par exemple Downing & White (1986), qui utilisent la même méthodologie d'analyse graphique, ne tiennent pas compte de la possibilité de diffusion de l'innovation au sein de l'industrie.

technologique constituent les apports essentiels de cette analyse. Les auteurs admettent un cadre d'analyse simple en supposant une information parfaite entre le Régulateur et les firmes ainsi qu'un niveau d'activité productive exogène [37].

Proposition 11 ***(Milliman & Prince, 1989)*** *Concernant les incitations à innover et diffuser l'innovation dans l'industrie :*

(i) la taxation des émissions et les PEN fournissent les incitations les plus importantes à l'innovation. Le standard d'émission est l'instrument le moins incitatif.

(ii) les PEN alloués aux enchères fournissent des incitations à la diffusion plus importantes que la taxation. Les PEN alloués gratuitement désincitent à la diffusion.

(iii) la taxation et les PEN alloués aux enchères sont les instruments procurant le plus d'incitations sur l'ensemble de ces deux étapes.

Preuve : voir en Appendice A, preuve 4. ♦

Si la préférence pour les outils *market based* (taxe, subvention et PEN) sur les outils *command and control* (standard/norme) est partagée par la plupart des économistes, le classement parmi les outils *market based* est quant à lui très discuté. Ainsi, par exemple, Requate & Unold (2003) trouvent que la taxe peut prédominer sur les permis dans un contexte autorisant une diffusion incomplète de la technologie dans l'industrie. Parry (1998) met en avant l'influence de l'ampleur de l'avancée technologique issue de l'innovation sur le classement entre taxe et PEN alloués gratuitement.
En outre, les analyses développées à la suite de Milliman & Prince (1989) se sont considérablement complexifiées, notamment pour tenir compte des imperfections du marché des biens produits et/ou du marché des technologies nouvelles, et des éventuelles interactions possibles entre ces marchés. Par exemple Requate (1998) considère une firme innovante face à des firmes non-innovantes. Toutes ces firmes se font concurrence sur le même marché des biens, ce marché étant imparfaitement concurrentiel (concurrence à la Bertand). Dans ce contexte d'interactions entre décisions de production et décisions en matière d'émissions polluantes, il trouve qu'une taxe peut induire une diminution du bien-être social, contrairement aux PEN. David *et al.* (2011) se penchent sur la configuration optimale de la taxation des émissions polluantes dans un contexte admettant un marché des biens parfaitement concurrentiel (une firme représentative, preneuse de prix),

37. Ici encore, les conclusions de Magat (1979) ne seront pas partagées.

mais un marché des technologies vertes imparfaitement concurrentiel (concurrence à la Cournot). Dans un contexte similaire, David & Sinclair-Desgagné (2010) s'intéressent à la combinaison optimale entre taxer les émissions polluantes d'une part, et subventionner l'abattement des émissions émises ou subventionner la production de technologies vertes d'autre part ; les auteurs montrant alors que seule la taxation ou une combinaison taxe-subvention des technologies vertes peut être optimale.
Enfin, nous pouvons également noter qu'une autre voie de recherche ouverte par Milliman & Prince (1989) concerne l'évolution, l'ajustement de la configuration de la politique environnementale dans le temps. En effet, Milliman & Prince (1989) montrent que l'ajustement de la politique environnementale après changement technologique est profitable aux firmes uniquement en présence d'une taxation unitaire sur les émissions polluantes. Cadot & Sinclair-Desgagné (1995) mettent en scène un Régulateur tiraillé entre la volonté de mettre en place une norme environnementale plus stricte, et le souci de ne pas altérer la compétitivité des firmes domestiques (qui voudraient retarder l'application de la norme). Les auteurs montrent que la menace de la mise en oeuvre d'une norme plus stricte peut inciter les firmes à développer une technologie satisfaisant le nouveau standard, en adoptant un schéma de régulation tel que la probabilité de mise en place du nouveau standard décroît à travers le temps, à mesure que les firmes montrent qu'elles améliorent (graduellement) l'impact environnemental de leur technologie de production.

Cependant, malgré l'intérêt qu'il doit être porté à ces pistes de réflexion, nous allons orienter notre analyse dans une autre direction. Comme nous l'avons dit précédemment, nous souhaitons poursuivre un rapprochement (naissant) entre l'analyse économique de la responsabilité civile et l'économie de l'environnement en reconsidérant la régulation des activités à risque dans un cadre de changement technique, voire d'innovation. Ainsi, nous allons désormais nous pencher sur la modélisation des processus de R&D et des spécificités du marché des technologies nouvelles, en considérant pour l'instant des contextes de marchés et d'informations parfaits. L'analyse de Milliman & Prince (1989) considère la possibilité de breveter l'innovation, afin que l'innovateur puisse s'approprier une part des bénéfices sociaux liés à la diffusion de son innovation, cette part variant selon la capacité des firmes non innovantes à copier l'innovation (présence de *spillovers*, voir Milliman & Prince (1989), p 261). Dans ce contexte les auteurs montrent encore

la prédominance des taxes et PEN alloués aux enchères. Néanmoins, des analyses plus récentes se sont davantage concentrées sur les spécificités du marché de la R&D, les modélisant avec plus de précision pour affiner l'étude des impacts de ces spécificités sur les performances des outils de politique environnementale en matière de promotion des technologies nouvelles. Nous allons à présent étudier ces contributions.

3.2 Identification des spécificités du marché de la R&D

A présent, nous allons présenter des analyses tenant compte de particularités inhérentes au marché de l'innovation. En premier lieu, nous présenterons une contribution nous permettant d'appréhender la question de la mise au point (innovation) et de la diffusion d'une technologie nouvelle au sein d'une industrie (3.2.1), avant de considérer des études questionnant davantage la configuration des instruments de politique environnementale, en tenant compte des impératifs de régulation des rejets polluants, des caractéristiques de l'innovation et des réactions du marché de la R&D.

3.2.1 Innovateur *vs* non-innovateurs : la politique environnementale et industrielle face aux spillovers

Plus récemment, Fischer *et al.* (2003) ont poursuivi l'analyse initiée par Downing & White (1986) et Milliman & Prince (1989) dans un contexte plus complexe, notamment en modélisant explicitement le processus de R&D. Ainsi, Fischer *et al.* (2003) comparent l'impact incitatif à l'innovation de trois outils (taxation sur les émissions, PEN alloués gratuitement et aux enchères) en tenant compte notamment du coût de l'innovation, de la capacité d'imitation des firmes non innovantes, de la décision de choix technologique des firmes et de la taille de l'industrie.

Leur modèle peut être exposé comme suit. n firmes composent une industrie concurrentielle, l'une d'entre elles étant innovante. Chaque firme émet une quantité D de polluants mais peut réduire la quantité émise d'un montant a pour un coût $c(a, \delta)$, δ étant un indicateur d'avancée technologique, avec $c'_a > 0$, $c''_{aa} > 0$, $c'_\delta < 0$, $c''_{\delta\delta} > 0$, $c''_{a\delta} < 0$, $c'_a(0, \delta) = 0$. Le modèle comporte trois périodes. En période 1, la firme innovante décide du budget à allouer à la R&D. Le coût nécessaire pour atteindre une technologie d'avancée δ est $I(\delta)$, avec $I' \geq 0$, $I'' > 0$. En période 2, les $n-1$ firmes non innovantes décident d'adopter ou non cette nouvelle technologie brevetée. Si oui, ces firmes doivent

payer chacune un prix $Y(\delta)$ à la firme innovante, si non elles peuvent utiliser une imitation leur permettant d'améliorer leur technologie actuelle d'un degré $\alpha\delta$, $0 \leq \alpha \leq 1$, α représentant la capacité des firmes à s'approprier les spillovers émis par la firme innovante ($\alpha = 1$ signifie que la technologie nouvelle est parfaitement imitable (bien public pur), $\alpha = 0$ signifie que l'imitation ne permet pas d'améliorer les performances de la technologie initiale ; l'innovation est un bien parfaitement privé). En période 3, toutes les firmes choisissent leur niveau a de réduction des émissions. Le modèle est résolu à rebours. Dès lors, pour t le "prix" d'une émission polluante [38] et pour δ donnés, chaque firme choisit a de façon à minimiser $c(a, \delta) + t(D - a)$, la somme du coût d'abattement et du coût de la pollution émise. a est alors défini de la façon suivante :

$$c'_a(a, \delta) = t \tag{17}$$

i.e. le coût marginal d'abattement doit égaliser le prix d'émission.
Une firme non innovante adopte l'innovation si son coût d'utilisation est inférieur ou égal à celui de l'imitation. Chaque firme fait son choix technique en considérant celui des autres firmes ainsi que le prix de la pollution comme donnés. Le prix maximal $Y(\delta)$ pouvant être demandé est alors tel que :

$$\begin{aligned} & Y(\delta) + c(a^\delta, \delta) + t(D - a^\delta) = c(a^{\alpha\delta}, \alpha\delta) + t(D - a^{\alpha\delta}) \\ & \Leftrightarrow Y(\delta) = [c(a^{\alpha\delta}, \alpha\delta) - c(a^\delta, \delta)] + t(a^\delta - a^{\alpha\delta}) \end{aligned} \tag{18}$$

Les exposants $\alpha\delta$ et δ désignent respectivement la solution à (17) pour une firme ayant une technologie dont l'avancée technologique est $\alpha\delta$ (imitation) ou δ (innovation originale). Aucune firme choisit d'imiter à l'équilibre, mais la menace d'imitation empêche la firme innovante de s'approprier la totalité du bénéfice social de l'innovation. De plus, on peut observer que le montant du prix maximal de vente de l'innovation dépend du prix de la pollution : il sera différent selon qu'une taxe ou qu'un système de PEN est appliqué [39].

38. Selon l'instrument, il s'agit du taux unitaire de taxation ou du prix du PEN par unité de polluant émise.

39. La diffusion de l'innovation entraîne une diminution des coûts d'abattement de la pollution au niveau de l'industrie. Ceci entraîne une chute de la demande en PEN : leur prix est alors $t = t(\delta)$ (il diminue d'autant plus que l'innovation est efficace). La diminution du prix des PEN représente un gain supplémentaire ($\Delta t(D - a^\delta)$) pour les firmes adoptant la technologie brevetée, mais la firme innovante ne peut s'approprier ce gain puisqu'une firme n'adoptant pas la technologie peut également bénéficier

Enfin, la firme innovante choisit le montant à investir en R&D afin de maximiser son profit :

$$\max_{\delta}(n-1)Y(\delta) - c(a^{\delta},\delta) - I(\delta) - t(\delta)(D - a^{\delta} - \bar{D}) \tag{19}$$

ce profit étant la somme des recettes issues de la vente de la nouvelle technologie moins le coût de réduction des émissions, le budget alloué à la R&D, et le paiement des émissions. $\bar{D}$ représente l'allocation initiale en PEN en cas de PEN alloués gratuitement. En substituant (18) à $Y(\delta)$ et après réarrangements, le budget R&D à l'équilibre est tel que :

$$\begin{aligned} I'(\delta) = &-[nc'_{\delta}(a^{\delta},\delta)] + [(n-1)\alpha c'_{\delta}(a^{\alpha\delta},\alpha\delta)] \\ &-[t'(\delta)(D - a^{\delta} - \bar{D})] + [(n-1)t'(\delta)(a^{\delta} - a^{\alpha\delta})] \end{aligned} \tag{20}$$

Quatre éléments composent le bénéfice marginal d'innovation (côté droit) : (i) l'*abatement cost effect*, i.e. la volonté de chaque n firme de payer pour bénéficier d'une diminution des coûts de réduction des émissions ; (ii) l'*imitation effect*, i.e. les pertes en volonté à payer des $n-1$ firmes non-innovantes issues des *spillovers* ; (iii) l'*emissions payment effect*, i.e. la réduction (marginale) des coûts liés aux PEN (nets de dotation initiale) pour la firme innovante due à la réduction du prix des PEN conséquente à la diffusion de l'innovation ; (iv) l'*adoption price effect*, i.e. la réduction (marginale) de la volonté à payer des firmes non-innovantes engendrée par la diminution du prix des PEN suite à la diffusion de l'innovation. Ces deux derniers éléments ne sont présents qu'en cas de PEN.

A partir de ce modèle, les auteurs comparent les différents instruments en termes d'incitation à innover ainsi qu'en termes d'effets sur le bien-être social [40].

Proposition 12 ***(Fischer et al. 2003)***

Pour une réduction suffisamment importante des émissions polluantes, il existe une valeur critique du degré α d'appropriation des spillovers au-delà (en deçà) de laquelle une

de cette diminution du prix des PEN au niveau industriel (*free-riding*). En revanche, avec une taxe, t reste fixe.

40. Nous ne détaillerons pas les analyses de bien-être, qui sont essentiellement des analyses comparatives menées pour différentes fonctions de dommage environnemental marginal / bénéfice marginal de dépollution (dans l'esprit des travaux de Weitzman (1974)). Or, ce cadre analytique est trop éloigné de celui prévalant en présence de risques technologiques.

taxation des émissions polluantes induit un niveau plus faible (plus élevé) d'innovation que des PEN alloués aux enchères.

Via une analyse graphique [41] les auteurs montrent qu'en présence d'une capacité d'imitation maximale ($\alpha = 1$, imitation parfaite), l'incitation à innover est la plus importante avec des PEN aux enchères puisqu'ils permettent à l'innovateur de bénéficier de l'*emissions payment effect* en plus de l'*abatement cost effect* : dans ce cas, avec une taxation la firme ne peut bénéficier que de l'*abatement cost effect* puisque le taux de taxation sur les émissions reste inchangé, contrairement au prix des PEN qui diminue avec la diffusion de l'innovation (*emissions payment effect*). A contrario, lorsque toute imitation est impossible ($\alpha = 0$), des recettes plus importantes issues de la vente de l'innovation peuvent être prélevées en présence d'une taxe puisque le maintien du taux de taxation avec la diffusion de l'innovation induit un *abatement cost effect* plus élevé qu'en présence de PEN aux enchères (dont le prix diminue avec la diffusion de l'innovation). Dès lors, au sein des instruments dits *market based*, il n'y a pas de classement intangible en termes d'incitation à innover : selon la capacité d'imitation des firmes, un instrument peut être préférable à un autre. Enfin, nous pouvons noter que les auteurs confirment le résultat de Milliman & Prince (1989) suggérant une moindre incitation à innover en présence de PEN alloués gratuitement en raison de l'absence d'*emissions payment effect*.

3.2.2 Concilier les impératifs environnementaux et la volonté d'innover : vers une nouvelle définition de la taxe pigouvienne ?

Les travaux de Parry (Parry (1995), Parry (2001)) analysent plus en détail les différentes imperfections du marché de la R&D.

Parry (1995) étudie la fixation optimale du taux de taxation sur les émissions polluantes dans une économie à deux secteurs. Le premier secteur est composé de firmes productives polluantes, pour lesquelles chaque unité de pollution émise est taxée. Le second est composé de firmes menant des activités de R&D visant à mettre au point une nouvelle technologie de production moins polluante, destinée aux firmes du premier secteur. Parry (1995) étudie uniquement la taxation des émissions, arguant [42] qu'elle peut offrir des gains en bien-être social supérieurs à ceux générés par des PEN lorsque l'on tient

41. Voir Fischer *et al.* (2003) p 530-531. Une démonstration formalisée est détaillée p 532.
42. Voir Parry (1995) p 71-72 et Parry (1994).

compte des imperfections du marché de la R&D. Ainsi, la présence de PEN alloués gratuitement peut inciter un innovateur (ayant un certain pouvoir de marché) à réduire la diffusion d'une innovation pour bénéficier de l'*emissions payment effect*.
L'auteur suppose que le bénéfice marginal de la production est décroissant. Concernant les activités de R&D, l'arrivée d'une firme supplémentaire dans le secteur permet d'accroître la probabilité de découverte d'une nouvelle technologie, mais cet accroissement s'amoindrit avec le nombre de firmes composant le secteur. L'activité de R&D est coûteuse, le coût d'entrée sur ce marché étant croissant avec le nombre de firmes déjà présentes dans ce secteur [43]. Lorsqu'un projet R&D aboutit, la firme concernée peut le protéger par un brevet lui conférant un pouvoir de monopole sur la fourniture de la nouvelle technologie. Initialement, l'auteur fait l'hypothèse que les firmes du secteur productif sont incapables d'imiter la nouvelle technologie de production découverte.

Proposition 13 ***(Parry, 1995)***

En présence d'une innovation brevetée et en l'absence de capacité d'imitation des firmes productives, le taux optimal de taxation des émissions polluantes est inférieur au dommage environnemental marginal, que la fonction de dommage soit linéaire ou convexe.

L'auteur montre que le taux optimal de taxation est une moyenne pondérée de deux cas extrêmes. Le premier cas est celui pour lequel le taux de taxation n'a aucun effet sur le nombre de firmes composant le secteur R&D. Dans ce cas, le seul objectif du Régulateur est de promouvoir la diffusion de la nouvelle technologie dans le secteur productif, afin de réduire la quantité agrégée de pollution émise. L'auteur montre [44] alors qu'un taux de taxation inférieur au dommage environnemental marginal est socialement souhaitable parce qu'il permet de réduire le prix demandé par la firme (monopoleur) pour vendre la nouvelle technologie, facilitant ainsi sa diffusion. Le second cas est celui pour lequel le taux de taxation n'a aucun effet sur le nombre de firmes productrices. L'objectif du Régulateur est alors uniquement d'assurer la production optimale en R&D. Ici encore, l'auteur démontre qu'un taux de taxation inférieur au dommage environnemental marginal est socialement souhaitable en vue de limiter le phénomène de *common-pool* : en

43. La convexité de la fonction de coût de R&D est justifiée par la rareté des inputs liés à la recherche : scientifiques, ingénieurs...

44. Voir Parry (1995) p 75-76 (dommages environnementaux linéaires), p 77-78 (dommages environnementaux convexes).

n'internalisant pas le fait que leur entrée sur le marché réduit la probabilité des autres firmes de découvrir la nouvelle technologie, les firmes du secteur R&D ont trop d'incitations à entrer sur ce marché [45].
En outre, lorsque la fonction de dommages environnementaux est convexe, le bénéfice social issu de la réduction des émissions polluantes est décroissant (alors que le revenu marginal issu de la commercialisation de la nouvelle technologie - le prix de la licence - est constant). Ceci justifie aussi l'utilisation d'un taux de taxation inférieur au dommage environnemental marginal (cf Parry (1995) p 78).

Ensuite, l'auteur admet que les firmes productrices, une fois l'innovation mise au point, ont la capacité d'imiter imparfaitement la nouvelle technologie.

Proposition 14 ***(Parry, 1995)***

En présence d'une capacité d'imitation des firmes productives, le taux de taxation peut être supérieur au dommage environnemental marginal si les déficiences inhérentes au système de brevet excèdent le problème de common pool.

La possibilité d'imitation vient en effet réduire le consentement maximal à payer des firmes productives pour acquérir la nouvelle technologie. Cette incapacité d'appropriation totale par la firme issue du secteur R&D des bénéfices sociaux de son innovation engendre une désincitation à l'innovation, qui peut néanmoins être compensée par un taux de taxation plus élevé, permettant d'accroître le montant de royalty maximal.

L'analyse de Parry (1995) amène plusieurs remarques. D'une part, nous pouvons constater que Parry (1995) justifie l'application d'un niveau de taxation inférieur au taux pigouvien, sauf lorsque les déficiences du système de brevet sont trop importantes ; auquel cas une taxe fixée à un taux supérieur au taux pigouvien est justifiée. Ce résultat est discuté et, selon les contextes, différents auteurs montrent qu'il ne peut être généralisé. Ainsi, dans un cadre plus complexe admettant un secteur R&D monopolistique et un second secteur, concurrentiel, composé de plusieurs firmes polluantes hétérogènes, Requate (2005) trouve qu'une taxe fixée à un taux supérieur au taux pigouvien peut être préférable : en augmentant la volonté à payer des firmes polluantes pour la nouvelle technologie, une telle taxe permet de compenser partiellement la distorsion induite par

45. Voir Parry (1995) p 76-77

la tarification de monopole de l'unique firme du secteur R&D. En revanche, l'étude de David *et al.* (2011) montre qu'un taux de taxation supérieur au taux pigouvien peut être néfaste. Considérant une situation dans laquelle les firmes du secteur productif achètent des biens et services "en bout de chaîne"[46] (*end-of-pipe*) à des firmes issues d'un secteur "environnemental" (se faisant concurrence à la Cournot), cette étude montre qu'un taux de taxation important réduit l'élasticité-prix de la demande des firmes productives, ce qui peut inciter les firmes du secteur environnemental à réduire leur production de biens "verts".

D'autre part, il faut garder à l'esprit que l'analyse de Parry (1995) reste un travail de prospection, qui est l'un des premiers à considérer les spécificités du marché de la R&D dans le cadre de la régulation des émissions polluantes via incitations au changement technologique. Il suppose une information parfaite du Régulateur sur des éléments qui semblent difficilement mesurables, réduisant la portée de ses résultats. Ainsi, il est notamment supposé que la fonction de probabilité de trouver une innovation, ou encore les élasticités-taxe des firmes du secteur R&D soient connues.

Pour finir, nous pouvons citer Parry (2001), qui complète l'analyse de Parry (1995). Parry (2001) rappelle que, en théorie, le taux de taxation optimal peut être inférieur au taux pigouvien lorsque le problème de *common pool* domine celui de l'appropriation des bénéfices de l'innovation (*spillovers*). Lorsque le problème d'appropriation domine, un taux de taxation supérieur au taux pigouvien accroît la volonté des firmes à payer pour une technologie de dépollution plus efficace, ce qui entraîne un niveau en R&D plus important. Cependant, le Régulateur doit arbitrer entre les gains issus de l'accroissement du niveau de R&D (plaidant pour une réduction de l'objectif d'émissions, i.e. une hausse du taux de taxation) et les pertes générées par une réduction trop importante des émissions polluantes. Le taux optimal de taxation dépend alors du potentiel de l'innovation : plus l'innovation permet de réduire les coûts d'abattement des émissions, plus le taux optimal de taxation sera élevé. Mais face à la difficulté d'évaluer *ex ante* le potentiel d'une innovation[47], l'auteur admet qu'agir directement sur le marché de la R&D (via des bre-

46. Par exemple, des filtres à appliquer au bout des cheminées pour filtrer les fumées polluantes,...

47. Une autre difficulté informationnelle réside dans l'origine de l'innovation. Lorsque l'innovation résulte de recherches coûteuses (budget R&D spécifique), le taux optimal de taxation peut être supérieur au taux pigouvien en cas de problème d'appropriation. En revanche, lorsque l'innovation résulte d'un processus d'apprentissage par l'expérience (*learning by doing*), un taux de taxation supérieur au taux pigouvien n'est pas justifié.

vets, des subventions ou des prix) peut être plus efficace et générer moins de distorsions.

Nous venons de voir que depuis Downing & White (1986) ou Milliman & Prince (1989), l'analyse des incitations au changement technique et à l'innovation en matière de technologies de dépollution s'est étoffée, notamment en prenant en compte certaines spécificités de la R&D. Mais ces analyses peuvent (et doivent) être étendues. Des approfondissements de ces modèles peuvent être envisagés en adoptant une vision plus globale en termes de maximisation du profit. Une telle approche permettrait de mesurer la robustesse des analyses précédentes lorsque, par exemple, la nouvelle technologie entraîne une modification de la fonction de production ; l'impact de la nouvelle technologie sur le niveau des émissions n'aurait plus une source unique. *Dans le chapitre 2 de la présente thèse, nous emprunterons un tel cheminement. Nous étudierons les incitations au changement technologique dans une optique de maximisation du profit, en présence d'un risque multiplicatif, de sorte que la dépendance du montant du dommage au niveau d'activité entraîne des interactions multiples entre choix technique, niveau de production et niveau du risque.* En outre, nous avons pu constater que cette littérature laisse de côté la responsabilité civile comme outil incitatif au changement technologique, alors que la législation en matière de responsabilité environnementale se développe de plus en plus. A présent, nous allons présenter les contributions, récentes, qui ont amorcé le rapprochement entre économie de l'environnement (et son analyse axée sur le changement technique et l'innovation) et économie de la responsabilité ; *la présente thèse s'efforçant de contribuer à ce rapprochement dans une optique de gestion des risques technologiques de grande ampleur.*

3.3 La responsabilité, un outil (presque) oublié

A notre connaissance, les premiers travaux opérant un rapprochement entre analyse économique de la responsabilité civile et économie de l'environnement, en envisageant la responsabilité civile comme un outil incitatif au changement technologique, sont ceux d'Alfred Endres et coauteurs à partir de l'année 2006 (Endres & Bertram (2006), Endres *et al.* (2007), Endres *et al.* (2008), Endres & Friehe (2011)) [48]. Concernant l'analyse

48. White & Wittman (1983) ont comparé quotas d'émissions polluantes, taxe pigouvienne et règles de responsabilité en termes d'incitations à réduire les émissions polluantes, dans un cadre statique et sans

économique des règles de responsabilité civile, nous avons présenté des contributions étudiant les incitations à investir dans des activités de recherche d'informations visant à mieux définir le risque (voir Schwartz (1985), Deffains & Demougin (2008a)). En outre, Daughety & Reinganum (1995) analysent l'incitation à investir dans un processus de R&D permettant d'abord de définir le risque puis, éventuellement (stochasticité), de le réduire. Viscusi & Moore (1993) analysent l'arbitrage entre activités visant à réduire le risque et activités de R&D visant à mettre au point de nouveaux produits, valorisés par les consommateurs. Mais ces analyses sont menées dans le cadre de la prévention des "risques-produit" (responsabilité-produit), c'est-à-dire des risques de dommages liés au dysfonctionnement de biens commercialisés. Or, ces risques sont considérés comme "faibles" en ce sens que leur réalisation ne peut engendrer la faillite des firmes productrices (la seule exception à notre connaissance étant Baumann *et al.* (2011)). En outre, la plupart de ces analyses se focalisent sur les interactions entre firme et consommateurs, la réaction de ces derniers pouvant influer sur le profit de la première. Ce cadre particulier n'est pas adapté à notre objet d'étude, puisque les victimes potentielles que nous supposons n'ont aucune relation avec la firme émettrice du risque [49], et le dommage potentiel peut atteindre une valeur supérieure à celle de la firme (faillite potentielle).
Dans cette sous-section, nous allons opérer une distinction entre deux contributions de Alfred Endres et coauteurs. La première, d'une modélisation relativement simple, nous permettra de présenter la spécificité de son approche par rapport aux analyses habituellement menées en économie de la responsabilité (3.3.1), tandis que l'autre analyse propose une première intégration de spécificités du marché de la R&D dans ce nouveau cadre d'analyse (3.3.2).

3.3.1 Introduction d'une "double dimension" : prévention et innovation

Endres & Bertram (2006) fournissent, à notre connaissance, la première analyse comparant des règles de responsabilité en termes d'incitations à investir dans un processus de R&D visant à améliorer l'efficacité d'une technologie permettant de réduire l'intensité d'une externalité de production ; dans le cadre d'une relation entre étrangers. Leur modèle considère une firme représentative, neutre au risque, dont l'objectif est de mini-

changement technique induit. Leur analyse s'est focalisée sur des problèmes d'information imparfaite à propos du bénéfice de l'activité et du coût de la pollution subi par les victimes.

49. Voir Shavell (1980) à propos des différences entre les relations entre "étrangers" et les relations entre "vendeurs et clients".

miser le coût espéré de son activité. La firme est supposée toujours solvable. En présence d'une règle de responsabilité sans faute, le coût d'activité de la firme est :

$$C_{SL} = c_0(x_0) + c_1(x_1) + I_0 + D(x_0) + D(x_1) \tag{21}$$

avec $c_i(.)$ le coût en prévention à la période $i = 0, 1$, selon le niveau de prévention x_i ; $D(x_i)$ le montant espéré de dommages à la période i. A la période 0, la firme peut allouer un budget à la R&D, I_0, en vue de réduire le coût en prévention à la période 1 selon la relation [50] :

$$c_1(x_1) = \frac{c_0(x_1)}{f(I_0)} \tag{22}$$

avec $f(I_0) > 1$ pour $I_0 > 0$, $f(I_0 = 0) = 1$. Remarquons dans l'équation (21) que la fonction $D(.)$ est identique à travers les périodes, l'innovation impactant uniquement le coût de prévention.

A ce stade de l'analyse, deux éléments doivent être soulignés. Premièrement, bien qu'étant située dans le champ de l'économie de l'environnement, l'analyse de Endres & Bertram (2006) peut être appliquée tant à une problématique de réduction d'un risque technologique qu'à une problématique de régulation d'émissions polluantes. En effet les auteurs considèrent une firme représentative : le dommage a une source unique. Dès lors, le lien de causalité et l'étendue de la responsabilité peuvent être clairement définis. Or, les études menées en économie de l'environnement ne le supposent pas toujours. Ainsi, Endres & Friehe (2011) mettent en avant une industrie composée de deux firmes contribuant à un même dommage commun (*nonpoint source pollution*). La contribution de chaque firme au dommage commun ne peut être définie, de sorte que la responsabilité de chacune est arbitrairement établie. En outre, cette configuration instaure une interaction entre les comportements des firmes : la décision d'une firme influe sur le dommage commun et, par voie de conséquence, la responsabilité incombant à l'autre firme. Or, une telle particularité ne se retrouve pas en présence de risques technologiques pour lesquels un seul acteur peut influer sur le dommage dont il est l'unique source [51].

50. Cette contrainte est à prendre en compte lors de la minimisation de (21).

51. Il peut exister des risques technologiques de sources multiples, notamment des risques de dommages sanitaires provenant de l'accumulation de polluants émis par plusieurs acteurs dans un environ-

Une seconde particularité importante de ce modèle est à mettre en exergue par rapport aux analyses habituellement menées en économie de la responsabilité. Traditionnellement, l'économie de la responsabilité considère un agent, engagé dans une activité risquée (potentiellement dommageable), qui doit configurer sa technologie de prévention en choisissant un niveau de mesures de sécurité à appliquer, sous l'influence du cadre légal. Techniquement, pour un niveau d'activité exogène donné, ceci revient à minimiser la somme du coût en prévention, disons $c_A(x)$, et du coût espéré en réparation, $D_A(x)$, x étant le niveau de prévention. Cependant, le choix du "bon" niveau de prévention constitue seulement *un* élément de la configuration de la technologie optimale de prévention du risque. Un autre élément à prendre en compte est la *définition des fonctions* $c(.)$ et $D(.)$, qui se fait via un processus de R&D. Or, contrairement à ce qu'introduisent Endres & Bertram (2006), l'analyse économique de la responsabilité civile n'a, à notre connaissance, pas considéré cette "double dimension" de la configuration technologique : elle n'a pas considéré la possibilité d'investir dans un processus de R&D permettant d'obtenir une nouvelle fonction de dommage $D_B(x) < D_A(x)$ et/ou une nouvelle fonction de coût de prévention $c_B(x) < c_A(x)$ plus efficace(s) (i.e. $D'_B(x) < D'_A(x) < 0$ et $0 < c'_B(x) < c'_A(x)$, pour x donné).

Nous pouvons noter que Endres & Bertram (2006) (et surtout Endres *et al.* (2008), que nous verrons ensuite) définissent la capacité à investir en R&D pour obtenir une nouvelle fonction de coût en prévention $c_B(.) < c_A(.)$ plus efficace comme étant du *changement technologique* induit. Cependant, l'emploi de cette notion constitue un abus de langage par rapport à la pensée de Hicks (1932) selon laquelle la moindre modification de l'allocation des facteurs de production (pour une fonction de production donnée) constitue déjà un changement technologique. Dès lors, dans notre contexte de prévention d'un risque, toute modification du niveau de prévention x constituerait, selon Hicks (1932), un changement technologique. Néanmoins Endres & Bertram (2006) et Endres *et al.* (2008) considèrent que seule l'obtention d'une nouvelle fonction $c_B(.) < c_A(.)$ (via investissement en R&D) constitue un changement technologique, la modification du niveau de prévention ne constituant qu'une configuration supplémentaire, plus "fine", de la technologie.

nement donné. Une telle situation implique d'étudier la responsabilité multiple (avec plusieurs agents générateur de risque), ce qui n'est pas l'objet de la présente thèse.

Sachant que la firme est toujours solvable, la règle de responsabilité sans faute fournit les incitations optimales en termes de politique de prévention et d'innovation ((21) se confond avec le coût social de l'activité). Il en va de même avec une règle de négligence, dans ce contexte admettant une information parfaite entre le Tribunal et la firme ainsi qu'un niveau d'activité exogène [52].

L'analyse est poursuivie en information imparfaite. La règle de négligence est alors optimale uniquement si le Régulateur a connaissance de la *fonction de production de nouvelles technologies de prévention* (relation (22)). Seule cette connaissance peut lui permettre de choisir *l'unique* norme de prévention optimale, qui doit *à la fois* minimiser le coût d'activité (pour une fonction $c_1(.)$ *donnée*) et induire *le* niveau d'investissement I_0 permettant d'obtenir *la meilleure fonction* $c_1(.)$ possible (selon l'efficacité de l'innovation ; relation (22)). Ainsi, outre avoir connaissance des fonctions de coût en prévention et de dommage initiales (en t_0), le Régulateur doit aussi appréhender l'ensemble des possibilités technologiques (les différentes fonctions $c_1(.)$ possibles selon les valeurs de I_0) : c'est en ce sens que c'est un problème à "double dimension".
Deux cas avec information imparfaite sont développés : 1/ lorsque le Régulateur n'observe pas les possibilités techniques (éq. (22)) de la firme ; 2/ lorsque le Régulateur a une *idée* des possibilités techniques.
Dans le cas 1/, le Régulateur observe uniquement la technologie *effectivement* utilisée par la firme. Il s'ensuit un jeu à la Stackelberg : la firme (le meneur) fixe I_0 en tenant compte, de façon à minimiser son coût privé, de la réaction du Régulateur [53] (le suiveur) en termes de fixation du standard de prévention $\bar{x}_1$.

Proposition 15 ***(Endres & Bertram, 2006)***

Lorsque le Régulateur ne peut observer l'ensemble des possibilités techniques, la règle de responsabilité pour faute induit un investissement sous optimal en R&D.

Ceci s'explique par un moindre bénéfice marginal à l'investissement en R&D : dans le cas 1/, accroître I_0 entraîne une diminution de la fonction $c_1(.)$ mais engendre une hausse du

52. Les auteurs reprennent alors le modèle "classique" de responsabilité pour faute : le coût privé de la firme est : $C_N = c_0(x_0) + c_1(x_1) + I_0 + L_0(x_0) + L_1(x_1)$, avec $L_i(x_i) = 0$ si $x_i \geq \bar{x}_i$ et $L_i(x_i) = D(x_i)$ sinon, $i = 0, 1$; $\bar{x}_i$ étant le standard (optimal) de prévention en $i = 0, 1$.

53. I_0 est ici une donnée exogène pour le Régulateur, alors qu'elle était endogène dans le cas avec information parfaite (le Régulateur choisissait le critère de faute $\bar{x}_1$ de façon à induire l'investissement I_0 optimal - il était le meneur du jeu).

standard de prévention $\bar{x}_1$ (puisque la technologie est plus efficace). Le bénéfice marginal est moindre par rapport au cas avec information parfaite (optimum) où le standard $\bar{x}_1$ est fixé de façon irrévocable [54].

Dans le cas 2/, le Régulateur observe imparfaitement $f(.)$: il a une croyance $g(.)$ quant à la valeur de $f(.)$.

Proposition 16 ***(Endres & Bertram, 2006)***

Lorsque le Régulateur observe imparfaitement les possibilités techniques de la firme, deux situations peuvent être rencontrées :

(i) le Régulateur surestime les capacités techniques de la firme ($g > f$). Il en résulte :

- *des niveaux de prévention et d'investissement supérieurs à l'optimum si la firme se conforme au standard de prévention ;*
- *une situation optimale si la firme ne se conforme pas au standard de prévention.*

(ii) le Régulateur sous-estime les capacités techniques de la firme ($g < f$). Il en résulte des niveaux de prévention et d'investissement inférieurs à l'optimum.

Ces résultats sont très intuitifs. Concernant le Point (i), le Régulateur, surestimant les performances potentielles de la firme en matière d'innovation, adopte un standard de négligence trop ambitieux. Malgré l'importance du coût (en prévention) pour s'y conformer, il est possible que la firme se conforme à ce standard afin de bénéficier de l'exemption de responsabilité. Dans ce cas, le niveau élevé en prévention créé un bénéfice à accroître le niveau d'investissement, au-delà de l'optimum, de façon à réduire la fonction $c_1(.)$. Si la firme choisit de ne pas se conformer au standard, le cas est similaire à un régime de responsabilité sans faute (optimal dans ce contexte). Concernant le Point (ii), la firme a toujours intérêt à se conformer à un standard de prévention lui permettant d'adopter un niveau de prévention faible (et de bénéficier d'une exemption de responsabilité). La faiblesse du niveau de prévention adopté n'est alors pas suffisamment incitative pour investir dans la réduction de $c_1(.)$: l'investissement et la prévention sont tous deux sous optimaux.

3.3.2 Règles de responsabilité et spillovers

Pour finir, nous pouvons présenter l'analyse de Endres *et al.* (2008), qui étend celle développée par Endres & Bertram (2006) en considérant un marché de la R&D carac-

54. Le bénéfice en termes de diminution de $c_1(.)$ est alors intact.

térisé par la présence de spillovers au cours du processus de R&D. Plus précisément, les auteurs considèrent une industrie composée de n firmes, ayant toutes la même capacité à investir dans un processus de R&D permettant d'obtenir une technologie de prévention plus efficace. L'investissement de chaque firme bénéficie aux autres firmes, en ce sens qu'il permet d'accroître gratuitement l'efficacité de leur technologie de prévention : il y a ainsi présence d'*input* spillovers. Dès lors, le problème de minimisation du coût social d'activité peut être décrit comme suit :

$$\min_{x_1,\ldots,x_n;I_1,\ldots,I_n} \sum_{i=1\ldots n} [c(x_i, I_i + \alpha \sum_{j\neq i} I_j) + I_i + D(x_i)] \tag{23}$$

avec x_i le niveau de prévention adopté par la firme i, I_i l'investissement de la firme i en R&D, $D(.)$ la fonction de dommage (dépendant du niveau de prévention, $D' < 0$, $D'' \geq 0$), et $c(.)$ la fonction de coût en prévention. Cette fonction de coût est croissante à taux croissant avec le niveau de prévention ($\frac{\partial c(.)}{\partial x_i} > 0$, $\frac{\partial^2 c(.)}{\partial x_i^2} > 0$), et décroissante en I_i ($\frac{\partial c(.)}{\partial I_i} < 0$, $\frac{\partial^2 c(.)}{\partial I_i^2} > 0$) ainsi qu'en I_j. Cette dernière propriété est la traduction algébrique de la présence d'input spillovers : la somme des investissements en R&D engagés par les $(n-1)$ autres firmes bénéficient, à hauteur d'un coefficient α ($0 < \alpha < 1$), à l'efficacité innovatrice de la firme i, au même titre que son propre investissement I_i.

Tout comme dans Endres & Bertram (2006), l'innovation permet d'obtenir une technologie plus efficace en termes de coût de prévention. Cependant, ici, une seule période est considérée : l'effet de l'innovation est immédiat. Comme dans Endres & Bertram (2006), le processus de R&D est déterministe : un dollar investi en R&D permet d'obtenir avec certitude une nouvelle technologie plus efficace. Bien que cette hypothèse semble forte, introduire un processus de R&D stochastique ne changerait pas la nature des résultats [55] de cette étude comparative.

Les auteurs procèdent à une analyse comparant responsabilité sans faute et règle de négligence du point de vue des incitations à s'engager en R&D et à adopter des mesures de prévention.

Dans ce cadre avec information parfaite et absence d'insolvabilité potentielle des firmes

55. Un tel processus rendrait non certain l'aboutissement de la R&D (via, par exemple, l'introduction d'une probabilité de réussite croissante avec le budget en R&D). Cette stochasticité conduirait à une diminution des incitations à investir en R&D, mais sans affecter le classement des règles en termes d'incitations à la R&D.

les auteurs montrent que, en l'absence de spillovers ($\alpha = 0$), la règle de responsabilité sans faute est optimale (innovation et prévention). En revanche, en présence de spillovers ($\alpha > 0$), les firmes ne tiennent pas compte de l'externalité positive de leur investissement sur l'efficacité innovatrice des autres firmes : l'investissement d'équilibre est inférieur à l'optimum. Il en résulte une fonction de coût en prévention relativement peu efficace, conduisant à un niveau en prévention inférieur à l'optimum.

En présence d'une règle de négligence, les auteurs supposent que le standard de prévention $\bar{x}_i$ répond à la double exigence : (i) les firmes ont intérêt à se conformer au standard à l'équilibre, (ii) il n'existe pas d'autre standard auquel les firmes peuvent se conformer et qui conduirait à un coût social plus faible. Le Régulateur est un leader à la Stackelberg : il annonce l'*unique* standard $\bar{x}_i$ (indépendamment de I_i), puis les firmes choisissent I_i et x_i.[56]. Sachant la relation liant investissement en R&D et prévention, l'investissement est alors une meilleure réponse au standard de prévention : à chaque standard possible[57] correspond un niveau d'investissement I_i donné permettant d'aboutir à une nouvelle technologie minimisant le coût d'activité. Dès lors, les auteurs parviennent au résultat suivant :

Proposition 17 ***(Endres et al., 2008)***

Soit une industrie à risque composée de n firmes innovantes, en présence d'une règle de négligence.

(i) En l'absence de spillovers, la règle de négligence est optimale (prévention et investissement en R&D)

(ii) En présence d'input spillovers, la règle de négligence, bien que sous optimale, est préférable à la règle de responsabilité sans faute.

Concernant le point (i), dans ce contexte d'information parfaite et en l'absence de spillovers et d'insolvabilité des firmes, la règle de négligence est optimale, même en considérant un Régulateur "suiveur" (qui fixerait le standard $\bar{x}_i$ selon le niveau d'investissement choisi par les firmes). En effet, en l'absence de spillovers, seul l'investissement de la firme i participe à son efficacité innovatrice. Dès lors, les incitations privées à la R&D sont optimales dès lors que les incitations privées à la prévention le sont aussi. Or, pour

56. Ce jeu en deux étapes est résolu à rebours : 2/ détermination du comportement de prévention et d'innovation des firmes pour un standard de prévention donné, puis 1/ détermination du standard optimal (minimisant le coût social).

57. Dans la mesure où les firmes ont intérêt à s'y conformer.

toute fonction de coût $c_i(.)$ donnée, les firmes ont intérêt à se conformer à un standard de prévention configuré au niveau optimal (pour cette fonction donnée). Par conséquent, en prenant une position de leader, le Régulateur peut atteindre l'optimum en fixant un standard de prévention égal à *l'unique* niveau de prévention optimal : les firmes sont alors incitées à dépenser *l'unique* montant d'investissement optimal permettant de minimiser le coût d'activité (pour ce niveau optimal de prévention).
A propos du point (ii), les auteurs démontrent qu'en présence d'input spillovers la règle de négligence permet d'atteindre un niveau d'investissement et un niveau de prévention plus élevés que la règle de responsabilité sans faute ; se rapprochant ainsi de l'optimum. L'intuition est la suivante. Grâce à l'exemption de responsabilité, la règle de négligence permet toujours au Régulateur de faire adopter aux firmes un niveau de prévention supérieur à celui qu'elles adopteraient en présence d'une règle de responsabilité sans faute (cf Shavell (1980)). Face à cette hausse du coût en prévention, les firmes sont incitées à accroître leur niveau d'investissement dans le but d'obtenir une fonction de coût en prévention plus efficace (permettant de réduire le coût d'adoption du standard $\bar{x}_i$).

Ces deux études d'Alfred Endres et co-auteurs que nous venons de présenter sont des travaux précurseurs, qu'il convient d'étendre et d'approfondir. Ainsi Endres *et al.* (2008) se focalisent sur l'effet de la présence d'*input* spillovers entre plusieurs firmes ayant des capacités d'innovation (identiques). Un autre cadre d'analyse intéressant serait de considérer des firmes ayant des capacités différentes en matière d'innovation. En considérant une firme ayant la capacité d'innover, et pouvant distribuer sa nouvelle technologie à des firmes n'ayant pas capacité d'innovation mais pouvant néanmoins copier (imparfaitement) la technologie nouvelle, le problème des incitations optimales à la R&D pourrait prendre place dans un contexte plus large, incluant les problèmes d'innovation et de diffusion de la nouvelle technologie. Endres & Friehe (2011) ont étudié le problème de la diffusion optimale d'une nouvelle technologie. Mais leur analyse ignore la décision d'engagement dans le processus de R&D et, en outre, se place dans un contexte de pollution globale et diffuse (*nonpoint source*) ne pouvant s'appliquer à la régulation des risques (interactions des décisions de prévention). *Par conséquent, dans le chapitre 5 de la présente thèse nous proposons de poursuivre les travaux initiés par Alfred Endres dans un cadre d'innovation et de diffusion technologique, confrontant*

une firme innovante à une firme non innovante, toutes deux engagées dans des activités à risque régulées à l'aide de la responsabilité civile. De plus, nous élargirons l'analyse à la prise en compte d'une innovation pouvant avoir deux impacts sur la prévention du risque : un impact en termes de diminution du coût en prévention (tel qu'envisagé par Endres & Bertram (2006), Endres et al. *(2008) ou Endres & Friehe (2011)), et un impact sur l'efficacité des mesures de prévention à réduire la probabilité d'accident. Nous montrerons ainsi que, selon la nature de l'innovation, la hiérarchie des règles de responsabilité en termes d'incitation à l'innovation peut être bouleversée.*

Nous venons de présenter quelques travaux issus de deux littératures traitant de régulation d'externalités pouvant être émises par des firmes. Ces deux littératures se sont développées de façon parallèle, alors que des enjeux transversaux permettraient de les concilier davantage.

D'une part, nous avons vu des travaux montrant comment les règles et régimes de responsabilité civile peuvent inciter des agents à mieux prévenir les risques dont leur activité peut être source. Cependant, ces travaux se focalisent généralement sur la minimisation du coût espéré de l'activité (coût en prévention et dommage espéré) pour un ensemble restreint de possibilités techniques. Ainsi, ils écartent toute opportunité d'accroître l'ensemble des possibilités techniques, que ce soit via une innovation induite (après investissement en R&D par exemple) ou via l'acquisition d'une technologie externe. Or, l'analyse de la responsabilité dans un tel contexte peut sans nul doute apporter de nouveaux enseignements sur le rôle (encore peu connu) de la responsabilité comme nouvel outil incitatif au changement technique, ainsi que sur les diverses interactions possibles entre responsabilité, innovation, processus de production et gestion du risque qui en découlent.

D'autre part, nous avons présenté des travaux relatifs aux interactions possibles entre politiques environnementales et changement technologique. Ces travaux se sont surtout focalisés sur la régulation de flux de polluants ayant des conséquences directes, certaines et relativement faibles sur l'environnement. L'analyse d'un éventuel risque de dommages plus importants, pouvant conduire les firmes émettrices en situation d'insolvabilité, a ainsi été ignorée. Or, même dans le cadre de l'émission d'un flux continu et "réduit"

de polluants, la possibilité de survenance de dommages majeurs peut être pertinente lorsque, par exemple, l'accumulation de la pollution dans l'environnement peut, au-delà d'un certain seuil de concentration, engendrer des risques sanitaires importants (maladies,...) [58]. La non considération de ces risques a laissé de côté le rôle que pourraient jouer certains outils de politique environnementale dans la gestion des risques de grande ampleur, ainsi que le rôle que pourrait jouer la responsabilité comme outil visant à promouvoir le changement technique.

Il existe désormais un consensus sur le fait que le changement technologique peut jouer un rôle important dans la régulation des externalités négatives de production. Néanmoins, l'analyse peut encore être approfondie : la responsabilité civile, qui a déjà un rôle reconnu dans la prévention des risques, peut insuffler des incitations supplémentaires à l'innovation environnementale ; et certains outils utilisés pour réguler les émissions polluantes peuvent être utiles à la régulation de certains types de risques.
Ainsi, nous allons tenter d'analyser le rôle que peuvent jouer les règles et régimes de responsabilité civile et certains outils de politique environnementale dans l'incitation au changement technologique, en vue d'améliorer la prévention et la réparation des risques technologiques de grande ampleur.
Dans le chapitre 2, nous mènerons une analyse comparative de deux régimes de responsabilité civile (responsabilité illimitée et responsabilité limitée) concernant les incitations au changement technique qu'ils peuvent fournir. Nous montrerons aussi en quoi l'utilisation d'une politique hybride, mêlant responsabilité et taxation, peut accroître l'efficacité de la politique de prévention des risques.
Dans les chapitres 3 et 4, l'analyse sera étendue à la gestion d'un risque imparfaitement connu, nécessitant une recherche d'informations supplémentaires de la part des firmes. Nous analyserons ainsi l'impact du régime de responsabilité sur le choix technologique (chapitre 3) ainsi que sur l'incitation à rechercher de l'information en amont (chapitre 4), en vue de réduire l'incertitude avant d'effectuer tout choix technologique. Cette dernière partie de l'analyse nécessitera d'effectuer des calculs numériques ; nous les calibrerons

58. En France, nous pouvons citer le cas de Metaleurop Nord dont le plomb, émis en trop grande quantité, a entraîné d'importants dommages environnementaux ainsi que des cas de saturnisme (voir Rolland (2003), Rolland (2004), Rolland (2005)). Par ailleurs, Deffains (2001) cite d'autres exemples de sites pollués pour lesquels les pollueurs n'ont pas eu les moyens de faire face aux conséquences d'une condamnation en responsabilité (voir Deffains (2001), p 150).

sur des données issues de l'industrie chimique, ce qui nous permettra d'interpéter les résultats à l'égard de grandeurs économiques réelles.

Enfin, le chapitre 5 analysera le rôle incitatif de deux règles de responsabilité (responsabilité sans faute et règle de négligence) en termes d'incitations à s'engager dans un processus de R&D dont le but est de mettre au point une nouvelle technologie de prévention du risque plus efficace. Nous considérerons que l'innovation a un "impact double", permettant à la fois de réduire le coût d'application des mesures de prévention et d'accroître leur efficacité dans la réduction du risque d'accident. A l'aune des travaux précurseurs d'Alfred Endes et coauteurs, nous montrerons en quoi la nature de l'innovation, selon qu'elle permet plutôt de réduire le coût de prévention (comme chez Endres) ou d'accroître l'efficacité directe en termes de réduction du risque, peut modifier le classement des règles de responsabilité en termes de comportements d'innovation et de prévention du risque.

Chapitre 2
Responsabilité et choix technologique en situation risquée

1 Introduction

Nous avons vu dans le chapitre 1 que le régime de responsabilité limitée apparaît toujours comme indispensable pour financer notamment les activités de recherche et développement (R&D), facteur clé de la croissance économique et dont la réussite est par nature incertaine. Cependant, il est aussi de connaissance commune depuis les travaux de Shavell (1986) en particulier, qu'un régime de responsabilité limitée peut induire une internalisation partielle du risque par les firmes. Ce phénomène peut les conduire alors à sous investir dans l'emploi de mesures préventives visant à réduire le risque, ou à s'engager dans des activités socialement indésirables.

Afin de contrecarrer ces effets négatifs, plusieurs pistes ont été étudiées. Nous avons vu dans le chapitre 1 que certains économistes ont analysé la possibilité d'étendre la responsabilité aux partenaires (notamment financiers) des firmes à risques, pour que ceux-ci puissent inciter les firmes à mieux prévenir le risque et pour accroître l'assiette financière disponible pour réparer les dommages. Mais dans un cadre d'information imparfaite entre ces acteurs, nous avons vu que le transfert d'une partie de la responsabilité vers d'autres opérateurs peut se traduire par une moindre incitation pour les firmes à investir dans des mesures de prévention du risque (voir notamment Pitchford (1995)). D'autre part, certains économistes et certains juristes voient en le rétablissement d'un régime de responsabilité illimitée une solution permettant à la fois une internalisation et une compensation maximales du risque (Faure (1995), Halpern *et al.* (1980), Hansmann & Kraakman (1991)). Mais sa mise en oeuvre pourrait s'avérer difficile et coûteuse d'un point de vue pratique. Ainsi Alexander (1992) relève des cas où la loi pourrait être (quasiment) inapplicable, notamment en présence de firmes de grande importance ayant une multitude d'actionnaires non ressortissants de l'Etat d'implantation de la firme ou de l'Etat du lieu du dommage : l'identification de l'ensemble des actionnaires et la répartition de la responsabilité en leur sein pourrait s'avérer extrêmement longue et coûteuse [59]. En outre, dans certains cas de risques d'importance désastreuse, la responsabilité illimitée peut s'avérer insuffisante pour réparer intégralement les dommages, le total des actifs possédé par les actionnaires étant insuffisant (voir le cas du risque nucléaire, Schmitt & Spaeter (2007)).

59. Voir aussi Easterbrook & Fischel (1985) et Grundfest (1992).

Alors que ces deux pistes de réflexion semblent soulever des difficultés quant à leur mise en oeuvre, il serait souhaitable de reconsidérer l'analyse des incitations fournies par le régime de responsabilité limitée dans un cadre plus large, incluant notamment la possibilité de changement technologique. En effet, comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, les analyses habituellement menées en économie de la responsabilité civile considèrent le choix technologique comme exogène au processus de décision de la firme, en ce sens que les fonctions de production, de coût en prévention et de dommage espéré sont *données*. Ainsi, ces analyses laissent de côté la possibilité d'adopter une nouvelle technologie caractérisée, par exemple, par une nouvelle fonction de probabilité d'accident permettant d'accroître l'efficacité des mesures de prévention à réduire le niveau de risque. Or, l'adoption de technologies nouvelles, d'efficacités différentes, peut conduire à une meilleure prévention du risque, et la responsabilité civile peut jouer un rôle incitatif en faveur d'un tel processus.

A notre connaissance, seules les contributions de Endres et co-auteurs (Endres & Bertram (2006), Endres *et al.* (2007), Endres *et al.* (2008)) analysent les incitations fournies par les règles de responsabilité civile à investir dans un processus de R&D permettant de mettre au point une technologie nouvelle, capable de réduire plus facilement les nuisances associées à l'activité productive des firmes [60]. Néanmoins, ces analyses considèrent uniquement des dommages de faible ampleur, ne pouvant provoquer la faillite de la firme en cas d'accident [61]. Or, comme nous l'avons vu précédemment, dans le cadre de l'application d'un régime de responsabilité limitée une telle hypothèse n'est pas exempte de conséquences puisque, en présence de dommages importants, la faillite de la firme se traduit par une réparation (seulement) partielle des dommages causés.

Partant de ces constats, notre analyse propose de reconsidérer la comparaison entre régime de responsabilité illimitée et régime de responsabilité limitée (en termes de prévention du risque) dans un contexte de choix technologique. A cet égard, notre analyse présente plusieurs originalités.

60. Nous avons vu dans le chapitre 1 que responsabilité et incitations à investir en R&D sont aussi étudiées dans le contexte des "risques-produits", mais ce contexte n'est pas adapté à notre objet d'étude.

61. Cette particularité peut également être expliquée par l'application d'un régime de responsabilité illimitée. Dans chaque cas, l'intégralité du dommage causé est réparée.

En premier lieu, nous considérons que le risque d'accident est affecté à la fois par le choix technologique *et* le niveau d'activité (risque multiplicatif), ces deux variables étant endogènes à l'analyse. Or, la plupart des *modèles d'accident* supposent que le risque varie uniquement selon l'effort engagé dans la mise en place de mesures de prévention. Parfois il est admis que le risque puisse être affecté par le niveau d'activité (voir par exemple Shavell (1980)), mais ce dernier reste exogène à l'analyse. Plus précisément notre analyse considère qu'une technologie est caractérisée par deux éléments : une probabilité d'un accident, et un coût marginal d'exploitation déterminant le niveau d'activité. Considérant un risque multiplicatif (dommage proportionnel au niveau d'activité), la technologie utilisée affecte alors les *deux* composantes du risque : la probabilité d'accident et la magnitude du dommage potentiel.

Outre le fait de considérer que la firme puisse être insolvable en cas d'accident en présence d'un régime de responsabilité limitée, le deuxième point essentiel de notre analyse réside dans le caractère endogène de l'insolvabilité potentielle. En effet, considérant un risque multiplicatif, une firme peut *ex ante*, en choisissant son niveau d'activité, déterminer l'ampleur du dommage potentiel. En présence d'un régime de responsabilité limitée, la firme peut alors choisir de bénéficier ou non *ex post* de ce que nous appelons la "*protection financière légale*", c'est-à-dire de la limitation du montant des réparations à sa valeur liquidative, quelle que soit la valeur du dommage causé au-delà de cette valeur liquidative. A contrario, en choisissant un niveau d'activité plus faible (conduisant à un dommage plus faible), la firme est capable de réparer la totalité des dommages causés : elle n'a pas besoin de faire appel à cette protection, et le risque est totalement internalisé.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, d'autres contributions considèrent une insolvabilité potentielle endogène, mais en dehors de toute possibilité de changement technologique (au sens de Endres). Ainsi dans le "*separate-probability-magnitude model*" développé par Dari-Mattiacci & De Geest (2005), l'insolvabilité endogène réside dans l'utilisation d'un trop faible niveau de prévention visant à réduire l'ampleur du dommage (dite *magnitude-reducing precaution*), dont la valeur excède alors la valeur liquidative de la firme. Cependant les fonctions de coût, de probabilité et de dommage sont *données*. Or, la configuration optimale d'une technologie *donnée* via la détermina-

tion d'un ou plusieurs [62] niveaux de prévention, comme considérée par Dari-Mattiacci & De Geest (2005) ou encore Boyd & Ingberman (1994), est différente d'un changement technologique tel que nous (et Endres) l'entendons. Dans notre analyse, le changement de technologie modifie à la fois la probabilité d'accident et le coût marginal de production ; ces deux éléments interagissant et modifiant le niveau de risque. Ainsi nous montrons, par exemple, qu'une firme potentiellement insolvable (en responsabilité limitée) en présence d'une technologie initiale peut être incitée à adopter une *nouvelle technologie*, caractérisée par une probabilité d'accident plus faible, et l'amenant à réguler son niveau d'activité de façon à internaliser intégralement le risque. En revanche, dans le "separate-probability-magnitude model" de Dari-Mattiacci & De Geest (2005), une firme potentiellement insolvable (en responsabilité limitée) n'est jamais incitée à adopter des mesures de prévention visant à réduire l'ampleur du dommage (pour ainsi internaliser totalement le risque). La possibilité d'adopter une *nouvelle* technologie permettant de réduire l'ampleur du dommage y est exclue.

Enfin, une des originalités de notre approche réside dans l'utilisation conjointe de la responsabilité civile et de taxes. Comme nous le montrerons, ces dernières permettent de renforcer les incitations au changement technologique et, en présence d'un régime de responsabilité limitée, peuvent également permettre une meilleure internalisation du risque. Même si l'utilisation conjointe de ces deux outils est commune dans la réalité, elle n'a reçu que très peu d'attention dans la littérature par le passé. A notre connaissance, les deux seules exceptions sont les études de t Gravelle (1987) et Endres (1991). Alors que Gravelle (1987) se focalise sur la volonté de mieux faire internaliser la totalité du coût d'activité par chaque partie d'un (potentiel) accident bilatéral, Endres (1991) étudie le problème de la non-conformité à l'égard de standards de prévention optimaux en cas de compensation incomplète [63]. Il montre comment une taxe, prélevée uniquement en cas d'accident et proportionnelle à la différence entre le standard (optimal) et le niveau de prévention effectivement adopté par le prévenu, peut aider ce dernier à se conformer à la règle ou, du moins, à atteindre un niveau de prévention plus élevé

62. Rappelons que ce modèle développé par Dari-Mattiacci & De Geest (2005) réunit deux types de mesures de prévention : l'un affectant la probabilité d'accident, l'autre l'ampleur du dommage.

63. Par "compensation incomplète" est entendue toute situation pour laquelle le montant à payer au titre des réparations est inférieur à la valeur du dommage causé. Outre l'occurrence d'un dommage important en présence d'un régime de responsabilité limitée, ceci peut être le reflet d'une non prise en compte de certains dommages par la loi, ou d'un plafonnement de la responsabilité par la loi (cas des catastrophes maritimes).

(améliorant ainsi le bien-être social). Cependant il n'a jamais été analysé, d'un point de vue normatif, comment un système de taxation peut aider le système de responsabilité à promouvoir des comportements optimaux en termes de changement technique et de régulation du niveau d'activité (en présence d'un risque multiplicatif), en vue d'aboutir à une meilleure prévention et internalisation du risque.

Dans le cadre de l'application d'une règle de responsabilité sans faute nous montrons que, en présence d'un régime de responsabilité limitée, il est possible d'induire des comportements améliorant le bien-être social en incitant les firmes à procéder à un changement technologique amenant à une internalisation complète du risque. Ce résultat devrait atténuer la popularité du régime de responsabilité illimitée, qui reste importante auprès de certains économistes et juristes. En revanche, nous montrons que l'incitation à procéder au changement technologique est plus importante en responsabilité illimitée qu'en responsabilité limitée.

Cependant, comme nous l'avons mentionné ci-dessus, l'application d'un régime de responsabilité illimitée peut s'avérer très coûteuse. Nous allons alors nous interroger sur la possibilité de mettre en place un outil de régulation permettant d'accroître les incitations au changement technologique ainsi que les incitations à internaliser totalement le risque, en présence d'un régime de responsabilité limitée. C'est en ce sens que notre analyse propose de combiner l'utilisation de la responsabilité civile à une politique de taxation. Cependant, contrairement à ce qui a été entrepris par Endres (1991), la taxation que nous proposons n'est pas uniquement prélevée en cas d'accident (appliquée alors comme un dommage punitif) : nous considérons une taxe prélevée dans tous les états de la Nature. En outre, nous proposons de l'asseoir sur le niveau d'activité et de la différencier selon la technologie utilisée en vue notamment d'exercer des incitations au changement technologique. Nous montrons qu'en présence d'un régime de responsabilité limitée, l'application d'un tel système de taxation accroît la possibilité qu'une firme puisse procéder à un changement technologique tout en internalisant intégralement le risque. Ainsi, ces résultats normatifs fournissent quelques arguments favorables au maintien de ce régime de responsabilité, souvent accusé d'induire des comportements sous optimaux en matière de prévention des risques.

Ce chapitre s'articule autour de trois sections. La section 2 présente les hypothèses du modèle ainsi que l'impact de chaque régime de responsabilité sur les choix de la firme. Dans la section 3, nous procédons à une analyse comparative des deux régimes de responsabilité. La section 4 conclut le chapitre.

2 Régimes de responsabilité et choix technologique des firmes

Dans cette section, nous analysons le processus de choix technologique d'une firme confrontée à deux technologies de production et de prévention du risque de caractéristiques différentes. Après avoir présenté les hypothèses de base de notre modèle, nous considérons ce processus dans le cadre d'un régime de responsabilité illimitée, puis dans le cadre d'un régime de responsabilité limitée.

2.1 Hypothèses de base

Considérons une firme représentative, neutre au risque, vendant un bien au prix p dans une économie concurrentielle. La demande est infiniment élastique. L'activité de la firme génère un risque majeur d'accident technologique, dont la probabilité d'occurrence dépend du type de technologie de production adopté. La firme a le choix entre deux technologies disponibles, indexées par $i = 1, 2$. La première est la technologie "historique", initialement adoptée par la firme. Elle est moins coûteuse d'utilisation que la seconde (la nouvelle), mais elle est caractérisée par une probabilité d'accident plus élevée. La probabilité d'accident est notée φ_i, avec $\varphi_i \in [0, 1]$ et $\varphi_2 < \varphi_1$. Soit y_i le niveau de production choisi par la firme lorsqu'elle utilise la technologie i ($i = 1, 2$). Le coût total de production pour la technologie i est égal à $Z_i y_i^2$ with $Z_1 < Z_2$: la nouvelle technologie est plus coûteuse, nécessitant un coût d'adoption [64].

Soit d le taux de dommage potentiel, c'est-à-dire le montant de dommage infligé par chaque unité de production en cas d'accident. Ainsi, le montant de dommage total

64. Ce coût d'adoption peut regrouper un ensemble de coûts d'ajustements (temporaires) liés à l'utilisation de la nouvelle technologie, tels que le manque d'expérience de la main d'oeuvre à la nouvelle technologie, l'adoption de nouveaux protocoles de sécurité (durant le processus de production) plus coûteux,...

s'élève à dy_i en cas d'accident. Il dépend du niveau d'activité y_i et, par conséquent, du choix technologique. La variable aléatoire définissant le risque d'accident pour la technologie i peut être représentée par $\tilde{D}_i \equiv (1-\varphi_i, \varphi_i; 0, dy_i)$.
En outre, nous admettons que la firme finance son activité et son choix technologique à partir de ses fonds propres, E ($E > 0$, pas de recours à un emprunt externe).
Enfin, nous supposons que les décisions de la firme peuvent être parfaitement observées (par le Tribunal). La firme choisit de conserver la technologie historique ($i = 1$) ou d'adopter la nouvelle ($i = 2$), puis choisit le niveau d'activité y_i correspondant : le niveau d'activité qui maximise le profit espéré est donc une meilleure réponse au choix de la technologie i.

Pour finir il convient de rappeler que, tout au long de cette analyse, nous considérons que la *règle* de responsabilité en vigueur est une règle de responsabilité sans faute (ou stricte) : la firme est toujours responsable d'un dommage du fait de son activité, quel que soit son comportement, ses choix. En revanche, notre analyse compare l'impact de deux *régimes* de responsabilité ; et nous allons en premier lieu analyser le comportement de la firme en matière de choix technologique en présence d'un régime de responsabilité illimitée.

2.2 Choix technologique en responsabilité illimitée

Lorsqu'un régime de responsabilité illimitée est appliqué, une firme doit réparer *ex post* l'intégralité de tout dommage causé par son activité. Par conséquent, si le montant du dommage excède la valeur liquidative de la firme, son profit est négatif en cas d'accident et le risque est entièrement internalisé : après liquidation de la firme, le montant de dommage restant à compenser est à la charge des propriétaires de la firme, extrait de leur patrimoine personnel [65]. Formellement, le programme de maximisation de la firme est :

$$\max_{i,y_i} E[\tilde{\Pi}_i^U] = py_i - Z_i y_i^2 - \varphi_i dy_i + E \tag{24}$$

65. Nous supposons que le patrimoine personnel des actionnaires est toujours suffisant pour réparer les dommages restants.

L'exposant U fait référence au régime de responsabilité illimitée (*unlimited liability*). Le niveau d'activité d'équilibre, noté y_i^U, qui est solution de (24) satisfait [66] :

$$y_i^U = \frac{p - \varphi_i d}{2Z_i}, \quad i = 1, 2 \tag{25}$$

Sachant que la firme est initialement dotée de la technologie 1, elle décide d'adopter la technologie 2 si $E[\tilde{\Pi}_2] - E[\tilde{\Pi}_1] > 0$.

Proposition 1 *Soit une firme neutre au risque en présence d'un régime de responsabilité illimitée.*

(i) Elle adopte la technologie 2 si et seulement si :

$$\frac{(p - \varphi_1 d)^2}{Z_1} < \frac{(p - \varphi_2 d)^2}{Z_2} \tag{26}$$

(ii) Ce changement technique conduit toujours à une amélioration du niveau de bien-être social.

Preuve : voir Appendice B, preuve 1. ♦

L'inégalité (26) met en avant une différence de profit net marginal, évalué à l'optimum privé (le niveau d'activité de chaque technologie est celui maximisant le profit espéré). Il est important de mettre en avant le fait qu'un tel changement technologique entraîne toujours un accroissement du niveau de bien-être social : en présence d'un régime de responsabilité illimitée, la firme internalise tout le risque supporté par la Société. Ainsi, même si le changement technologique peut induire un accroissement du niveau d'activité, entraînant de ce fait une augmentation de l'ampleur du dommage potentiel, la gestion du risque est toujours optimale d'un point de vue social. Rappelons aussi que notre cadre d'analyse suppose simplement la présence d'une firme représentative au sein d'une industrie concurrentielle ; la firme est preneuse de prix. Dès lors, par souci de simplicité d'exposé et afin de se concentrer sur la problématique des incitations au changement technique, nous éludons volontairement la question du degré optimal de diffusion des technologies au sein d'une industrie hétérogène et/ou imparfaitement concurrentielle.

66. D'un point de vue purement technique, cette valeur peut être négative (i.e. pas de production). Cependant, en présence de risques de grande ampleur, la probabilité d'accident est très faible. Malgré l'importance des dommages potentiels (pouvant entraîner la faillite de la firme), le coût espéré du dommage peut être modéré. Nous supposons ici que la production est toujours profitable en espérance, soit : $p > \varphi_i d$.

Or, dans un cadre plus général comme celui développé par Requate (2005) par exemple, dans lequel les firmes sont hétérogènes en termes de capacité à s'approprier la nouvelle technologie (coûts d'adoption différents), il peut être socialement souhaitable qu'une technologie plus "verte" ne soit pas diffusée à l'ensemble de l'industrie.

A présent, il convient d'analyser le processus de choix technologique lorsqu'un régime de responsabilité limitée est en vigueur.

2.3 Choix technologique en responsabilité limitée

Avant de débuter l'analyse des conditions pour lesquelles le changement technologique a lieu, il convient de présenter l'ensemble des implications liées à l'application d'un régime de responsabilité limitée.

A - Les spécificités inhérentes au régime de responsabilité limitée

En présence d'un tel régime de responsabilité, le montant en réparation que la firme doit payer en cas d'accident est limité à sa valeur liquidative, même si la valeur du dommage est supérieure à cette valeur liquidative. Dès lors, une fois que la firme est liquidée, une part du dommage reste non réparée, à la charge des victimes ou de la Société. Contrairement au régime de responsabilité illimitée, le patrimoine de la firme est séparé des patrimoines personnels de ses propriétaires : ces derniers n'ont pas obligation légale de réparer les dommages restants à partir de leurs fonds personnels. Ainsi, en permettant à la firme de choisir l'ampleur du dommage potentiel, notre analyse rend endogène la possibilité pour la firme de bénéficier, ou non, de la *protection légale* offerte par le régime de responsabilité limitée en cas d'accident. Afin de mieux expliquer ces différents effets, nous devons définir le niveau d'activité entraînant la faillite de la firme en cas d'accident.

Lemme 1 *Soit $\widehat{y_i}$ le niveau de production qui induit un profit ex post, après accident, égal à zéro lorsque la technologie i ($i = 1, 2$) est utilisée :*

$$\widehat{y_i} = \frac{(p-d) + \sqrt{(p-d)^2 + 4Z_iE}}{2Z_i} \tag{27}$$

Preuve : voir Appendice B, preuve 2. ♦

Nous pouvons noter que $\widehat{y_i}$ est toujours strictement positif dès lors que $E > 0$. En outre, nous pouvons observer que $\widehat{y_i}$ est croissant en E : ceci signifie que plus la firme dispose de ressources financières importantes, moins elle est facilement entraînée vers la faillite en cas d'accident ; ce qui est intuitif.

Dans ce contexte, si la firme adopte un niveau d'activité y_i supérieur à $\widehat{y_i}$, elle bénéficiera de la protection légale qui limitera le montant dû au titre des réparations à sa valeur liquidative en cas d'accident : elle sera déclarée en faillite, tous ses actifs seront confisqués pour réparation du dommage, mais *pas plus*. Son profit après accident sera nul (et non négatif) quel que soit le niveau d'activité y_i tel que $y_i \geq \widehat{y_i}$. Si la firme choisit un niveau d'activité y_i tel que $y_i < \widehat{y_i}$, son profit sera toujours positif, même en cas d'accident (puisque faible dommage) : elle sera toujours capable de réparer l'intégralité du dommage et n'aura jamais besoin de recourir à la protection légale offerte par le régime de responsabilité limitée. Dans ce cas nous pouvons dire que la firme a décidé, en choisissant un niveau d'activité plus faible que le niveau "de faillite" $\widehat{y_i}$, d'internaliser tout le risque que fait peser son activité.

Par conséquent, la décision de bénéficier ou non de la protection légale offerte par le régime de responsabilité limitée est endogène au modèle. Cette particularité modifie le programme de maximisation de la firme par rapport au cas précédent (responsabilité illimitée). Pour une technologie i donnée, le programme peut s'écrire :

$$\max_{y_i} E[\tilde{\Pi}_i^L] = \begin{cases} py_i - Z_i y_i^2 - \varphi_i d y_i + E & si \quad y_i < \widehat{y_i} \quad (a) \\ (1-\varphi_i)[py_i - Z_i y_i^2 + E] & si \quad y_i \geq \widehat{y_i} \quad (b) \end{cases} \tag{28}$$

Désormais, ce processus de décision est décomposé de la manière suivante. La firme maximise chaque expression ((a) et (b)) du programme (28). Notons ainsi y_i^a le niveau d'activité maximisant l'expression (a), et y_i^b celui maximisant l'expression (b).

Dans un premier cas, considérons que le niveau de y_i^a est inférieur à $\widehat{y_i}$. Dans ce cas, la firme considère les expressions (a) et (b) maximisées, et choisit le niveau d'activité associé à l'expression dont la valeur (maximisée) est la plus élevée. Si le programme (28) est maximisé en choisissant y_i^a alors la firme, bien qu'étant en présence d'un régime de responsabilité limitée, fait face à un environnement *similaire* à celui prévalant en responsabilité *illimitée* : la firme internalise l'intégralité du risque mais, contrairement à ce qui prévalait en présence d'un régime de responsabilité illimitée, elle ne sera jamais

confrontée à des situations de faillite puisque l'ampleur du dommage sera toujours relativement faible.

Dans un second cas, considérons que le niveau de y_i^a est supérieur à $\widehat{y}_i$. Ceci signifie que le niveau d'activité que la firme choisirait face à un problème *similaire à* celui prévalant en responsabilité *illimitée* (l'expression (a)) l'amène à une situation d'insolvabilité potentielle en cas d'accident : le dommage potentiel dy_i^a est tel que la valeur liquidative de la firme (revenu net d'activité plus fonds propres) serait insuffisante pour le réparer intégralement. Si la firme était soumise à un régime de responsabilité illimitée, elle adopterait ce niveau d'activité y_i^a et, en cas d'accident, ferait faillite tandis que les actionnaires paieraient le montant des dommages restants, non réparés par la firme elle-même. En revanche, en présence d'un régime de responsabilité limitée, la firme fait faillite et *"c'est tout"* : elle bénéficie d'une protection *ex post* en ce sens que la richesse personnelle des actionnaires n'est pas mobilisée pour compenser les dommages restants. Ainsi, dans ce cas où y_i^a est supérieur à $\widehat{y}_i$, la firme reconsidère le problème en considérant uniquement l'expression (b), qui traduit le fait de bénéficier de la protection légale *ex post*. La firme adopte alors le niveau d'activité y_i^b maximisant cette expression.

Au final, en présence d'un régime de responsabilité limitée, lorsque la firme a intérêt à adopter un niveau d'activité y_i tel que $y_i > \widehat{y}_i$ (autrement dit, lorsque $E[\widetilde{\Pi}(y_i)] > E[\widetilde{\Pi}(y_i^0)]$, $\forall y_i^0 \leq \widehat{y}_i$), elle bénéficiera de la protection légale en cas d'accident et son nouveau programme de maximisation sera :

$$\max_{y_i}(1-\varphi_i)[py_i - Z_i y_i^2 + E] \tag{29}$$

Pour simplifier l'exposé, notons y_i^{L+} le niveau d'activité d'équilibre d'une firme choisissant de bénéficier de la protection légale avec la technologie i (i.e. $y_i^{L+} > \widehat{y}_i$). Ce niveau d'activité, solution de (29), satisfait :

$$y_i^{L+} = \frac{p}{2Z_i} \tag{30}$$

Notons y_i^{L-} le niveau d'activité d'équilibre d'une firme choisissant un niveau d'activité inférieur au niveau de faillite $\widehat{y}_i$, internalisant alors entièrement le risque. Son programme

est similaire à (25), et y_i^{L-} est tel que :

$$y_i^{L-} = \frac{p - \varphi_i d}{2Z_i}. \tag{31}$$

Avant d'étudier les conditions pour lesquelles le changement technologique a lieu, nous devons encore nous interroger sur les conditions pour lesquelles une firme choisit de bénéficier ou non de la protection légale offerte par le régime de responsabilité limitée. En effet, dans notre modèle le changement technologique s'accompagne d'un changement dans le niveau de production (puisque les deux technologies ont des fonctions de coût différentes), modifiant l'ampleur du dommage potentiel. Par conséquent, une firme ne bénéficiant pas de la protection légale avec la technologie 1 peut décider d'adopter la technologie 2 et de bénéficier de la protection légale avec cette nouvelle technologie. Le cas opposé peut également se produire.

B - Un choix supplémentaire : l'insolvabilité potentielle

La Proposition 2 ci-dessous rassemble les conditions pour lesquelles une firme, en présence d'un régime de responsabilité limitée, choisit d'être ou non insolvable en cas d'accident. Afin de rendre l'analyse la plus claire possible, nous parlerons d'*internalisation partielle* du risque pour nous référer à l'application de la protection légale offerte par le régime de responsabilité limitée (i.e. $y_i^{L+} > \widehat{y_i}$), et nous parlerons d'*internalisation complète* du risque dans le cas où la firme choisit de ne pas bénéficier de cette protection légale (i.e. $y_i^{L-} < \widehat{y_i}$).

Proposition 2 *Considérons une firme neutre au risque, en présence d'un régime de responsabilité limitée, faisant face à un risque technologique dont le dommage unitaire potentiel d est tel que $d > p$*

(i) Elle choisit d'internaliser partiellement le risque avec la technologie i (protection légale, $y_i^{L+} > \widehat{y_i}$, $i = 1, 2$) si son niveau en fonds propres E satisfait $E < \underline{E_i}$ avec $\underline{E_i} = \frac{p(2d-p)-\varphi_i d^2}{4Z_i}$.

(ii) Elle choisit d'internaliser complétement le risque avec la technologie i (pas de protection légale, $y_i^{L-} < \widehat{y_i}$, $i = 1, 2$) si son niveau en fonds propres satisfait $E \geq \underline{E_i}$.

Preuve : voir Appendice B, preuve 3. ♦

La condition $d > p$ dans la Proposition 2 est suffisante pour garantir la positivité stricte

du seuil $\underline{E_i}$. Cette hypothèse est raisonnable puisque nous nous intéressons ici à des risques de grande ampleur. Néanmoins, par souci d'exhaustivité, nous considérons le cas de risques plus standards dans la Proposition 3 ci-dessous.

Proposition 3 *Considérons une firme neutre au risque en régime de responsabilité limitée, faisant face à un risque technologique dont le dommage unitaire potentiel d est tel que* $2d < p$. *Cette firme choisit toujours d'internaliser complétement le risque, quels que soient son niveau de fonds propres et son choix technologique.*

Preuve : voir Appendice B, preuve 4. ♦

Ce résultat n'est pas surprenant : lorsque le dommage unitaire potentiel n'est pas trop important, la firme peut aisément l'internaliser. Ainsi, nous pouvons remarquer que $\widehat{y_i}$ est décroissant en d : plus le dommage unitaire est faible, plus l'éventail de niveaux d'activité n'entraînant pas la faillite de la firme en cas d'accident est large. Il est alors plus aisé de choisir un niveau d'activité n'entraînant jamais la faillite de la firme. Dans le reste de notre analyse, nous considérons des risques de grande ampleur, satisfaisant $d > p$. Rappelons aussi que, par hypothèse, $p > \varphi_i d$: l'activité est, en espérance, profitable.

A partir de la Proposition 2, nous pouvons voir qu'une firme faiblement capitalisée a davantage d'incitations à bénéficier de la protection légale qu'une firme hautement capitalisée. Ceci s'explique par le fait que le niveau d'activité pouvant entraîner la faillite d'une firme en cas d'accident est plus élevé pour une firme hautement capitalisée que pour une firme faiblement capitalisée ($\widehat{y_i}$ est croissant en E). Par conséquent, une firme hautement capitalisée est plus à même d'internaliser l'intégralité du risque.

Remarquons enfin que, dans notre analyse, à technologie $i = 1, 2$ *donnée*, la décision de bénéficier ou non de la protection légale offerte par le régime de responsabilité limitée est rendue endogène via la fixation du niveau d'activité, puisque l'ampleur du dommage est proportionnelle à ce dernier (risque multiplicatif). Comme nous l'avons mentionné en introduction, et vu dans le chapitre 1 (sous-section 1.3), d'autres études admettent le caractère endogène de l'insolvabilité potentielle. Dans Dari-Mattiacci & De Geest (2005), ce choix est offert dans des modèles dit de *magnitude*[67] dans lesquels la firme décide de bénéficier de la protection légale (en responsabilité limitée) en adoptant un

67. Dans le chapitre 1, nous avons uniquement exposé le *separate probability-magnitude model* qui est le plus proche de l'esprit de notre analyse. Mais Dari-Mattiacci & De Geest (2005) exposent deux autres modèles avec insolvabilité endogène : le *magnitude model* et le *joint probability-magnitude model*.

niveau de "dommage-prévention" (permettant de réduire l'ampleur du dommage) suffisamment faible. Dans Friehe (2007), l'insolvabilité endogène réside dans l'application de mesures de prévention monétaires, qui réduisent le degré de solvabilité de la firme : certaines firmes ayant un niveau d'actifs disponibles légèrement supérieur au montant du dommage peuvent alors choisir l'état d'insolvabilité en cas d'accident en adoptant un niveau de prévention suffisamment élevé.
Dans notre analyse la prévention du risque est le résultat d'un choix technologique, qui entraîne une modification simultanée de la probabilité d'occurrence d'un accident et de l'intensité du dommage (via une modification de la décision de production). Une telle stratégie est alors bien plus sophistiquée que de simplement choisir, par exemple, un niveau de prévention modifiant l'intensité du dommage en cas d'accident. Ainsi, dans notre étude, l'adoption de la technologie 2, caractérisée par une probabilité d'accident plus faible, peut entraîner un accroissement du niveau d'activité amenant alors à une augmentation du dommage potentiel. L'effet du changement technologique sur le niveau de risque n'est alors pas immédiat.

A présent que nous avons identifié les incitations à bénéficier de la protection légale *ex post* dans le cadre du régime de responsabilité limitée, il convient d'analyser les conditions pour lesquelles le changement technologique a lieu.

C - Responsabilité limitée et changement technologique

Plusieurs possibilités pourraient être étudiées. Néanmoins, l'objectif de notre analyse est de déterminer des conditions pour lesquelles un changement technologique permet d'améliorer la prévention d'un risque d'accident, ce qui permet *a priori* d'accroître le bien-être social.
Ainsi, nous allons considérer uniquement les cas pour lesquels la firme est initialement dotée de la technologie 1 (historique), moins "sécuritaire" ($\varphi_1 > \varphi_2$), tout en ayant intérêt à adopter une internalisation partielle du risque ($y_1^{L+} > \widehat{y_1}$). Partant de cette situation initiale, nous pouvons aboutir à deux situations différentes. En effet, après changement technologique la firme peut décider d'internaliser partiellement le risque ($y_2^{LL+} > \widehat{y_2}$) ou de l'internaliser totalement ($y_2^{LL-} < \widehat{y_2}$). Nous allons alors tenter de mettre en évidence les conditions pour lesquelles le changement technologique, en responsabilité limitée,

peut *a priori* conduire à une amélioration du bien-être social ; c'est-à-dire les conditions amenant *à la fois* à un changement technique (vers une technologie plus sécuritaire, avec une plus faible probabilité d'accident) *et* à une internalisation complète du risque.

Proposition 4 *Considérons qu'un régime de responsabilité limitée est en vigueur et que la firme choisit d'internaliser partiellement le risque lorsqu'elle utilise la technologie* 1.

(i) La firme adopte la technologie 2 *et choisit d'internaliser totalement le risque si :*

$$\begin{cases} E > \frac{1}{4\varphi_1}\left[(1-\varphi_1)\frac{p^2}{Z_1} - \frac{(p-\varphi_2 d)^2}{Z_2}\right] & (a) \\ \frac{p(2d-p)-\varphi_2 d^2}{4Z_2} < E < \frac{p(2d-p)-\varphi_1 d^2}{4Z_1} & (b) \end{cases} \tag{32}$$

Ces conditions sont satisfaites en présence de firmes ayant une capitalisation moyenne et lorsque la nouvelle technologie représente une innovation incrémentale, caractérisée par des différences relatives en termes de coût ($Z_2 - Z_1 > 0$) et en termes de probabilité ($\varphi_1 - \varphi_2 > 0$) pas trop importantes.

(ii) Ce changement technologique permet toujours d'accroître le bien-être social.

Preuve : voir Appendice B, preuve 5. ♦

Ces résultats sont importants. Ils signifient non seulement que le régime de responsabilité limitée peut conduire simultanément à du changement technologique *et* à une internalisation complète du risque, mais aussi que ce changement technique permet d'améliorer le bien-être social. En d'autres termes, la responsabilité limitée ne peut être vue comme un régime de responsabilité amenant systématiquement les firmes à faire des choix entraînant une détérioration du bien-être social.

Le point (i) nous indique qu'un tel changement technique, de la technologie 1 avec internalisation partielle du risque vers la technologie 2 avec internalisation totale, peut se produire lorsque l'efficience relative [68] de la technologie 2 est modérée et que la firme dispose d'une capitalisation moyenne. Pour expliquer ceci, considérons momentanément un cas hypothétique. Soit une firme internalisant l'intégralité du risque avec la technologie 2. Admettons, par exemple, une réduction de la probabilité φ_2 (plus grande efficience sécuritaire). Il s'ensuit une augmentation du niveau de production y_2^{L-} (voir équation (31)) et, par conséquent, du dommage potentiel. De part la Proposition 2, nous constatons qu'une diminution de φ_2 entraîne un accroissement du seuil $\underline{E_2} = \frac{p(2d-p)-\varphi_2 d^2}{4Z_2}$, synonyme

68. Nous qualifions ici d'*efficience relative* la capacité de la technologie 2 (par rapport à la technologie 1) à réduire la probabilité d'accident en limitant la hausse du coût d'exploitation.

d'un durcissement des conditions (en termes de niveau en fonds propres) d'internalisation complète du risque. En effet, lorsque la technologie est plus "sécuritaire", le coût espéré d'un accident s'en trouve réduit, incitant la firme à produire davantage jusqu'à choisir d'internaliser partiellement le risque si son niveau en fonds propres est trop faible. Au final, l'adoption de la technologie 2 nécessite une plus grande efficience relative de cette technologie, mais ce gain d'efficience doit être modéré afin de ne pas amener la firme à adopter des niveaux de production qui ne lui permettraient pas d'internaliser la totalité du risque. C'est en ce sens que l'innovation doit être incrémentale. Par nature, la contrainte $\underline{E_2} < E < \underline{E_1}$ nous enseigne que ce cas concerne des firmes à capitalisation moyenne : des firmes trop faiblement capitalisées n'internalisent jamais totalement le risque (quelle que soit la technologie), alors que des grandes firmes sont, au contraire, en mesure de l'internaliser totalement quelle que soit la technologie utilisée.
Enfin, le point (ii) nous indique que ce changement technique avec internalisation complète du risque, signe d'une adéquation entre le problème privé de la firme et le problème social, conduit toujours à une amélioration du bien-être social.

A présent, nous allons procéder à une comparaison entre les deux régimes de responsabilité en termes de changement technique ainsi qu'en termes de capacité à internaliser totalement le risque.

3 Inefficiences du régime de responsabilité limitée : la taxation comme palliatif ?

Dans la section précédente, nous avons vu que le régime de responsabilité limitée peut induire du changement technologique tout en amenant à une internalisation complète du risque (comme en responsabilité illimitée). Comme nous l'avons dit précédemment, le régime de responsabilité illimitée permet une totale adéquation entre le problème privé de la firme et le problème social : il conduit alors à des situations optimales en matière de prévention du risque, et constitue ainsi une référence. A présent, nous allons analyser l'efficience relative du régime de responsabilité limitée (par rapport au régime de responsabilité illimitée) en termes d'incitations à procéder à un changement technologique accompagné d'une internalisation complète du risque.

Proposition 5 *Considérons qu'un régime de responsabilité limitée est en vigueur.*

Soit une firme qui a intérêt à choisir une internalisation partielle du risque avec la technologie 1. *Une telle firme aurait davantage d'incitations à procéder à un changement technologique en présence d'un régime de responsabilité illimitée qu'à adopter la technologie* 2 *avec internalisation complète du risque en responsabilité limitée.*

Preuve : voir Appendice B, preuve 6. ♦

Ce résultat peut s'expliquer de la manière suivante. En responsabilité limitée avec internalisation partielle du risque (situation initiale avec la technologie 1), le bénéfice de la protection légale *ex post* entraîne une limitation du coût du risque pour la firme (qui est alors inférieur à son coût social). En revanche, en responsabilité illimitée, le coût du risque est plus grand puisqu'incluant la possibilité de profit négatif (il se confond alors avec le coût social). En conséquence, par rapport au cas où un régime de responsabilité illimitée est en vigueur, l'externalisation partielle du coût du risque en responsabilité limitée entraîne une diminution du différentiel de coût du risque entre l'utilisation de la technologie 1 (avec internalisation partielle) et l'utilisation de la technologie 2 (avec internalisation totale). Dès lors, en responsabilité limitée, le bénéfice issu du changement technique en termes de réduction du coût du risque est plus faible qu'il ne le serait en responsabilité illimitée, réduisant ainsi l'incitation à s'orienter vers la technologie 2.

Pour résumer, la Proposition 4 nous enseigne que le régime de responsabilité limitée peut induire simultanément un changement technologique et une internalisation complète du risque, et ainsi allier internalisation et prévention du risque. Ce résultat devrait atténuer la force de l'argumentaire exposé par certains juristes en faveur de l'abandon du régime de responsabilité limitée au profit du régime de responsabilité illimitée. Néanmoins, la Proposition 5 indique que le régime de responsabilité illimitée conduit à davantage de changement technologique (avec internalisation complète du risque) que le régime de responsabilité limitée. Sachant qu'il peut être plus coûteux d'administrer un système juridique basé sur une responsabilité illimitée qu'un système basé sur une responsabilisation partielle (voir Alexander (1992)), il est pertinent de se demander si un outil de régulation complémentaire (et relativement peu coûteux à appliquer) pourrait accroître les incitations au changement technologique en présence d'un régime de responsabilité limitée. C'est dans cette direction que nous allons désormais orienter notre

analyse.

Considérons à présent une politique hybride, admettant l'usage simultané d'un régime de responsabilité limité (s'appuyant sur une règle de responsabilité sans faute) et d'un outil fiscal, la taxation. La mise en place d'une telle politique a pour objectif d'élargir l'ensemble des paramètres pour lesquels une firme neutre au risque a intérêt à procéder à un changement technologique (de la technologie 1 vers la technologie 2), en choisissant une internalisation complète du risque, sans recourir à un régime de responsabilité illimitée (potentiellement coûteux). Admettons que la production est taxée. La technologie choisie par la firme étant observable par le Régulateur, le taux de taxation peut être différencié selon la technologie utilisée. Notons le taux de taxation t_i, $i = 1, 2$.

Une telle hypothèse nécessite des explications supplémentaires. De prime abord, une taxation de la production peut s'avérer déroutante [69], mais il convient de rappeler que c'est le niveau d'activité y_i choisi par la firme qui affecte le niveau de risque subi par la Société. L'enjeu crucial pour le Régulateur est alors de fixer un taux de taxation favorisant l'adoption de la technologie qu'il souhaite promouvoir, sans réduire les incitations à internaliser au mieux le risque. Une firme souhaitant éviter une charge fiscale trop importante peut alors réduire son niveau de production ou adopter la technologie la moins taxée. Bien entendu, elle peut adopter simultanément ces deux stratégies.
Il ne faut pas oublier que l'introduction d'un tel outil aura un impact à la fois sur le choix technologique, mais aussi sur le niveau de solvabilité de la firme. Toutes choses étant égales par ailleurs, introduire un outil de taxation réduit la solvabilité de la firme et, de ce fait, réduit le niveau d'activité seuil au-delà duquel la firme est insolvable en cas d'accident (le niveau "de faillite"). Cependant, la firme peut réagir à l'introduction de cet outil en diminuant son niveau d'activité, réduisant ainsi l'ampleur du dommage potentiel.

69. En économie de l'environnement (voir Milliman & Prince (1989) par exemple), l'instrument fiscal est utilisé pour fournir des incitations à adopter des technologies d'abattement des émissions polluantes plus efficaces. La taxation porte sur la quantité émise de polluants, et non sur la production. En pratique, certains pays (Suisse, Suède, Norvège, Danemark, Finlande, Allemagne, Royaume-Uni ; la France a essayé - mais a échoué - d'imposer une "taxe carbone" en 2009) ont adopté des systèmes de taxation portant sur la production de certains secteurs spécifiques, ou la consommation de quelques biens particuliers.

De façon similaire au Lemme 1, le niveau d'activité $\widehat{y_i^t}$ qui induit un profit *ex post* égal à zéro (pour une technologie i donnée, et lorsqu'une politique taxation est appliquée) est défini de façon à satisfaire $(p-t_i)\widehat{y_i^t} - Z_i(\widehat{y_i^t})^2 - d\widehat{y_i^t} + E = 0$. Dès lors, tout comme dans le cas sans taxation, la firme, en responsabilité limitée, peut choisir de bénéficier de la protection légale en choisissant *ex ante* un niveau d'activité y_i^{tL} tel que $y_i^{tL} > \widehat{y_i^t}$ (internalisation partielle), ou de ne pas en bénéficier en choisissant un niveau d'activité y_i^{tL} tel que $y_i^{tL} < \widehat{y_i^t}$ (internalisation complète).

Admettons que la firme choisisse un niveau d'activité y_i^{tL} tel que $y_i^{tL} > \widehat{y_i^t}$. Son programme de maximisation, incluant le bénéfice de la protection légale, devient :

$$\max_{y_i^{tL},i}(1-\varphi_i)[(p-t_i)y_i^{tL} - Z_i(y_i^{tL})^2 + E]$$

Le niveau d'activité d'équilibre, noté y_i^{tL+}, est :

$$y_i^{tL+} = \frac{p-t_i}{2Z_i} \tag{33}$$

Dans le cas contraire, si la firme choisit un niveau d'activité inférieur à $\widehat{y_i^t}$, son programme de maximisation devient :

$$\max_{y_i^{tL},i}(p-t_i)y_i^{tL} - Z_i(y_i^{tL})^2 - \varphi_i d y_i^{tL} + E$$

Nous avons alors :

$$y_i^{tL-} = \frac{p-t_i-\varphi_i d}{2Z_i}, \quad i=1,2 \tag{34}$$

L'introduction du système de taxation ne change pas l'esprit du raisonnement fait précédemment, concernant le choix de bénéficier ou non de la protection légale en cas d'accident. Seule la force des incitations est modifiée, puisqu'influencée par le niveau relatif de taxation entre les deux technologies. Les résultats relatifs aux incitations à internaliser totalement ou partiellement le risque sont résumés dans la Proposition suivante.

Proposition 6 *Considérons une firme neutre au risque, en responsabilité limitée, en présence d'une taxation unitaire du niveau de production, différenciée selon la technologie utilisée*

(i) Lorsque la firme fait face à un risque standard d'accident, caractérisé par un dommage unitaire d tel que $2d < (p - t_i)$*, elle choisit toujours d'internaliser l'intégralité du risque quels que soient son niveau de fonds propres, son choix technologique et le niveau de taxation* t_i*.*

(ii) Lorsque la firme fait face à un risque de grande ampleur, caractérisé par un dommage unitaire d tel que $d > (p - t_i)$*, elle choisit d'internaliser partiellement le risque (protection légale) si son niveau en fonds propres E est tel que :* $E < \underline{E_i^t}$*, avec* $\underline{E_i^t} = \frac{(p-t_i)(2d-(p-t_i))-\varphi_i d^2}{4Z_i}$

(iii) En présence de risques de grande ampleur, pour une technologie i ($i = 1, 2$*) donnée, plus le niveau de taxation unitaire est élevé, plus faible est le seuil minimal en fonds propres* $\underline{E_i^t}$ *au-delà duquel la firme internalise intégralement le risque.*

Preuve : voir Appendice B, preuve 7. ♦

Ici, les points (i) et (ii) nous enseignent que le taux de taxation a un impact sur le statut du risque généré par la firme. En effet, la taxation réduit la solvabilité de la firme de sorte que, pour un dommage unitaire d donné, la condition $2d < (p - t_i)$ peut ne plus être satisfaite. Dès lors, partant d'un risque standard toujours intégralement internalisé, la firme fait désormais face à un risque majeur en ce sens que, relativement à sa capacité financière, l'occurrence d'un accident peut conduire la firme en situation de faillite.

Ainsi, le niveau de taxation a deux effets sur l'internalisation du risque. Premièrement, un niveau de taxation élevé réduit la solvabilité de la firme, et peut l'amener d'une situation dans laquelle le risque est toujours internalisé (point (i)) vers une situation où l'internalisation partielle est possible (point (ii)) ; ce qu'un Régulateur ne souhaite pas observer *a priori*. Donc le niveau de taxation ne doit pas être trop élevé. Deuxièmement, en présence de risques de grande ampleur ($2d < (p - t_i)$ n'est pas satisfaite), il altère l'incitation à internaliser entièrement le risque via une modification du comportement de production (et donc, *in fine*, de l'ampleur du dommage potentiel) : ainsi, un accroissement du taux de taxation amène plus facilement une firme à faible ou moyenne capitalisation à internaliser intégralement le risque (point (iii)). Par conséquent, le Régulateur doit tenir compte de ces deux effets, opposés, lorsque son objectif principal est

d'améliorer l'internalisation du risque par les firmes.

L'analyse développée précédemment est réalisée à technologie i donnée. Dans la Proposition suivante, nous présentons les conditions pour lesquelles une politique de taxation permet, en présence d'un régime de responsabilité limitée, d'accroître les incitations à procéder à un changement technologique tout en internalisant totalement le risque (par rapport à une politique sans taxation).

Proposition 7 *Soit une firme neutre au risque faisant face à un risque technologique majeur ($d > (p - t_i)$), en présence d'un régime de responsabilité limitée. Considérons la possibilité de mettre en place une politique de taxation unitaire et différenciée (selon la technologie utilisée) du niveau de production.*

(i) Admettons que la firme internalise totalement le risque avec la technologie 1*. Il est plus vraisemblable qu'un changement technologique avec internalisation complète du risque ait lieu en présence d'une politique de taxation caractérisée par $0 \leq t_2 \leq t_1$ qu'en l'absence d'une telle politique.*

(ii) Admettons que la firme n'internalise pas totalement le risque avec la technologie 1*. Il est plus vraisemblable qu'un changement technologique avec internalisation complète du risque ait lieu en présence d'une politique de taxation caractérisée par $0 \leq t_2 < t_1$ et une différence $(t_1 - t_2)$ suffisamment élevée qu'en l'absence d'une telle politique.*

Preuve : voir Appendice B, preuve 8. ♦

Il est important de noter que la Proposition 7 s'intéresse uniquement aux cas, en responsabilité limitée, où la politique de taxation permet *à la fois* un changement technologique plus fréquent *et* un accroissement des possibilités d'internalisation du risque. En effet, il existe un nombre plus important de situations permettant d'accroître les incitations au changement technologique que celles indiquées dans cette Proposition. Nous pouvons notamment penser aux cas où la technologie 1 est taxée ($t_1 > 0$) alors que la technologie 2 est non taxée ($t_2 = 0$) voire subventionnée ($t_2 < 0$). Dans tous ces cas, des incitations de même ampleur peuvent être fournies. Cependant, ces politiques induisent des effets différents à la fois en termes de recettes fiscales, en termes de distorsions sur le marché du bien (non prises en compte dans cette analyse) mais aussi, ce qui est plus important au regard de notre étude, elles induisent des effets différents sur l'internalisation du risque.

Précisons davantage cette remarque. Pour un niveau de taxation $t_1 > 0$ donné, une subvention de la technologie 2 (i.e. $t_2 < 0$) peut permettre d'accroître l'incitation au changement technologique sans détériorer le solde budgétaire du Régulateur (par rapport à une situation sans taxation). Cependant, une telle subvention entraîne un accroissement du seuil minimal en fonds propres $\underline{E_2^t}$ permettant une internalisation totale du risque. Dans ce cas, l'accroissement de l'incitation se fait au détriment de l'internalisation du risque. En revanche, une politique de taxation de chaque technologie ($t_i > 0$, $\forall i = 1, 2$) permet, sous certaines conditions, d'accroître l'incitation au changement technologique tout en permettant une meilleure internalisation du risque. En effet, les deux seuils $\underline{E_1^t}$ et $\underline{E_2^t}$ décroissent avec $t_1 > 0$ et $t_2 > 0$ respectivement. Par conséquent, en supposant $\underline{E_1^t} > \underline{E_2^t}$, il est à la fois plus vraisemblable que la firme internalise totalement le risque quelle que soit la technologie choisie (puisque $\underline{E_1^t} < \underline{E_1}$), et il y a moins de chances qu'elle n'internalise jamais totalement le risque (puisque $\underline{E_2^t} < \underline{E_2}$). Dès lors, la politique de taxation permet d'allier changement technique, meilleure internalisation du risque et meilleure compensation des victimes ; du fait de la meilleure internalisation voire aussi de l'allocation des recettes fiscales issues de cette politique de taxation à un fonds de compensation des victimes.

4 Discussion et conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé un modèle mettant en avant une firme dont l'activité est source d'un risque technologique potentiellement majeur. Le principal objectif de cette analyse est de montrer que le régime de responsabilité limitée peut promouvoir des incitations à adopter une technologie plus sécuritaire, et ne pas toujours amener à une internalisation partielle du risque. A cet égard, nous avons montré que l'introduction d'un système de taxation permet, sous certains conditions, de renforcer ces propriétés.

Notre analyse considère une firme faisant face à deux technologies disponibles : la technologie historique est caractérisée par une probabilité d'accident plus importante que la nouvelle technologie, mais cette dernière est techniquement plus coûteuse à exploiter que la première. Nous considérons un risque d'accident multiplicatif en ce sens que l'ampleur du dommage potentiel s'accroît avec le niveau d'activité. Dès lors, en présence

d'un régime de responsabilité limitée, notre analyse met en avant le caractère endogène du choix de bénéficier ou non de la protection financière légale offerte par ce régime de responsabilité lorsqu'un accident se produit. Ainsi, selon le niveau d'activité qu'elle choisit, la firme a la possibilité de fixer le niveau du dommage de sorte qu'il entraîne ou non sa faillite en cas d'accident ; dans ce dernier cas la firme internalise l'intégralité du risque malgré la présence d'un régime de responsabilité limitée.
Nous avons présenté les conditions pour lesquelles une telle internalisation complète du risque est possible, ainsi que les conditions favorables au changement technologique. Nous avons montré que le régime de responsabilité limitée peut induire simultanément une prévention optimale et une internalisation totale du risque, affaiblissant ainsi la portée des arguments avancés par certains économistes et juristes favorables à son abolition au profit d'un régime de responsabilité illimitée. Néanmoins, nous avons montré que ce dernier régime fournit davantage d'incitations au changement technologique (tout en permettant, par définition, une internalisation complète du risque).
Cependant, bien qu'induisant une prévention optimale du risque, l'application d'un régime de responsabilité illimitée peut s'avérer extrêmement coûteuse. Dès lors, nous avons tenté d'élargir les conditions pour lesquelles, en présence d'un régime de responsabilité limitée, le changement technologique avec internalisation complète du risque est possible. Pour cela, nous avons introduit un nouvel outil politique : la taxation. En appliquant une taxation sur le niveau de production (qui, rappelons-le, affecte l'ampleur du dommage potentiel), et en la différenciant selon la technologie utilisée, nous avons montré qu'il était possible d'élargir les possibilités menant à un changement technologique *et* à une internalisation complète du risque, en responsabilité limitée.

Plusieurs points sont à mettre en évidence. Tout d'abord, le régime de responsabilité limitée peut promouvoir des incitations à adopter une technologie plus sécuritaire sans toujours détériorer le degré d'internalisation du risque (voire même en l'améliorant). Ce résultat est à commenter à la lueur de ceux issus des analyses menées par Dari-Mattiacci & De Geest (2005) et Dari-Mattiacci & De Geest (2006). En effet selon ces analyses, en cas d'internalisation partielle du risque en présence d'un régime de responsabilité limitée, les firmes n'ont aucune incitation à adopter des mesures de prévention visant à réduire l'ampleur du dommage potentiel. Mais ces analyses sont menées dans un cadre "mono-

technologique", en ce sens que les technologies de prévention (l'une visant à réduire la probabilité, l'autre l'ampleur du dommage) sont données, et la décision de production est exogène. L'une des principales originalités de notre modèle consiste alors en la prise en compte de la possibilité de procéder à un changement technologique, ce qui permet aux firmes de définir des stratégies plus complexes. Ainsi notre modèle montre que, en présence d'un régime de responsabilité limitée, une firme internalisant partiellement le risque peut avoir intérêt à adopter une *nouvelle technologie* caractérisée par une probabilité d'accident plus faible, tout en l'amenant à réguler son niveau d'activité de façon à internaliser intégralement le risque. En outre, le fait d'allier responsabilité et taxation accroît l'éventail des possibilités offertes au Régulateur.
Enfin, nos résultats plaident en faveur d'une différenciation des politiques selon les caractéristiques du secteur considéré, et notamment selon le niveau de capitalisation des firmes relativement à l'ampleur du dommage potentiel. Nous avons en effet montré qu'il est possible d'améliorer les performances du régime de responsabilité limitée en termes d'internalisation et de prévention du risque par des firmes de capitalisation "moyenne" ; l'introduction d'un système de taxation adéquat permettant de faciliter l'adoption d'une technologie plus sécuritaire tout en améliorant le degré d'internalisation du risque. En revanche, pour des capitalisations plus faibles, le régime de responsabilité limitée ne peut parvenir à une internalisation complète du risque. En de telles situations, conditionner l'autorisation d'exercice de certaines activités à risques à la satisfaction d'un seuil minimal en fonds propres pourrait être souhaitable. Egalement, l'argumentaire en faveur de l'instauration d'un régime de responsabilité illimitée, tant pour des raisons de prévention du risque que pour des raisons de compensation des victimes, n'est pas affaiblit en présence de telles situations.

Le modèle développé au cours de ce chapitre est basé sur des hypothèses simples. Son champ d'analyse pourrait (et devrait) être étendu. Une première extension pourrait être de considérer un niveau en fonds propres endogène, autorisant ainsi l'emprunt de capital auprès d'investisseurs externes. Il serait intéressant d'analyser le comportement de la firme en matière de gestion du risque (i.e. choix technologique et niveau d'activité) lorsqu'elle est dotée de fonds externes. Une autre extension à considérer serait d'étudier l'impact de l'existence d'une technologie nouvelle qui serait à la fois exploitable sur un

plan technique, mais aussi caractérisée par un risque d'accident imparfaitement connu ; nécessitant un investissement supplémentaire en R&D ou tests techniques afin d'être mieux évalué. Dès lors, outre son impact sur le choix technologique, l'impact de la responsabilité sur l'incitation à rechercher de l'information sur un risque imparfaitement connu pourrait être analysé. Une telle analyse pourrait être particulièrement intéressante à l'heure où l'émergence de nouvelles technologies, comme les nanotechnologies, suscite des interrogations sur leur toxicité potentielle et sur les manières de promouvoir des attitudes *précautionneuses* de recherches d'informations avant utilisation de telles technologies. C'est cette piste de réflexion que nous allons aborder dans le chapitre suivant.

Chapitre 3

Responsabilité en situation ambigüe : impact sur le choix technologique

1 Introduction

Au cours des précédents chapitres nous avons pu observer que le champ de "l'économie du droit" (*Law and Economics*) a developpé une analyse dans laquelle le système de responsabilité civile est utilisé comme un outil de régulation des activités à risque. Ainsi, par exemple, il met en scène des agents exerçant des activités potentiellement dommageables à autrui, qui configurent leur technologie de prévention du risque en choisissant un niveau de prévention, x, minimisant le coût de prévention, $c(x)$, et le montant espéré des réparations, $D(x)$, sous l'influence du cadre légal. Au-delà de l'aspect allocation des coûts des dommages *ex post*, la responsabilité civile est alors reconnue comme un outil incitant à la prévention du risque *ex ante*. Nous avons également pu constater que, jusqu'à une période très récente, ces analyses ont ignoré la possibilité de procéder à un changement technique, via la mise au point ou l'acquisition d'une nouvelle technologie, permettant d'accroître l'efficacité des mesures visant à réduire le risque. En outre, peu de ces analyses ont considéré la présence de risques *imparfaitement connus*[70], et la possibilité de mener des recherches d'informations complémentaires en vue de réduire l'ampleur de l'ambiguïté. Pourtant, dans le cadre de la régulation des risques technologiques, la question des risques imparfaitement connus revet un caractère particulièrement important, notamment lorsque l'on considère la possibilité d'introduire des innovations technologiques, qui peuvent être de plus en plus complexes.

En effet, lorsque de nouvelles technologies sont introduites, certains risques (environnementaux, sanitaires,...) peuvent rester imparfaitement connus, malgré la possibilité, d'un point de vue purement technique, d'utiliser ces nouvelles technologies au cours du processus de production. Nous pouvons illustrer ce concept à l'aide de deux exemples concrets. Le premier exemple fait référence à une évolution technologique récente : l'introduction de la technologie EPR dans l'industrie nucléaire. Le 2 novembre 2009, les autorités de sûreté nucléaire britannique, finlandaise et française ont émis une déclaration commune[71] jetant la controverse sur la fiabilité du système de sécurité attaché à cette nouvelle technologie de production. Ainsi, ces trois régulateurs ne partageaient

70. Les seules exceptions dont nous avons connaissance sont les analyses de Teitelbaum (2007) et de Langlais (2011), que nous commentons plus loin.

71. Voir : http ://www.asn.fr/index.php/S-informer/Actualites/2009/Systeme-de-controle-commande-du-reacteur-EPR

pas le même avis que les concepteurs de ce nouveau type de réacteur (EDF et Areva) quant au risque d'accident lié à son utilisation. Le second exemple que nous pouvons citer fait référence à l'introduction de technologies radicalement nouvelles : les nanotechnologies. Aujourd'hui encore l'introduction de particules de l'ordre du nanomètre dans divers produits ou matériaux fait l'objet de controverses, surtout dans le domaine de la pharmacologie [72]. Dans ce domaine, l'utilisation de nanoparticules est source d'importants espoirs concernant le traitement des maladies de Parkinson et d'Alzheimer, ces très fines particules pouvant aider à la livraison de médicaments dans des parties jusqu'alors inacessibles du cerveau. Cependant cette petitesse pourrait être source de dommages : de part leur dimension infime, ces particules sont capables de traverser des barrières immunitaires et de pénétrer au coeur des cellules, altérant alors leur composition. Une telle altération pourrait s'avérer néfaste, mais à ce jour les probabilités d'occurrence d'un dommage sanitaire (et même l'ampleur du dommage éventuel) ne font pas l'unanimité au sein de la communauté scientifique.

Au-delà de ces deux exemples particuliers, plusieurs éléments peuvent être source d'*ambiguïté* ou d'imprécision concernant la valeur réelle de la probabilité d'occurrence d'un accident ; en partant d'éléments purement techniques (manque d'informations sur la fiabilité ou la toxicité d'un produit, d'une technologie) jusqu'à des facteurs organisationnels et humains (connaissances du personnel à l'égard des procédures de sécurité, des nouveaux procédés de production,...). La présence de tels éléments, source d'ambiguïté, remet en cause le cadre d'analyse traditionnel en situation risquée développé par Von Neumann et Morgenstern (VNM) dans la mesure où l'élaboration même de probabilités précises (et additives) est mise à mal, comme l'a montré l'analyse de Ellsberg (1961). Ne parvenant pas à modéliser ces "nouvelles" situations, l'analyse "classique" en situation risquée ne peut plus remplir son objectif d'aide à la décision. A cette fin, une nouvelle formalisation de ces problèmes plus complexes doit être proposée.

Ellsberg (1961) définit la notion d'ambiguïté au-delà de la distinction bien connue entre "risque" ou "incertitude mesurable" et "incertitude non mesurable". Selon lui, trois situations doivent être distinguées : "risque" lorsque les probabilités d'occurrence des dif-

72. Voir le rapport du Conservatoire National des Arts et Métiers visant à contribuer au débat national (français) sur les nanotechnologies (http ://www.debatpublic-nano.org/informer/contributiondunanoforum.html ?id_document=14) et un *Rapport Bourgogne* du laboratoire CIRANO (http ://www.cirano.qc.ca/pdf/publication/2006RB-02.pdf).

férents événements possibles sont connues (ainsi que l'ensemble des événements), "ignorance totale" lorsque rien est connu, et "ambiguïté" lorsque les probabilités ne sont pas parfaitement connues mais que le décideur peut avoir une "idée" les concernant grâce à quelques éléments d'information. Grâce à sa célèbre expérience des urnes, il montre notamment que la présence d'ambiguïté rend les agents incapables de fabriquer des probabilités (additives) subjectives [73], contrairement à ce qu'affirme Savage (1954). Jean-Yves Jaffray fait quant à lui une distinction entre ignorance complète, risque et "risque imprécis". Les deux premiers concepts rejoignent parfaitement les deux premières situations évoquées par Ellsberg (1961) ; ces cas sont très particuliers et pourraient être qualifiés d'exception. En revanche, le concept de risque imprécis recouvre un nombre plus important de situations : selon Jaffray, ce concept recouvre l'ensemble des situations pour lesquelles une certaine quantité d'information relative aux différents événements possibles est disponible, mais pas en quantité ou qualité suffisante pour définir une distribution unique de probabilités. Outre cette définition, Jaffray propose un modèle de décision (Jaffray (1989a), Jaffray (1989b) et Jaffray (1989c)) dédié aux situations de risque imprécis, qui est une extension du modèle d'utilité espéré de VNM utilisé en situation risquée.

Néanmoins, face à une situation ambigüe, l'arrivée d'informations nouvelles peut parfois éclairer le choix. Dans un contexte de choix technologique, des tests techniques supplémentaires peuvent, par exemple, livrer de nouvelles informations et permettre de réduire l'ambiguïté inhérente au risque que fait encourir une technologie. Cette recherche d'information peut être volontaire ou imposée, par une législation ou par un régulateur. En effet, une telle requête a déjà été formulée suite à la controverse liée à la sécurité des réacteurs nucléaires EPR : le régulateur français [74] a demandé à EDF d'entreprendre des tests supplémentaires et de satisfaire à certaines exigences sécuritaires avant d'utiliser la technologie, sous peine de devoir la modifier ou y renoncer. Dans le cadre des nanotechnologies, le débat national mené en France a révélé le désir du public que des recherches d'informations supplémentaires (notamment toxicologiques) soient menées avant de considérer l'éventualité d'une exploitation totale de ces technologies

73. Cette incapacité est la source d'une aversion aux situations ambigües, auxquelles sont préférées les situations risquées (avec des probabilités objectives, connues).

74. Il s'agit de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN). Voir la lettre de l'ASN à EDF sur le site internet de l'ASN (*cf* note 2).

nouvelles [75].

Dans le présent chapitre, nous n'allons pas analyser la décision d'investir (ou non) dans un processus de recherche d'informations supplémentaires, ni étudier les incitations s'y référant ; une telle analyse sera menée dans le chapitre 4. Nous allons donc considérer le contexte informatif comme *donné*, et nous allons nous pencher sur la décision inhérente au choix technologique. Ainsi, nous considérons que les firmes *ayant investi* dans un processus de recherche d'informations supplémentaires reçoivent un signal d'information sur le risque inhérent à la nouvelle technologie, et font leur choix technologique à la lumière de cette information nouvelle. En revanche, les firmes n'ayant pas investi en recherche d'informations conservent leurs croyances initiales et font leur choix technologique en conséquence. Ainsi, dans ce chapitre nous focalisons notre analyse sur l'influence du régime de responsabilité civile sur le choix technologique des firmes *étant donné* leur décision en termes de politique de recherche d'informations supplémentaires.

Ce chapitre a donc pour objectif d'étudier l'impact du régime de responsabilité civile sur le choix technologique de firmes issues de secteurs à risques, lorsqu'une des technologies disponibles est caractérisée par une imprécision concernant son véritable risque d'accident. Cette imprécision est le fruit de l'absence d'une information précise et unanimement reconnue permettant d'établir un consensus à propos de la véritable nature du risque. Les éléments d'information disponibles permettent uniquement d'affirmer que la véritable probabilité d'accident se situe dans un intervalle borné par deux valeurs extrêmes (qui peuvent refléter les opinions les plus divergentes), mais néanmoins partagées par tous (probabilités objectives). Notre situation est alors similaire à une situation de *risque imprécis* telle que décrite par Jaffray (1989a), et notre approche s'inspire ainsi de la modélisation proposée par cet auteur (Jaffray (1989a), Jaffray (1989b) et Jaffray (1989c)). Nous considérons en outre que les firmes ont eu la possiblité d'investir en recherche d'informations supplémentaires ; la nouvelle information leur permettant d'actualiser leurs croyances à propos du risque (et de la profitabilité) de la nouvelle technologie "ambigüe" d'une façon similaire à Orset (Orset (2010), Chemarin & Orset (2010)).

Nous comparons les choix technologiques des firmes en responsabilité limitée et en res-

75. Voir le rapport du Conservatoire National des Arts et Métiers (*cf* note 3), appelant à un processus de décision séquentielle et révisable, au gré de l'arrivée d'informations nouvelles.

ponsabilité illimitée, les deux régimes de responsabilité étant accompagnés d'une règle de responsabilité sans faute. Outre sa simplicité d'utilisation, cette règle est en effet l'une des plus répandues dans la régulation des activités pouvant être dangereuses pour l'environnement. Nous montrons que l'application d'un régime de responsabilité limitée ne favorise pas nécessairement l'adoption de la technologie pouvant s'avérer la plus risquée pour la Société, mais favorise l'adoption de la technologie procurant le revenu d'activité (hors coût du risque) le plus élevé. Nous montrons que ceci est dû au fait que le régime de responsabilité limitée induit une attitude riscophile ; la technologie procurant le revenu d'activité le plus élevé étant aussi celle caractérisée par une dispersion plus importante des gains/pertes.

A notre connaissance, les deux seules autres études analysant la régulation d'un risque imparfaitement connu via le système de responsabilité sont Teitelbaum (2007) et Langlais (2011). Néanmoins, les cadres d'analyse sont très différents. Dans Teitelbaum (2007), l'information portant sur le risque d'accident est précise ; les agents font face à une unique probabilité objective d'accident (qui est celle adoptée par le Régulateur et le Tribunal). L'ambiguïté résulte d'un manque de confiance des agents en cette probabilité unique d'accident ; le degré d'ambiguïté est alors un facteur purement psychologique. Langlais (2011) adopte une vision similaire, avec une unique probabilité objective d'accident (adoptée par le Régulateur) envers laquelle les agents font preuve d'un manque de confiance. Néanmoins la problématique abordée est différente de celle abordée habituellement en économie de la responsabilité, puisque dépassant la question des incitations optimales à la prévention pour tenir compte du partage optimal des coûts du risque au niveau social. Notons enfin que Teitelbaum (2007) adopte une modélisation alternative à l'utilité espérée de VNM (modèle *Choquet Expected Utility*), alors que Langlais (2011) adopte un modèle plus proche de VNM (modèle *Rank Dependant Expected Utility*).
Dans notre situation, l'ambiguïté résulte d'un manque d'information entraînant une incapacité à construire une distribution unique de probabilités. Le degré d'ambiguïté est donc une grandeur physique, objective, sur laquelle vont s'appliquer les préférences de la firme. Ainsi, notre cadre d'analyse se démarque de ces contributions tant à propos de la problématique traitée qu'à propos du type de risque imparfaitement connu qui est considéré.

Dans la section 2, nous présentons les hypothèses de bases et expliquons notre modélisation de cette situation ambigüe. Dans la section 3, nous déterminons la stratégie de choix technologique en présence d'un régime de responsabilité limitée. La section 4 applique la même analyse, tandis que la dernière section esquisse quelques conclusions et pistes de réflexions futures.

2 Un modèle de choix technologique en présence d'un risque *imprécis*

En premier lieu, nous allons présenter les principales hypothèses du modèle puis, dans un second temps, nous expliquerons plus en détails le type de situation ambigüe que nous envisageons d'analyser ainsi que le type de modélisation adopté.

2.1 Hypothèses de base

Nous considérons une firme neutre au risque [76] vendant un bien sur un marché parfaitement concurrentiel, dont l'activité peut causer un dommage D à la Société.
Supposons que la firme utilise une technologie éprouvée, "historique", la technologie A, caractérisée par un revenu W_A et une probabilité d'accident p_A, parfaitement connue. Considérons à présent qu'une nouvelle technologie, la technologie B, est disponible. Elle est caractérisée par un revenu W_B et une probabilité d'accident p_B qui est imparfaitement connue : l'état de l'art des connaissances scientifiques est tel qu'il est seulement admis par tous que p_B se situe dans un intervalle de probabilités *objectives* $[p_B^L,p_B^H]$. Le risque attaché à l'usage de la technologie B est donc *imprécis* au sens de Jaffray (1989a) ; l'ampleur de l'intervalle $[p_B^L,p_B^H]$ définit le degré [77] d'ambiguïté relative à ce risque.
Considérant des risques d'accidents dits majeurs, nous supposons que l'ampleur D du dommage est suffisamment importante pour conduire la firme en situation de faillite en cas d'accident : $D > W_i$, $i = A, B$. Ainsi, la variable aléatoire définissant le risque pour la technologie $i = A, B$ peut être notée : $\tilde{D}_i \equiv (1 - p_i, p_i; 0, D)$.

76. La neutralité au risque est supposée de façon à nous focaliser sur les effets liés à l'ambiguïté.
77. Plus faible est cet intervalle, moindre est l'ambiguïté à propos de p_B. Nous constatons ici que le degré d'ambiguïté est une mesure objective et non un facteur psychologique tel que décrit dans Teitelbaum (2007).

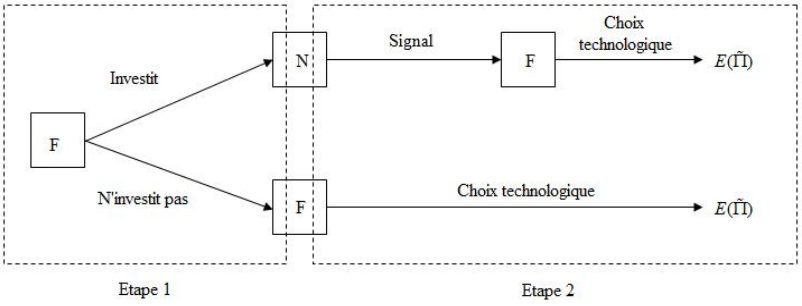
Afin d'éviter des cas triviaux, nous posons $p_B^L < p_A < p_B^H$ et nous obtenons $E[\tilde{\Pi}_B]|_{p_B=p_B^H} < E[\tilde{\Pi}_A] < E[\tilde{\Pi}_B]|_{p_B=p_B^L}$: le profit espéré avec la technologie B est tel qu'il serait préférable de l'adopter si on apprenait que $p_B = p_B^L$, tandis qu'il serait préférable de conserver la technologie A lorsque $p_B = p_B^H$. Etant donné cette particularité, il est possible de définir dans l'intervalle $[p_B^L, p_B^H]$ une probabilité-seuil, p_B^T, pour laquelle la technologie B procure un profit espéré identique à celui de la technologie A. A partir de là, deux états de la Nature peuvent être définis :

- Etat l : la véritable valeur de p_B est inférieure à la valeur seuil p_B^T.
- Etat h : la véritable valeur de p_B est supérieure à la valeur seuil p_B^T.

Ainsi, si l'état l se trouve être le véritable état de la Nature, il s'ensuit $E[\tilde{\Pi}_B] > E[\tilde{\Pi}_A]$ et la firme devrait adopter la technologie B. Si l'état h est le véritable état de la Nature, nous obtenons $E[\tilde{\Pi}_B] < E[\tilde{\Pi}_A]$ et la firme devrait conserver la technologie A.

Cependant, la firme ne sait pas lequel de l ou de h est le véritable état de la Nature. Nous supposons qu'elle a des croyances *initiales* concernant la vraisemblance de l'occurrence de ces états et qu'elle a la possibilité d'acquérir davantage d'informations en effectuant un investissement dans un processus de recherche (R&D, tests techniques, de fiabilité...). Notons $P(h, \alpha)$ la croyance initiale que h est le véritable état de la Nature, $(1 - P(h, \alpha))$ la croyance initiale que l est le véritable état de la Nature.

Figure 1 : Les deux étapes du processus de décision



F symbolisant la firme, N symbolisant la Nature.

La figure 1 ci-dessus représente les deux étapes du processus de décision de la firme. L'étape 1 représente la décision de la firme en termes d'investissement en recherche d'informations supplémentaires sur le risque inhérent à la technologie B. Cependant, comme nous l'avons expliqué en introduction, nous n'allons pas étudier cette étape [78]

78. Celle-ci sera l'objet du chapitre 4.

et nous considérons la décision d'investir ou non en recherche d'informations comme *donnée*. En revanche, nous allons analyser l'étape 2 de cette figure qui représente la décision de choix technologique. Lorsque la firme a décidé, en étape 1, de ne pas investir en recherche d'informations (branche du bas), elle effectue son choix technologique sur la base de ses croyances *initiales*. En revanche, si elle a investi (branche du haut), elle reçoit en étape 2 un signal d'information lui permettant de réviser ses croyances et d'effectuer son choix technologique à l'aune de cette information nouvelle. Ainsi, au cours de ce chapitre, nous considérons le contexte informatif comme *donné* et focalisons notre analyse sur le choix technologique *étant donné* la décision prise en étape 1. Ceci correspond à la première phase de la résolution à rebours du modèle.

Nous supposons que la recherche d'information a un coût exogène procurant une désutilité $\bar{I}$, ce coût ne réduisant pas le niveau de solvabilité de la firme [79]. Un unique horizon temporel est considéré (pas de facteur d'actualisation). Lorsque la firme investit en recherche d'informations supplémentaires, elle reçoit un signal d'information θ^j signifiant "le véritable état de la Nature est j", avec $j = l, h$.
Cependant, la fiabilité de ce signal n'est pas parfaite. Soit f une variable aléatoire exogène prenant valeur dans $[\frac{1}{2}, 1]$. Lorsque le signal est délivré, la firme observe f et sait que le signal est fiable à $f\%$. Ainsi, lorsque $f = \frac{1}{2}$, le signal n'est pas informatif puisqu'il y a une chance sur deux pour qu'il soit correct (ou éronné). Si $f = 1$, le signal est parfaitement informatif. La réception d'un signal d'information permet à la firme de reconditionner ses croyances d'être dans un état donné ($P(h, \alpha)$ et (1-$P(h, \alpha)$)) selon la règle de Bayes.

2.2 La modélisation de l'ambiguïté

En présence d'ambiguïté sur le risque d'accident (de la technologie B), on suppose que la firme construit des croyances relatives à l'occurrence d'un accident selon le modèle de Jaffray (1989a). Dans ce modèle, basé sur la théorie de l'évidence initiée par Dempster (1967), l'ensemble des distributions de probabilités compatible avec l'information disponible concernant la variable d'intérêt (ici la variable $\tilde{D}$ lorsque la technologie B est

79. Une explication à cette hypothèse est fournie en section 4, lors de l'étude en présence d'un régime de responsabilité limitée (cette hypothèse n'a pas d'impact en présence d'un régime de responsabilité illimitée).

utilisée) est caractérisé par son enveloppe inférieure, c'est-à-dire la probabilité minimale de chaque événement ("accident" ($\tilde{D} = 0$) ou "non accident" ($\tilde{D} = D$)) compatible avec l'information disponible. A cette enveloppe inférieure est associée une fonction particulière, l'inverse de Möbius [80], qui permet de déterminer la fonction d'allocation des masses de croyances aux différents événements possibles.

Lorsqu'il n'y a que deux événements élémentaires [81] possibles, l'interprétation de cette construction est aisée. A titre d'illustration, admettons que la firme sait avec certitude que l'état h est le véritable état de la Nature. Dès lors, l'information à sa disposition peut être synthétisée de la façon suivante :

- l'événement "accident" ($\tilde{D} = D$) a lieu au moins avec la probabilité p_B^T (la *probabilité-seuil*),
- l'événement "non accident" ($\tilde{D} = 0$) a lieu au moins avec la probabilité $(1 - p_B^H)$,
- mais la masse de probabilité restante, $1-(1-p_B^H)-p_B^T = p_B^H - p_B^T$, ne peut pas être objectivement assignée à un événement ou à un autre. Dès lors, cette masse est assignée à l'union des deux événements selon un indicateur d'optimisme/pessimisme à la Hurwicz, $\alpha \in]0, 1[$. Formellement nous obtenons :

$$(p_B^H - p_B^T)[\alpha D + (1 - \alpha)0] \tag{35}$$

avec D et 0 les utilités VNM liées à l'occurrence des événements "accident" et "non accident" respectivement.

Au final, sachant que l'état h est le véritable état de la Nature, la croyance de la firme quant à l'occurrence d'un accident ($\tilde{D} = D$) est :

$$p_B^T + [p_B^H - p_B^T]\alpha = \alpha p_B^H + (1 - \alpha)p_B^T$$

Suivant le même raisonnement, si la firme était en mesure de savoir que l'état l est le véritable état de la Nature, alors sa croyance quant à l'occurrence d'un accident serait : $\alpha p_B^T + (1 - \alpha)p_B^L$.

80. Pour une explication détaillée concernant la théorie de l'évidence, voir Lefèvre (2001), Simon & Weber (2008), Fallet *et al.* (2010). Pour une explication plus détaillée de ce modèle, dans un contexte plus général, voir Etner *et al.* (2011).

81. Par événement élémentaire nous entendons des événements dont l'occurrence n'est pas soumise à l'occurrence d'autres événements.

Comme l'ont noté Giraud & Tallon (2009) et Etner *et al.* (2011), l'ensemble des probabilités possibles (par exemple $[p_B^T, p_B^H]$ lorsque l'on considère l'état h) que considère la firme coïncide par construction avec l'information disponible. Ce modèle est construit sur l'intuition que la firme traite l'information sur le risque de manière objective (sans transformation subjective), puis évalue les actes en appliquant ses préférences. Dans ce cas, l'interprétation de α est aisée : ce coefficient, qui pondère la réalisation de l'événement le plus défavorable (D) dans l'expression (35), est un coefficient de pessimisme (plus α est élevé, plus la firme considère que la probabilité d'accident est élevée).
Ce modèle consiste donc en une extension du modèle d'utilité espérée de VNM incluant un ensemble de distributions de probabilités permettant de tenir compte de l'information (imprécise) disponible sur le risque considéré. Les préférences des individus sont à la fois caractérisées par leur fonction d'utilité VNM (qui est ici linéaire puisque nous supposons la neutralité au risque), représentant l'attitude à l'égard du risque, et un indicateur d'optimisme/pessimisme à la Hurwicz (α), qui représente leur attitude à l'égard de l'ambiguïté. Nous pouvons noter qu'à partir de ce modèle nous pouvons retrouver le modèle d'utilité espérée (en l'absence d'ambiguïté) et le modèle de Arrow & Hurwicz (1972) lorsque l'incertitude est totale (intervalle de probabilité $[0, 1]$).

Cette modélisation, relativement simple d'utilisation dans un contexte à deux événements élémentaires potentiels, a l'avantage d'intégrer une représentation par intervalle de probabilités qui est particulièrement pertinente pour modéliser des situations *controversées* dans lesquelles, par exemple, plusieurs *opinions*[82] divergentes s'affrontent. En outre, cette représentation par intervalle représente une synthèse *objective* de l'information disponible, qui est intégrée comme telle dans le processus de décision ; les préférences de l'agent décideur venant ensuite s'y appliquer. Cette analyse objective de l'information est ici d'autant plus appréciable que notre étude se focalise sur le comportement de firmes issues de secteurs à hauts risques, pouvant entraîner des dommages très importants (i.e. dont la valorisation peut excèder celle des actifs liquidables de la firme). Nous pouvons raisonnablement supposer que ces firmes[83] analysent le risque d'une ma-

82. Dans notre situation d'imprécision relative à un risque d'accident, ces opinions, prises en compte par la firme, doivent être revêtues d'un minimum de caractère d'autorité (concepteurs de la technologie, scientifiques, agences de certification ou de régulation, groupes écologistes dotés d'experts,...)

83. Ce type de modélisation est effectivement utilisé dans les analyses de risques dites "intégrées" dans le cadre de la gestion de systèmes industriels complexes. Ce type d'analyse a été mis au point notamment par EDF R&D (voir Simon & Weber (2008), Fallet *et al.* (2010), Magne & Vasseur (2006)

nière plus "rationnelle" que des individus ; nous pouvons imaginer que de telles firmes peuvent être dotées d'une équipe technique, d'ingénieurs spécialement formés à analyser les risques de la façon la plus objective possible [84].

Bien d'autres modélisations de situations ambigües ont été proposées (Gilboa & Schmeidler (1989), Klibanoff *et al.* (2005),...), mais elles semblent moins appropriées face à une situation telle que celle que nous considérons, associant une firme faisant face à un risque dont la nature est soumise à controverses. Par exemple, considérons briévement le modèle de Klibanoff *et al.* (2005) pour lequel la valeur d'une action a est donnée par :

$$V(a) = \int_{\Delta} \phi \left(\int_{S} u(a) d\pi \right) d\mu \tag{36}$$

Ce modèle considère, d'une part, un ensemble d'états de la Nature possibles (S) et, d'autre part, un ensemble de distributions de probabilités sur l'occurrence de ces états (Δ). [85] Il suppose que l'agent décideur dispose d'une distribution de croyances subjectives, μ, quant à l'occurrence de chaque distribution de probabilités sur l'occurrence des états (distributions dans l'ensemble Δ). L'attitude à l'égard de l'ambiguïté est alors capturée par une fonction ϕ appliquée à la distribution μ_a, c'est-à-dire à la distribution des valeurs des utilités espérées induites par la distribution de croyances μ, pour un acte a donné. La distribution μ_a représente l'incertitude relative à l'évaluation *ex ante* de l'acte a, elle met en avant les différentes probabilités (subjectives) des différentes évaluations possibles de l'acte a. L'aversion à l'ambiguïté est représentée par la concavité de la fonction ϕ, qui est définie comme une aversion à un étalement de la distribution μ_a à moyenne constante (*mean preserving spread* de μ_a).

Outre le fait que ce modèle n'est pas conçu pour analyser des situations de controverses qui peuvent être traduites par un intervalle de probabilités, il n'instaure pas d'adéquation parfaite entre l'information disponible et l'ensemble de probabilités possibles (pour un événement donné). Nous pouvons en effet constater que l'information disponible est contenue dans l'ensemble de croyances subjectives μ. Ainsi, dans cet ensemble, infor-

chapitre 7).

84. Nous pouvons imaginer que les ingénieurs permettent au comité de direction de la firme de donner l'intervalle de probabilités possibles, et que ce comité retienne un scénario selon son degré de pessimisme α.

85. Δ est l'ensemble des mesures de probabilité, π est une mesure particulière.

mation et préférences interagissent (de façon indéterminée) pour obtenir des croyances subjectives : il n'y a pas de traitement objectif de l'information, et de distinction claire entre information objective et préférences.
Ainsi, la prise en compte d'une représentation par intervalle offerte par Jaffray (1989a), permettant de modéliser des situations de controverses [86] et d'offrir une synthèse simple et objective de l'information disponible, a retenu notre préférence.

A présent, nous allons formaliser notre problème en considérant qu'un régime de responsabilité illimitée est en vigueur, et décrire le comportement de choix technologique de la firme.

3 Régimes de responsabilité et définition des stratégies de choix technologique

Dans cette section, pour chaque régime de responsabilité, nous procédons à une brève description de son impact sur la fonction de valorisation de la firme puis déterminons les stratégies de choix technologique.

3.1 Comportements de choix technologique en présence d'une responsabilité illimitée

Rappelons tout d'abord que nous considérons qu'une règle de responsabilité sans faute est en vigueur. Associée à un régime de responsabilité illimitée, cette règle implique que la firme est toujours reconnue responsable de l'intégralité des dommages dont elle est la cause, quel que soit son comportement, et ce même si la valeur du dommage excède ses capacités financières ; ce que nous supposons ici ($D > W_i$). Dès lors, techniquement, en cas d'accident, le profit de la firme est négatif. D'un point de vue pratique cela signifie que les actionnaires, après que la firme ait été liquidée, réparent les dommages restants à partir de leur patrimoine personnel (qui est supposé suffisamment important). Ainsi, par exemple, si la firme adopte la technologie $i = A, B$ après avoir investi en recherche

86. Outre les situations de controverses, cette modélisation a été appliquée par Eeckhoudt & Jeleva (2004) dans le cadre de l'analyse de risques diagnostique (lorsque l'observation de symptômes ne permet pas de définir précisément la probabilité d'être maladie ou non) et par Jeleva (1997) dans le cadre de la demande d'assurance (lorsque l'assuré a une vision imprécise du risque d'accident).

d'informations, la valeur de cette décision est :

$$V_i^U[\bar{I}, \alpha] = W_i - \varphi_i D - \bar{I} \tag{37}$$

avec $\varphi_A = p_A$ et $\varphi_B = \hat{p}_B(\theta^j, \alpha)$, la croyance révisée de la firme quant à la véritable valeur de p_B (selon son degré de pessimisme α et le signal d'information θ^j, $j = l, h$) ; $\bar{I}$ la désutilité liée à l'investissement en recherche d'informations ; l'exposant U indique le cas de responsabilité illimitée.

Définition 1 : Soit p_B^{TU} la *probabilité-seuil* d'accident, avec la technologie B et en présence d'un régime de responsabilité illimitée. Elle vérifie :

$$W_A - p_A D = W_B - p_B^{TU} D$$

Et nous obtenons : $p_B^{TU} = \frac{W_B - W_A}{D} + p_A$, avec $p_B^L < p_B^{TU} < p_B^H$.

Sous ce régime de responsabilité, l'état l est l'état pour lequel la véritable valeur de p_B est incluse dans l'intervalle $[p_B^L, p_B^{TU}]$, tandis que l'état h est celui pour lequel la véritable valeur de p_B est comprise dans $[p_B^{TU}, p_B^H]$.

Définition 2 : Soit $P^U(h, \alpha)$ la croyance *initiale* (avant réception d'un éventuel signal d'information) de la firme quant à la vraisemblance que l'état h soit le véritable état de la Nature, en présence d'un régime de responsabilité illimitée. $(1 - P^U(h, \alpha))$ est la croyance initiale que l'état l est le véritable état de la Nature. $P^U(h, \alpha)$ vérifie : $0 \leq P^U(h, \alpha) \leq 1$, $\frac{\partial P^U(h,\alpha)}{\delta \alpha} > 0, P^U(h, 0) = 0, P^U(h, 1) = 1$.

La croyance *initiale* de la firme concernant la véritable valeur de p_B peut alors s'écrire :

$$\hat{p}_B(\alpha) = P^U(h, \alpha)[\alpha p_B^H + (1 - \alpha) p_B^{TU}] + (1 - P^U(h, \alpha))[\alpha p_B^{TU} + (1 - \alpha) p_B^L]$$

avec $\hat{p}_B(\alpha)$ croissant en α, $\hat{p}_B(0) = p_B^L$, $\hat{p}_B(1) = p_B^H$.
Ceci correspond à la croyance de la firme quant à la valeur de p_B lorsque l'état h est le véritable état de la Nature pondérée par la croyance initiale que l'état h est le véritable

état de la Nature, plus la croyance de la firme quant à la valeur de p_B lorsque l'état l est le véritable état de la Nature pondérée par la croyance initiale que l'état l est le véritable état de la Nature.

Lorsque la firme a investi en recherche d'informations supplémentaires, elle reçoit un signal imparfait θ^j $(j = l, h)$ à propos du véritable état de la Nature (avec une fiabilité $f \in [\frac{1}{2}, 1]$). Ce signal permet à la firme de conditionner ses croyances initiales d'être dans l'état l ou dans l'état h à l'aide de la règle de Bayes [87]. Les croyances *révisées*, après conditionnement, sont alors, lorsque le signal θ^h est reçu : $P^U(h|\theta^h, \alpha) = \frac{P^U(h,\alpha)f}{P^U(h,\alpha)f+(1-P^U(h,\alpha))(1-f)}$ et $(1 - P^U(h|\theta^h, \alpha)) = \frac{(1-P^U(h,\alpha))(1-f)}{P^U(h,\alpha)f+(1-P^U(h,\alpha))(1-f)}$; lorsque le signal θ^l est reçu : $P^U(h|\theta^l, \alpha) = \frac{P^U(h,\alpha)(1-f)}{P^U(h,\alpha)(1-f)+(1-P^U(h,\alpha))f}$ et $(1-P^U(h|\theta^l, \alpha)) = \frac{(1-P^U(h,\alpha))f}{P^U(h,\alpha)(1-f)+(1-P^U(h,\alpha))f}$

Par conséquent, pour un signal θ^j reçu, la croyance *révisée* de la firme concernant la véritable valeur de p_B est :

$$\hat{p}_B(\theta^j, \alpha) = P^U(h|\theta^j, \alpha)[\alpha p_B^H + (1 - \alpha)p_B^{TU}] + (1 - P^U(h|\theta^j, \alpha))[\alpha p_B^{TU} + (1 - \alpha)p_B^L]$$

avec $\hat{p}_B(\theta^j, \alpha)$ croissant en α, $\hat{p}_B(\theta^j, 0) = p_B^L$, $\hat{p}_B(\theta^j, 1) = p_B^H$.

Lemme 1 *Lorsque la firme a investi en recherche d'informations supplémentaires alors, pour un signal θ^j $(j = l, h)$, nous avons : $\hat{p_B}(\theta^l, \alpha) \leq \hat{p_B}(\alpha) \leq \hat{p_B}(\theta^h, \alpha)$*

Preuve : voir Appendice C, preuve 1. ♦

Ainsi, quel que soit le degré de pessimisme $\alpha \in]0, 1[$, un signal θ^l réduit la croyance de la firme à propos de la valeur de p_B pour tout $f > \frac{1}{2}$. Un signal θ^h augmente la croyance de la firme lorsque $f > \frac{1}{2}$. Lorsque $f = \frac{1}{2}$, le signal n'est pas informatif et la firme conserve sa croyance initiale $\hat{p}_B$.

A présent, nous allons déterminer la stratégie de choix technologique de la firme étant donné le contexte informatif. A partir de la Définition 1, il est aisé de déduire que la firme choisira d'adopter la technologie B (de conserver la technologie A) si sa croyance à l'égard de p_B est inférieure (supérieure) à la probabilité-seuil p_B^{TU}.

87. A ce jour, il n'existe pas de règle unique de conditionnement des croyances en situation ambigüe (voir Chateauneuf *et al.* (2010), Jaffray (1992)). Cependant, ici, nous pouvons remarquer que l'information nouvelle, θ^j, a trait à la *probabilité* d'être dans l'état j, $j = l, h$ (i.e. $P^U(h, \alpha)$ et $(1 - P^U(h\alpha))$). Le conditionnement porte donc sur des éléments non affectés par l'ambiguïté, de sorte que la règle de Bayes peut s'appliquer.

Proposition 1 *Supposons qu'un régime de responsabilité illimitée est en vigueur.*

Lorsque la firme n'a pas décidé d'investir en recherche d'informations supplémentaires, il existe une valeur $\breve{\alpha}^U \in]0,1[$ *pour laquelle :*

- *la technologie B est choisie par la firme lorsque* $\alpha < \breve{\alpha}^U$
- *la technologie A est choisie par la firme lorsque* $\alpha > \breve{\alpha}^U$
- *la firme est indifférente entre les deux technologies lorsque* $\alpha = \breve{\alpha}^U$

avec $\breve{\alpha}^U = \frac{(1-P^U(h,\breve{\alpha}))(p_B^{TU}-p_B^L)}{P^U(h,\breve{\alpha})(p_B^H-p_B^{TU})+(1-P^U(h,\breve{\alpha}))(p_B^{TU}-p_B^L)}$

Preuve : voir Appendice C, preuve 2. ♦

Désormais, et tout au long de cette analyse, nous qualifierons d'"optimiste" une firme caractérisée par $\alpha < \breve{\alpha}^U$. Une firme sera dite "pessimiste" lorsqu'elle sera caractérisée par $\alpha > \breve{\alpha}^U$. A présent, considérons le comportement d'une firme ayant décidé d'investir en recherche d'informations.

Proposition 2 *Supposons qu'un régime de responsabilité illimitée est en vigueur, et que la firme a décidé d'investir en recherche d'informations supplémentaires.*

(i) Si la firme est optimiste ($\alpha < \breve{\alpha}^U$*), alors :*

- *lorsqu'elle reçoit un signal* θ^l*, elle adopte la technologie B quelle que soit la fiabilité f du signal.*
- *lorsqu'elle reçoit un signal* θ^h*, elle conserve la technologie A si* $f > f^U_{omin}$ *; sinon elle adopte B.*

avec $f^U_{omin} = \frac{(1-\alpha)(1-P^U(h,\alpha))(p_B^{TU}-p_B^L)}{\alpha P^U(h,\alpha)(p_B^H-p_B^{TU})+(1-\alpha)(1-P^U(h,\alpha))(p_B^{TU}-p_B^L)}$, $f^U_{omin} \in [\frac{1}{2},1]$, f^U_{omin} *décroissant en* α.

(ii) Si la firme est pessimiste ($\alpha > \breve{\alpha}^U$*), alors :*

- *lorsqu'elle reçoit un signal* θ^h*, elle conserve la technologie A quelle que soit la fiabilité f du signal.*
- *lorsqu'elle reçoit un signal* θ^l*, elle adopte la technologie B si* $f > f^U_{pmin}$ *; sinon elle conserve A.*

avec $f^U_{pmin} = \frac{\alpha P^U(h,\alpha)(p_B^H-p_B^{TU})}{\alpha P^U(h,\alpha)(p_B^H-p_B^{TU})+(1-\alpha)(1-P^U(h,\alpha))(p_B^{TU}-p_B^L)}$, $f^U_{pmin} \in [\frac{1}{2},1]$, f^U_{pmin} *croissant en* α.

Preuve : voir Appendice C, preuve 3. ♦

Le comportement de la firme est somme toute assez intuitif. La Proposition 2 point (ii) nous enseigne que l'adoption de la technologie B par une firme pessimiste est strictement

soumise à la réception d'un signal θ^l *suffisamment fiable*. En revanche, le point (i) nous montre qu'une firme optimiste peut adopter la technologie B malgré la réception d'un signal θ^h si celui-ci n'est *pas suffisamment fiable*. Ainsi, f^U_{omin} peut être défini comme le seuil minimal de fiabilité au-delà duquel un signal θ^h amène une firme optimiste vers un choix technologique différent de celui qu'elle aurait effectué en l'absence d'information supplémentaire (ici, A au lieu de B). De façon analogue, f^U_{pmin} est le seuil minimal de fiabilité au-delà duquel la réception de θ^l amène une firme pessimiste à adopter B (alors que, sans cette information supplémentaire, elle aurait conservé la technologie A).
Par conséquent, deux observations peuvent être mises en exergue. Considérons un accroissement du degré d'ambiguïté (i.e. de l'amplitude de l'intervalle $[p^L_B, p^H_B]$). Lorsque celui-ci résulte d'une hausse de la valeur de p^H_B, cela conduit à une augmentation de f^U_{omin} et à une réduction de f^U_{pmin} : plus la technologie B est potentiellement dangereuse [88], plus grande est la fiabilité nécessaire de θ^l pour "convaincre" une firme pessimiste d'adopter B (et moins grande est la fiabilité minimale nécessaire de θ^h pour qu'une firme optimiste se détourne de B). Un raisonnement symétrique nous montre qu'un accroissement du degré d'ambiguïté résultant d'une diminution de la valeur de p^L_B conduit à une moindre fiabilité minimale pour amener une firme pessimiste à adopter B (diminution de f^U_{pmin}), et à une plus grande fiabilité minimale de θ^h pour qu'une firme optimiste se détourne de B (hausse de f^U_{omin}). Cependant nous pouvons noter que, dans un cadre d'information parfaite, ces seuils minimaux de fiabilité pourraient également être altérés par l'action du Régulateur via l'instauration, par exemple, d'une règle de négligence basée sur des standards de choix technologique selon la nature et la qualité de l'information reçue (voir la discussion en section 5).

A présent, décrivons les comportements de la firme en matière de choix technologique en présence d'un régime de responsabilité limitée, avant d'effectuer une comparaison entre régimes.

88. C'est-à-dire lorsque l'occurrence d'un accident devient plus probable.

3.2 Comportements de choix technologique en responsabilité limitée

Nous considérons toujours que la règle de responsabilité en vigueur est une règle de responsabilité sans faute, mais la firme est à présent soumise à un régime de responsabilité limitée. Rappelons qu'en présence d'un tel régime de responsabilité, la firme peut bénéficier d'une protection financière *ex post* lorsque l'ampleur des dommages excède la valeur liquidative de la firme ; ce que nous supposons ici. Ainsi, en cas d'accident le montant maximal en réparation lui incombant est limité à sa valeur liquidative : la firme est liquidée mais une part des dommages reste non compensée, supportée par les victimes ou la Société. Le Tribunal ne peut pas demander aux actionnaires de réparer le dommage restant ; leur patrimoine personnel est clairement distinct [89] de celui de la firme (et protégé). Techniquement, pour tout dommage $D > W_i$, le profit de la firme est nul en cas d'accident. Considérons, par exemple, une firme adoptant la technologie $i = A, B$ après avoir investi en recherche d'informations. La valeur de cette décision est :

$$V_i^L[\bar{I}, \alpha] = (1 - \varphi_i)W_i - \bar{I} \tag{38}$$

avec $\varphi_A = p_A$, $\varphi_B = \hat{p}_B(\theta^j, \alpha)$, et l'exposant L symbolise le régime de responsabilité limité.

Rappelons que, pour simplifier l'analyse, nous considérons que le coût de l'investissement en recherche d'informations supplémentaires procure une désutilité $\bar{I}$ à la firme, et que ce coût ne modifie pas son niveau de solvabilité [90] : que la firme investisse ou non en recherche d'informations, si elle choisit la technologie i son niveau de solvabilité (et, donc, le montant qu'elle doit payer au titre des réparations en cas d'accident) est toujours égal à W_i.

En pratique, une telle hypothèse peut être la traduction du fait que le coût de l'investissement est externe à la firme (prêt, facilité de trésorerie,...) et que, en cas d'accident, priorité est donnée au remboursement des créances pour dommages [91] sur le rembourse-

89. Néanmoins les actionnaires perdent la valeur du capital qu'ils ont apporté dans le capital social de la firme.

90. Dans le cas contraire (traité en Annexe A), la probabilité-seuil n'est pas la même selon que la firme investit ou non en recherche d'informations. Mais les principaux résultats de l'analyse ne sont pas modifiés.

91. En réalité, une telle disposition existe dans plusieurs lois relatives aux dommages environnementaux, et notamment dans la loi CERCLA aux Etats-Unis. Une telle hypothèse est également admise

ment des autres créances (notamment bancaires). La désutilité $\bar{I}$ regroupe alors tous les coûts (d'opportunité) et efforts liés au fait d'entreprendre des démarches pour lever des fonds supplémentaires, mobiliser des ressources qui ne sont pas dévoués à des activités productives.

Définition 3 : Soit p_B^{TL} la *probabilité-seuil* d'accident de la technologie B en présence d'un régime de responsabilité limitée, pour laquelle la firme est indifférente entre les deux technologies. p_B^{TL} vérifie :

$$(1 - p_B^{TL})W_B = (1 - p_A)W_A$$

Et nous obtenons : $p_B^{TL} = 1 - [\frac{(1-p_A)W_A}{W_B}]$

Nous pouvons observer que la définition des états l et h est différente de celle énoncée en responsabilité illimitée, puisque la probabilité-seuil en responsabilité limitée, p_B^{TL}, est différente de celle considérée en responsabilité illimitée, p_B^{TU}. Ici, l'état l est l'état pour lequel la véritable valeur de p_B est incluse dans l'intervalle $[p_B^L; p_B^{TL}]$, tandis que l'état h est celui pour lequel la véritable valeur de p_B est comprise dans $[p_B^{TL}; p_B^H]$. Par conséquent, les croyances intiales en l'occurrence de chaque état sont aussi altérées.

Définition 4 : Soit $P^L(h, \alpha)$ la croyance *initiale* de la firme que l'état h est le véritable état de la Nature (et $(1 - P^L(h, \alpha))$ la croyance en l'état l). Les propriétés suivantes sont admises : $0 \leq P^L(h, \alpha) \leq 1$, $\frac{\partial P^L(h,\alpha)}{\delta \alpha} > 0, P^L(h, 0) = 0, P^L(h, 1) = 1$.

La croyance *initiale* de la firme quant à la valeur de p_B est alors :

$$\hat{p}_B(\alpha) = P^L(h, \alpha)[\alpha p_B^H + (1 - \alpha)p_B^{TL}] + (1 - P^L(h, \alpha))[\alpha p_B^{TL} + (1 - \alpha)p_B^L] \qquad (39)$$

Tout comme en responsabilité illimitée, lorsque la firme reçoit un signal elle révise sa croyance initiale $P^L(h, \alpha)$ (et, par complémentarité, sa croyance $(1 - P^L(h, \alpha))$) grâce à la règle de Bayes. Lorsque le signal θ^h est reçu nous avons : $P^L(h|\theta^h, \alpha) = \frac{P^L(h,\alpha)f}{P^L(h,\alpha)f+(1-P^L(h,\alpha))(1-f)}$ et $(1-P^L(h|\theta^h, \alpha)) = \frac{(1-P^L(h,\alpha))(1-f)}{P^L(h,\alpha)f+(1-P^L(h,\alpha))(1-f)}$; lorsque le signal θ^l

par Dionne & Spaeter (2003).

est reçu : $P^L(h|\theta^l,\alpha) = \frac{P^L(h,\alpha)(1-f)}{P^L(h,\alpha)(1-f)+(1-P^L(h,\alpha))f}$ et $(1-P^L(h|\theta^l,\alpha)) = \frac{(1-P^L(h,\alpha))f}{P^L(h,\alpha)(1-f)+(1-P^L(h,\alpha))f}$.
La croyance conditionnelle au signal θ^j concernant la véritable valeur de p_B est alors :

$$\hat{p_B}(\theta^j,\alpha) = P^L(h|\theta^j,\alpha)[\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TL}] + (1-P^L(h|\theta^j,\alpha))[\alpha p_B^{TL} + (1-\alpha)p_B^L]$$

A l'instar du raisonnement mené au cours du Lemme 1, il est aisé de vérifier que la réception de θ^l entraîne une diminution (la réception de θ^h entraîne une augmentation) de la croyance relative à la valeur de p_B, lorsque $f > \frac{1}{2}$.

A présent, nous allons décrire les comportements de choix technologique de la firme en présence d'un régime de responsabilité limitée. La Définition 3 nous permet de déduire le critère de choix technologique de la firme : la firme adoptera la technologie B (conservera la technologie A) si sa croyance à l'égard de p_B est inférieure (supérieure) à p_B^{TL}. Il suit les résultats suivants.

Proposition 3 *Supposons qu'un régime de responsabilité limitée est en vigueur.*

Lorsque la firme n'a pas décidé d'investir en recherche d'informations supplémentaires, il existe une valeur $\breve{\alpha}^L \in]0,1[$ *pour laquelle :*

- *la technologie B est choisie par la firme lorsque* $\alpha < \breve{\alpha}^L$
- *la technologie A est choisie par la firme lorsque* $\alpha > \breve{\alpha}^L$
- *la firme est indifférente entre les deux technologies lorsque* $\alpha = \breve{\alpha}^L$

avec $\breve{\alpha}^L$ *tel que* $\hat{p}_B(\breve{\alpha}^L) = p_B^{TL}$, *soit* $\breve{\alpha} = \frac{(1-P^U(h,\breve{\alpha}))(p_B^{TL}-p_B^L)}{P^U(h,\breve{\alpha})(p_B^H-p_B^{TL})+(1-P^U(h,\breve{\alpha}))(p_B^{TL}-p_B^L)}$

Preuve : similaire à Proposition 1. ♦

En présence de ce régime de responsabilité, une firme est qualifiée d'"optimiste" lorsqu'elle est caractérisée par $\alpha < \breve{\alpha}^L$, et une firme est dite "pessimiste" lorsque $\alpha > \breve{\alpha}^L$. De façon similaire à l'analyse menée en responsabilité limitée, nous pouvons déterminer le choix technologique opéré par une firme ayant investi en recherche d'informations.

Proposition 4 *Supposons qu'un régime de responsabilité limitée est appliqué*

(i) Si la firme est optimiste ($\alpha < \breve{\alpha}^L$), *alors :*

- *sans information nouvelle, elle adopte la technologie B.*
- *lorsqu'elle reçoit* θ^l, *elle adopte B quel que soit f.*
- *lorsqu'elle reçoit* θ^h, *elle adopte A si* $f > f^L_{omin}$ *; sinon elle adopte B.*

avec $f^L_{omin} = \frac{(1-\alpha)(1-P^L(h,\alpha))(p^{TL}_B - p^L_B)}{\alpha P^L(h,\alpha)(p^H_B - p^{TL}_B)+(1-\alpha)(1-P^L(h,\alpha))(p^{TL}_B - p^L_B)}$, $f^L_{omin} \in [\frac{1}{2}, 1]$, f^L_{omin} *décroissant en* α

(ii) Si la firme est pessimiste ($\alpha > \breve{\alpha}^L$)*, alors :*

- *sans information nouvelle, elle adopte la technologie A.*
- *lorsqu'elle reçoit* θ^h*, elle adopte A quel que soit* f*.*
- *lorsqu'elle reçoit* θ^l*, elle adopte B si* $f > f^L_{pmin}$ *; sinon elle adopte A.*

avec $f^L_{pmin} = \frac{\alpha P^L(h,\alpha)(p^H_B - p^{TL}_B)}{\alpha P^L(h,\alpha)(p^H_B - p^{TL}_B)+(1-\alpha)(1-P^L(h,\alpha))(p^{TL}_B - p^L_B)}$, $f^L_{pmin} \in [\frac{1}{2}, 1]$, f^L_{pmin} *croissant en* α

Preuve : similaire à Proposition 2. ♦

A présent que les comportements de choix technologique ont été décrits pour chaque régime de responsabilité, nous allons procéder à une étude comparative plus approfondie.

4 Impact du régime de responsabilité sur le choix technologique : une analyse comparative

Suite à la définition des stratégies de choix technologique pour chaque régime de responsabilité, nous pouvons remarquer que le comportement de la firme en matière de choix technologique semble essentiellement guidé par la position de sa croyance quant au véritable p_B par rapport à une valeur-seuil. Par conséquent, nous allons en premier lieu comparer les différentes probabilités-seuil pouvant être recontrées selon le régime de responsabilité en vigueur.

Lemme 2 *Soit un dommage D suffisamment important*

(i) Si $W_B > (<) W_A$*, alors* $p^{TL}_B > (<) p^{TU}_B > (<) p_A$

(ii) Si $W_B = W_A$*, alors* $p^{TL}_B = p^{TU}_B = p_A$

Preuve : voir Appendice C, preuve 4. ♦

Dans notre contexte de dommages potentiels importants pouvant entraîner la faillite de la firme en cas d'accident ($D > W_i$), ces différences en probabilités-seuil entre les deux régimes de responsabilité sont les conséquences de pondérations différentes des caractéristiques des technologies dans la fonction de valorisation de la firme selon le régime de responsabilité en vigueur. Rappelons en effet qu'une technologie est caractérisée par deux éléments : le revenu net d'activité qu'elle procure et le coût du risque d'accident.

Considérons tout d'abord le cas pour lequel les deux technologies procurent des revenus d'activité différents (point (i) du Lemme 2). Quel que soit le régime de responsabilité considéré, il est alors évident que la probabilité-seuil doit être différente de p_A de façon à compenser le gain ou la perte de revenu d'activité (que procure la technologie B par rapport à A) et assurer ainsi l'égalisation des profits. Ainsi, lorsque la technologie B procure un revenu d'activité plus (moins) important que la technologie A, la probabilité-seuil doit être plus (moins) grande que p_A de sorte qu'un coût du risque plus (moins) important avec cette technologie compense son "avantage-revenu" ("désavantage-revenu"), pour assurer l'égalisation des profits entre les deux technologies.

Cependant, l'ampleur de cette différence entre la probabilité-seuil et p_A dépend de l'importance du coût en réparation en cas d'accident. En effet, plus ce coût est important, plus une différence donnée entre la probabilité-seuil et p_A permet une compensation importante d'un avantage-revenu ou désavantage-revenu (selon que l'on ait $W_B > W_A$ ou $W_B < W_A$). Or, considérant $D > W_i$,[92] ce coût en réparation est plus important en responsabilité illimitée qu'en responsabilité limitée. Ceci explique une plus faible différence entre la probabilité-seuil et p_A en responsabilité illimitée qu'en responsabilité limitée et, par conséquent, le fait d'obtenir $p_B^{TL} > (<) p_B^{TU}$ lorsque $W_B > (<) W_A$. Ainsi, une pondération plus importante du coût du risque en présence d'un régime de responsabilité illimitée explique les différences en probabilités-seuil entre les régimes ; la compensation d'une divergence en revenus d'activité entre les deux technologies étant "plus vite" compensée en responsabilité illimitée qu'en responsabilité limitée ($|p_B^{TU} - p_A| < |p_B^{TL} - p_A|$). L'explication du point (ii) du Lemme 2 suit immédiatement : lorsque les deux technologies procurent le même revenu d'activité, l'égalisation des profits est assurée lorsque les coûts du risque sont équivalents, ce qui est le cas lorsque la probabilité-seuil est égale à p_A (quel que soit le régime de responsabilité).

Une conséquence directe du Lemme 2 peut être formulée de la manière suivante.

Remarque 1 : *Nous avons* $P^L(h,\alpha) < (>) P^U(h,\alpha)$ *lorsque* $W_B > (<) W_A$, α *donné, . Lorsque* $W_B = W_A$ *il suit* $P^L(h,\alpha) = P^U(h,\alpha)$.

92. Si la firme était confrontée à des dommages potentiels plus faibles, tels que $D < W_i$, alors elle serait capable de réparer l'intégralité des dommages quel que soit le régime de responsabilité en vigueur. Le coût du risque étant alors identique aux deux régimes, la probabilité-seuil serait également identique aux deux régimes.

En effet, au sein d'un intervalle $[p_B^L, p_B^H]$ donné, une probabilité-seuil plus importante (plus faible) est synonyme d'un nombre plus faible (plus important) de valeurs possibles de p_B amenant à conserver la technologie A. Ainsi, lorsque l'on a $p_B^{TL} > p_B^{TU}$ ($p_B^{TL} < p_B^{TU}$), un nombre moins important (plus important) de valeurs de p_B est inclus dans l'état h. Pour un α donné il suit alors $P^L(h,\alpha) < P^U(h,\alpha)$ ($P^L(h,\alpha) > P^U(h,\alpha)$) : la croyance initiale quant à l'occurrence de l'état h est moins (plus) importante en responsabilité limitée qu'en responsabilité illimitée.

En corollaire du Lemme 2 et de la Remarque 1, nous obtenons le résultat suivant.

Proposition 5 *Soit une firme (α donné) qui n'a pas investi en recherche d'informations.*

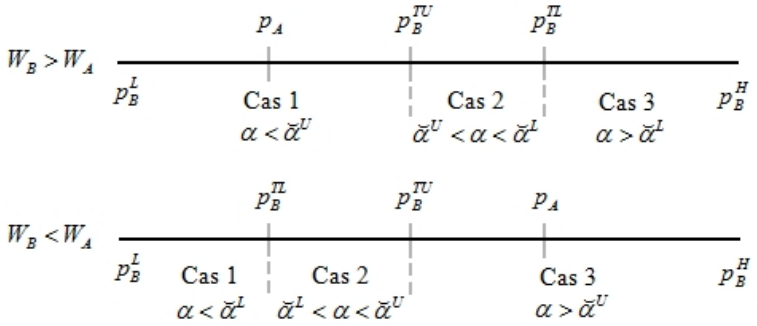
(i) Lorsque la nouvelle technologie procure un revenu net d'activité plus important (moins important), il est plus vraisemblable qu'elle adopte la technologie B en responsabilité limitée (illimitée) qu'en responsabilité illimitée (limitée).

(ii) Sa stratégie de choix technologique sera affectée par le régime de responsabilité en vigueur seulement si la valeur de α est comprise entre $\breve{\alpha}^U$ et $\breve{\alpha}^L$.

(iii) Lorsque les deux technologies procurent les mêmes revenus net d'activité, le régime de responsabilité n'a pas d'impact sur la stratégie de choix technologique.

Considérons la figure 2 ci-dessous pour expliquer ces propos.

Figure 2 : Situation des probabilités-seuil



Considérant des firmes qui n'ont pas investi en recherche d'informations, la figure 2 nous permet de situer, selon la valeur de l'index de pessimisme α, la croyance initiale de la firme ($\hat{p}_B(\alpha)$) par rapport à la probabilité-seuil correspondant au régime de responsabilité en vigueur. Ainsi, par exemple, pour $W_B > W_A$ le Cas 1 recense toutes les valeurs

de α conduisant à une croyance initiale inférieure à p_B^{TU}.[93]

Ainsi, concernant le point (ii) de la Proposition 5, nous pouvons remarquer que dans les deux situations décrites ($W_B > W_A$ et $W_B < W_A$) seules les firmes dont la valeur de α appartient au Cas 2 (i.e. α compris entre $\breve{\alpha}^U$ et $\breve{\alpha}^L$) modifient leur choix technologique selon le régime de responsabilité en vigueur. Ainsi, par exemple, lorsque $W_B > W_A$ nous pouvons constater qu'une firme appartenant au Cas 2 est considérée comme optimiste et choisit la technologie B en responsabilité limitée ($p_B(\alpha) < p_B^{TL}$), alors que cette même firme est considérée comme pessimiste et choisit la technologie A en responsabilité illimitée ($p_B(\alpha) > p_B^{TU}$). Un raisonnement symétrique peut être mené lorsque $W_B < W_A$. En revanche, les firmes appartenant aux Cas 1 et 3 ne sont pas affectées par le régime de responsabilité en vigueur. Quel que soit le régime en vigueur, elles ont un comportement similaire et sont respectivement considérées comme optimistes (adoption de B) et pessimistes (conservation de A). Considérant $W_B > W_A$, le point (i) est issu de l'observation que davantage de valeurs de α conduisent à une croyance initiale inférieure à la probabilité-seuil (i.e. adoption de la technologie B) en responsabilité limitée qu'en responsabilité illimitée. L'observation opposée peut être faite lorsque $W_B < W_A$.

Ces observations nous permettent de mettre en évidence une force "tempérante" du régime de responsabilité illimitée : lorsque, par exemple, la nouvelle technologie procure un revenu net d'activité plus important, le régime de responsabilité illimitée rend moins vraisemblable l'adoption de cette nouvelle technologie. Dans le cas contraire ($W_B < W_A$), ce régime rend l'adoption de B plus vraisemblable. Ainsi, le régime de responsabilité illimitée "tempère" l'attrait d'une technologie sur l'autre en termes de revenu d'activité plus important en assouplissant les conditions d'adoption (en termes de coût relatif du risque) de la technologie procurant le moindre revenu d'activité. Cette caractéristique est une conséquence de la moindre importance du revenu d'activité (par rapport au coût du risque) dans la fonction de valorisation de la firme lorsqu'un régime de responsabilité illimitée est en vigueur.

Enfin, le point (iii) vient très facilement : comme nous l'avons noté plus haut, lorsque les deux technologies procurent le même revenu net d'activité, seul un coût du risque équivalent aux deux technologies permet de rendre la firme indifférente entre les deux technologies. Pour chaque régime de responsabilité, la probabilité-seuil est alors égale

93. Rappelons que $\hat{p}_B(\alpha)$ est croissant en α, et que $\hat{p}_B(\alpha) = p_B^{TU}$ est assuré pour $\alpha = \breve{\alpha}^U$, la firme étant alors indifférente entre les deux technologies en présence d'un régime de responsabilité illimitée.

à p_A et, dans ce cas, les deux régimes de responsabilité induisent les mêmes comportements en termes de choix technologique.

A présent, analysons les comportements en matière de choix technologique lorsque la firme investit en recherche d'informations supplémentaires.

Lemme 3

(i) Si $W_B > W_A$, alors :

- $f^L_{pmin} < f^U_{pmin}$, *pour un même* α
- $f^L_{omin} > f^U_{omin}$, *pour un même* α

(ii) Si $W_B < W_A$, alors :

- $f^L_{pmin} > f^U_{pmin}$, *pour un même* α
- $f^L_{omin} < f^U_{omin}$, *pour un même* α

(iii) Si $W_B = W_A$, alors $f^L_{pmin} = f^U_{pmin}$ (α donné) et $f^L_{omin} < f^U_{omin}$ (α donné).

Preuve : elle découle directement de l'observation du Lemme 2 et de la Remarque 1 en considérant les valeurs de f^U_{omin}, f^U_{pmin} et f^L_{omin}, f^L_{pmin} contenues respectivement dans les Propositions 2 et 4. ♦

Le Lemme 3 nous enseigne que lorsque la nouvelle technologie procure un revenu d'activité plus important ($W_B > W_A$), le seuil minimal de fiabilité d'un signal θ^l amenant une firme pessimiste à adopter la nouvelle technologie est moins important en responsabilité limitée qu'en responsabilité illimitée. Ainsi, lorsque $W_B > W_A$, il est plus vraisemblable qu'une firme pessimiste adopte la technologie B après réception d'un signal θ^l en responsabilité limitée qu'en responsabilité illimitée. Cette observation est cohérente avec la situation décrite par la figure 2. Considérons en effet une firme (α donné) qui serait considérée comme pessimiste quel que soit le régime de responsabilité en vigueur (Cas 3). En responsabilité limitée, la réception d'un signal θ^l conduit la firme à adopter la technologie B si la révision de sa croyance vérifie $\hat{p}_B(\theta^l, \alpha) < p^{TL}_B$, tandis qu'en responsabilité illimitée l'adoption de B est soumise à une révision vérifiant $\hat{p}_B(\theta^l, \alpha) < p^{TU}_B$. La figure 2 montre que le premier cas de figure est plus facilement réalisable que le second. De même, considérant une firme optimiste (quel que soit le régime de responsabilité - Cas 1) lorsque $W_B > W_A$, ce Lemme nous enseigne qu'une plus grande fiabilité d'un signal θ^h est nécessaire en responsabilité limitée qu'en responsabilité illimitée pour amener une telle firme à conserver la technologie A : dans ce cas, l'adoption de la technologie

B est également plus vraisemblable en responsabilité limitée qu'en responsabilité illimitée et ceci est cohérent avec la situation présentée en figure 2 ($\hat{p}_B(\theta^h, \alpha) > p_B^{TL}$ moins vraisemblable que $\hat{p}_B(\theta^h, \alpha) > p_B^{TU}$ à α donné).
En revanche, lorsque $W_B < W_A$ les situations opposées prévalent : il est plus vraisemblable qu'une firme pessimiste (quel que soit le régime de responsabilité) adopte B après réception d'un signal θ^l en responsabilité illimitée qu'en responsabilité limitée, tandis qu'il est plus vraisemblable qu'une firme optimiste conserve A après réception d'un signal θ^h en responsabilité limitée qu'en responsabilité illimitée.
Enfin, la similitude des comportements en matière de choix technologique au travers des deux régimes de responsabilité lorsque $W_B = W_A$ est ici confirmée.
Toutes ces observations conduisent au résultat suivant.

Proposition 6

(i) Lorsque la nouvelle technologie procure un revenu net d'activité plus important (moins important), le régime de responsabilité illimitée (responsabilité limitée) promeut un comportement de choix technologique plus "conservateur" que le régime de responsabilité limitée (responsabilité illimitée) en ce sens qu'il favorise la conservation de la technologie A, quelle que soit l'information à disposition de la firme.

(ii) Lorsque la nouvelle technologie procure le même revenu net d'activité que la technologie historique, le régime de responsabilité n'a pas d'influence sur le comportement en matière de choix technologique, quelle que soit l'information à disposition de la firme.

(iii) Lorsqu'une firme investit en recherche d'informations et que $W_B \neq W_A$, sa stratégie de choix technologique est affectée par le régime de responsabilité quel que soit α.

En fait, nous pouvons remarquer que l'étude des stratégies de choix technologique lorsque la firme investit en recherche d'informations confirme les conclusions présentées lorsque la firme n'investit pas en recherche d'infirmations, et met encore en avant la propriété de "tempérance" du régime de responsabilité illimitée.
Lorsque la firme investit en recherche d'informations et que la nouvelle technologie procure un revenu net d'activité plus important ($W_B > W_A$), nous montrons que le régime de responsabilité illimitée favorise la conservation de la technologie A ; il est en effet le régime de responsabilité recensant le plus grand nombre de valeurs de α faisant partie de la catégorie des pessimistes. A l'inverse, lorsque $W_B < W_A$ le régime de responsabilité

illimitée favorise l'adoption de la technologie B. Ici encore, ces caractéristiques sont dues au poids plus important du coût du risque en responsabilité illimitée (puisque le montant en réparations potentielles est plus important), qui "tempère" l'avantage-revenu relatif d'une technologie sur l'autre et qui, par conséquent, se révèle plus favorable à l'adoption de la technologie la plus désavantagée en termes de revenu d'activité.
Ainsi, lorsque $W_B > W_A$, l'avantage-revenu de la technologie B est relativement moins important en responsabilité illimitée qu'en responsabilité limitée (du fait de l'absence de limitation du montant en réparation). Par conséquent, l'adoption de la technologie B en responsabilité illimitée recquiert un coût du risque plus faible qu'en responsabilité limitée, cette exigence se traduisant par une probabilité-seuil moins élevée ($p_B^{TU} < p_B^{TL}$). De cette exigence plus importante va suivre, notamment, un durcissement de la condition pour laquelle un signal θ^l amène une firme pessimiste à adopter B ($f_{pmin}^U > f_{pmin}^L$). Lorsque $W_B < W_A$, la situation opposée prévaut. Le désavantage-revenu de la technologie B est relativement moins important en responsabilité illimitée qu'en responsabilité limitée. Ceci autorise une exigence plus lâche en termes de coût du risque pour conduire à l'adoption de la technologie B : la probabilité-seuil est plus grande, la condition pour laquelle un signal θ^l conduit une firme pessimiste à adopter B est plus faible.

Dans chaque cas, nous pouvons constater que le régime de responsabilité illimitée "tempère" l'attrait d'une technologie sur l'autre en termes de revenu d'activité plus important. Pour un α donné, il fournit des conditions plus favorables à l'adoption de la technologie la moins favorisée en termes de revenu d'activité : c'est ce que nous appelons la "force tempérante" du régime de responsabilité illimitée en matière de choix technologique.
Enfin, comme le souligne le point (iii) de la Proposition 6, lorsque $W_B \neq W_A$ nous pouvons remarquer que l'ensemble des valeurs de α est affecté (en termes de stratégie de choix technologique) par le régime de responsabilité en place lorsque la firme investit en recherche d'informations. Bien que les firmes les plus affectées sont encore celles appartenant au Cas 2 [94], les firmes appartenant aux Cas 1 et 3, qui regroupent notamment les firmes aux comportements les plus "extrêmes", sont également affectées

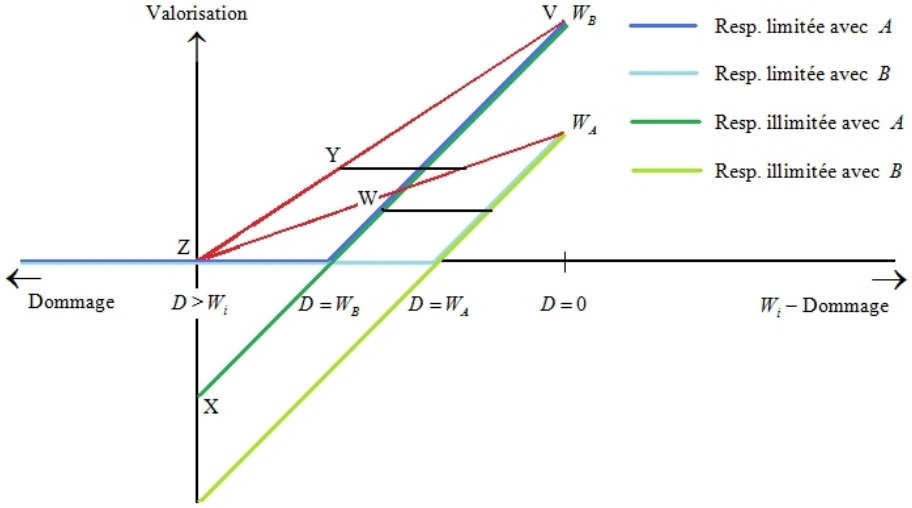
94. Les firmes appartenant à ce Cas adoptent en effet des stratégies totalement opposées selon le régime de responsabilité en vigueur, puisqu'elles sont considérées comme pessimistes (optimistes) en responsabilité illimitée et optimistes (pessimistes) en responsabilité limitée lorsque $W_B > W_A$ ($W_B < W_A$).

au travers des seuils minimaux en fiabilité (des signaux d'information) nécessaires pour les amener vers un choix technologique différent de celui qu'elles auraient effectué sans information supplémentaire. Ceci diffère de la situation sans recherche d'informations supplémentaires pour laquelle les firmes des Cas 1 et 3 ne sont pas affectées par le régime de responsabilité (elles choisissent respectivement la technologie B, et la technologie A, quel que soit le régime en vigueur.)

Jusqu'à présent, nous avons montré les différences de comportements en matière de choix technolgique entre les deux régimes de responsabilité, selon les valeurs relatives des revenus d'activités de chaque technologie. Nous avons montré que, de part coût en réparation plus important en cas d'accident (coût du risque plus élevé), le régime de responsabilité illimitée "tempère" l'attrait relatif de la technologie procurant le revenu d'activité le plus important (par rapport à ce qui prévaut en responsabilité limitée). Dès lors, la responsabilité illimitée facilite l'adoption de la technologie ayant un désavantage-revenu : lorsque $W_B > W_A$, ceci se traduit par une exigence plus importante en matière de coût du risque pour parvenir à l'adoption de la technologie B ($p_B^{TU} < p_B^{TL}$).

Ceci étant, il convient de mettre en évidence que cette différence de traitement entre les deux technologies, selon le régime de responsabilité en vigueur, peut aussi s'expliquer par l'attitude *riscophile* de la firme en présence d'un régime de responsabilité limitée. Comme l'ont montré, par exemple, Gollier *et al.* (1997), en présence d'un dispositif introduisant une limitation dans le montant maximal de perte (quelle que soit l'ampleur du dommage causé au-delà de cette limite), la firme est amenée à maximiser ses attentes à partir d'une fonction de valorisation *convexe*, malgré la neutralité au risque posée par hypothèse. En fait, la limitation de responsabilité introduit une cassure dans la fonction de valorisation de la firme si bien que, malgré sa linéarité due à la neutralité au risque, elle est globalement convexe (linéarité par morceaux). Dès lors, globalement, la firme exhibe une attitude riscophile à l'égard de cette loterie particulière. La situation peut alors être décrite comme suit.

Figure 3 : Fonction de valorisation et régime de responsabilité



Cette figure représente de façon schématique les fonctions de valorisation de la firme pour chacune des deux technologies et pour chaque régime de responsabilité, pour des dommages d'une apleur nulle ($D = 0$) à l'ampleur supposée dans notre modèle ($D > W_i$). Nous considérons ici le cas pour lequel la nouvelle technologie procure un revenu net d'activité plus important que la technologie historique ($W_B > W_A$). Sur cette illustration graphique nous retrouvons le fait que, lorsque $W_B > W_A$, la probabilité-seuil en responsabilité limitée est plus grande que celle prévalant en responsabilité illimitée (i.e. $p_B^{TL} > p_B^{TU}$). Pour chaque régime de responsabilité, nous avons considéré la même probabilité p_A [95] et déterminé graphiquement la probabilité-seuil de la technologie B (via le tracé des lignes horizontales [96] noires, amenant au point W en responsabilité illimitée, et au point Y en responsabilité limitée). Ainsi, le rapport $\frac{VY}{VZ}$ permet de trouver la valeur de p_B^{TL} et le rapport $\frac{VW}{VX}$ permet de trouver celle de p_B^{TU}. Nous constatons que $\frac{VY}{VZ} > \frac{VW}{VX}$, signifiant $p_B^{TL} > p_B^{TU}$.

Ceci peut être expliqué par l'attitude différente de la firme à l'égard du risque selon le régime de responsabilité en vigueur. En responsabilité illimitée, considérant $W_B > W_A$ nous pouvons constater que les deux technologies procurent une même perte potentielle (D) mais que la technologie B fournit un revenu d'activité plus important. Deux constats apparaissent :

95. Sur cet exemple graphique nous considérons $p_A = \frac{1}{5}$.
96. Rappelons que, pour un régime de responsabilité donné, la probabilité-seuil de la technologie B est la valeur de p_B procurant à la firme la même valorisation que l'adoption de la technologie A.

1/ pour une probabilité d'accident identique aux deux technologies la technologie B fournit un gain espéré plus important,

2/ l'indifférence entre les deux technologies sera assurée pour une probabilité $p_B^{TU} > p_A$.

En responsabilité limitée, pour chaque technologie les pertes potentielles sont plus faibles qu'en responsabilité illimitée mais, à présent, elles sont différentes selon la technologie considérée : la technologie B procure une perte potentielle plus importante que la technologie A ($W_B > W_A$). Comme en responsabilité illimitée, pour une probabilité d'accident identique aux deux technologies la technologie B fournit un gain espéré plus important que la technologie A. Mais par rapport à ce qui prévaut en responsabilité illimitée, le différentiel de dispersion des gains/pertes entre les deux technologies est plus important en responsabilité limitée qu'en responsabilité illimitée. Par conséquent, l'adoption plus aisée de la technologie B en responsabilité limitée lorsque $W_B > W_A$ (reflétée par $p_B^{TL} > p_B^{TU}$) peut s'expliquer par une attitude riscophile de la firme en présence de ce régime : de part cette attitude, la firme valorise la dispersion plus importante (en responsabilité limitée par rapport à ce qu'elle est en responsabilité illimitée) des gains/pertes avec la technologie B (comparativement à celle avec la technologie A).

Un raisonnement symétrique peut être établi lorsque $W_B < W_A$, la technologie A procurant alors un gain et une perte plus importants que la technologie B en responsabilité limitée. La responsabilité limitée accroît alors la dispersion des gains/pertes de la technologie A (relativement à la technologie B), ce qui est valorisé en présence d'une attitude riscophile. Ceci explique alors $p_B^{TL} < p_B^{TU}$, signifiant que l'adoption de la technologie B est moins aisée (ou la conservation de A facilitée) en responsabilité limitée qu'en responsabilité illimitée.

Ainsi, dans ce contexte de risque imprécis, une attitude riscophile, provoquée par une rupture dans la fonction de valorisation de la firme, peut expliquer les conditions plus favorables à l'adoption de la technologie fournissant le revenu d'activité le plus important en présence d'un régime de responsabilité limitée. Par conséquent, la relative "force tempérante" décrite précédemment en présence d'un régime de responsabilité illimitée s'explique par l'attitude "moins riscophile" de la firme en présence de ce régime de responsabilité.

5 Discussion et Conclusion

Dans ce chapitre nous représentons une situation dans laquelle une firme, entreprenant une activité pouvant être hautement dommageable, doit effectuer un choix entre deux technologies de production, l'une d'entre elles étant caractérisée par une probabilité *imprécise* d'accident au sens de Jaffray (1989a). Cela signifie que la véritable probabilité d'accident de cette nouvelle technologie se situe au sein d'un intervalle de probabilités objectives ; cette situation pouvant être le reflet, par exemple, d'une controverse ou divergence d'opinions entre différentes communautés quant à la nature véritable du risque. Selon la valeur de la véritable probabilité d'accident, la nouvelle technologie peut s'avérer plus ou moins risquée que la technologie historique et, par conséquent, peut être plus ou moins profitable pour la firme et la Société. Néanmoins, la firme a la possibilité d'investir dans un processus de recherche d'informations supplémentaires pour obtenir un nouveau signal d'information sur le risque d'accident inhérent à cette nouvelle technologie "ambigüe". Le modèle de décision que nous avons construit est inspiré des travaux de Jaffray sur les probabilités imprécises (Jaffray (1989a), Jaffray (1989b)) et des travaux d'Orset (Chemarin & Orset (2010), Orset (2010)). Un des avantages de la modélisation de Jaffray est d'intégrer directement l'information objective disponible, sous forme d'intervalle, et de permettre ainsi la modélisation de situations de controverses. En outre, il distingue l'attitude à l'égard du risque (utilité VNM) de l'attitude à l'égard de l'ambiguïté (indice d'Hurwicz).

Notre modèle se décompose en deux étapes, la firme devant en premier lieu décider d'investir ou non en recherche d'informations supplémentaires sur le risque imparfaitement connu, puis devant effectuer un choix technologique au vu de l'information disponible. Dans le présent chapitre, nous nous concentrons sur la dernière étape, le modèle étant résolu à rebours : nous étudions l'impact du régime de responsabilité civile sur le choix technologique des firmes *étant donné* l'information à leur disposition. Les deux régimes de responsabilité qui sont ainsi comparés sont le régime de responsabilité limitée et le régime de responsabilité illimitée, tous deux utilisés conjointement à une règle de responsabilité sans faute.

Le résultat principal de ce chapitre pourrait être résumé de la façon suivante : quelle

que soit l'information disponible sur le risque inhérent à la nouvelle technologie "ambigüe", le régime de responsabilité limitée favorise l'adoption de la technologie procurant le revenu d'activité le plus élevé. Par conséquent, le régime de responsabilité illimitée a des vertus "tempérantes" sur les comportements en matière de choix technologique. Par rapport à ce qui prévaut en responsabilité limitée, le régime de responsabilité illimitée est caractérisé par une moindre importance du revenu d'activité par rapport au coût du risque dans la fonction de valorisation de la firme. Ainsi, relativement à ce qui prévaut en responsabilité limitée, cette caractéristique entraîne un affaiblissement de l'attrait de la technologie procurant le revenu d'activité le plus élevé.
Ce résultat peut être interprété en termes d'attitude différente de la firme à l'égard du risque entre les deux régimes de responsabilité. Le régime de responsabilité limitée, introduisant une rupture dans la fonction de valorisation de la firme (lorsque le montant du dommage peut entraîner la faillite de cette dernière), amène celle-ci à composer avec une fonction de valorisation qui est globalement *convexe* bien que localement linéaire (linéarité par morceaux). Dès lors, en responsabilité limitée la firme exhibe une attitude riscophile. En conséquence, relativement à ce qui prévaut en présence d'un régime de responsabilité illimitée, l'adoption de la technologie procurant le revenu d'activité le plus important est facilitée grâce à une dispersion relative des gains/pertes, comparativement à la technologie alternative, qui est plus importante.

Ces résultats peuvent fournir des éléments au débat (non clos) relatif à la pertinence de l'application du régime de responsabilité limitée aux firmes opérant dans des secteurs à hauts risques. En effet, contrairement à ce qui aurait pu être anticipé, nous avons montré que l'application d'un régime de responsabilité limitée ne favorise pas nécessairement l'adoption de la technologie pouvant s'avérer la plus risquée pour la Société, et ce malgré la possibilité pour la firme de bénéficier de gains (si la technologie s'avère moins risquée) et d'externaliser une part du coût du risque à la Société (notamment si la technologie s'avère "trop" dangereuse). Ce régime peut alors favoriser un comportement qualifié de "conservateur" en favorisant la conservation de la technologie historique (et non ambigüe). Ce résultat restreint la portée des arguments traditionellement avancés concernant les effets néfastes du régime de responsabilité limitée en termes d'incitations sous optimales à prévenir le risque, ou d'incitations trop importantes à s'engager dans

des activités à risque (voir notamment Brown (1973), Shavell (1986)).
Notre étude met ainsi le doigt sur un point d'une importance grandissante, à savoir la régulation des innovations potentiellement dangereuses et dont la dangerosité est mal perçue. Actuellement, l'émergence des nanotechnologies soulève d'importantes questions quant à leur régulation et leur supervision alors même que tous les risques sur l'Homme et l'environnement associés à leur utilisation ne sont pas parfaitement connus (notamment en pharmacologie et agrobusiness). Il est néanmoins important de noter que nous n'émettons aucun jugement normatif quant à la politique de choix technologique qu'il serait socialement souhaitable de promouvoir (conservatrice ou moins conservatrice) : autant la conservation de la technologie A que l'adoption de la technologie B peuvent être justifiées, la technologie B étant potentiellement plus ou moins dangereuse que la technologie historique. La politique socialement souhaitable dépend alors de la préférence de la Société à l'égard de l'ambiguïté, ce que nous ne connaissons pas.

En outre, les propriétés des résultats trouvés dans cette analyse dépendent principalement d'un seul type de variable : les revenus d'activité fournis par chaque technologie. Dans un cadre d'information parfaite, la connaissance de ces variables pourrait permettre au Régulateur d'une industrie à hauts risques d'inférer une "tendance générale" concernant le choix technologique des firmes, même si les firmes composant l'industrie ont des préférences très diverses à l'égard de l'ambiguïté. Ainsi, si la technologie ambigüe procure le revenu d'activité le plus élevé (le plus faible), le Régulateur peut promouvoir un comportement conservateur en appliquant un régime de responsabilité illimitée (responsabilité limitée) ou, inversement, un comportement "moins conservateur" en appliquant un régime de responsabilité limitée (responsabilité illimitée).
Néanmoins, comme nous l'avons noté ci-dessus, il convient de bien prendre en considération le fait que le Régulateur ne peut promouvoir qu'une "tendance générale" et que toute firme, selon son optimisme/pessimisme, n'y est pas sensible de la même manière. Ainsi notre étude a montré que le régime de responsabilité (utilisé ici avec une règle de responsabilité sans faute) n'a que peu (voire aucun) impact sur les firmes aux attitudes les plus "extrêmes" (optimisme/pessimisme très élevé) à l'égard de l'ambiguïté.
Lorsque le Régulateur ne dipose que de peu d'informations (tant sur le risque imprécis que sur les revenus d'activité), le régime de responsabilité illimitée pourrait être préféré

pour la relative stabilité qu'il offre concernant les comportements en matière de choix technologique. Ce raisonnement est plus saillant si on considère, par exemple, une industrie composée de firmes uniformément réparties le long du spectre des valeurs possibles de l'index de pessimisme α. Dans ce cas, le régime de responsabilité illimitée est celui qui affecte le moins la distribution des firmes optimistes/pessimistes, la valeur de p_B^{TU} étant moins volatile (et plus proche de p_A) que p_B^{TL} face à des variations des revenus d'activité. Ainsi, ce régime offre une certaine stabilité des comportements qui peut être préférable à l'instauration d'un régime de responsabilité (limitée) qui aurait des conséquences plus importantes, mais inconnues, sur le choix technologique des firmes.

Bien que ces résultats puissent être intéressants, l'analyse menée dans ce chapitre doit être vue comme l'introduction à une analyse plus vaste. Premièrement, nous avons étudié l'impact de *deux régimes* de responsabilité (responsabilité illimitée et responsabilité limitée) tout en ne considérant qu'*une seule règle* de responsabilité (responsabilité sans faute). Or, nous avons montré que lorsqu'une firme investit en recherche d'informations, l'effet d'une information nouvelle sur son choix technologique dépend d'un degré minimal de fiabilité du signal reçu. Ainsi, une firme "trop" optimiste peut adopter la technologie ambigüe malgré la réception d'un signal informant de la dangerosité de celle-ci, si la fiabilité de ce signal est "trop" faible. Pour tenter d'éviter de tels comportements qui pourraient être qualifiés de "non précautionneux" (et être contraires aux attentes du Régulateur, voire de la Société), une règle de négligence pourrait être instaurée en soumettant l'accès à l'exemption de responsabilité en cas d'accident à l'adoption d'une technologie particulière lorsque tel signal, de telle fiabilité, est reçu. Néanmoins, il conviendrait d'analyser dans quelle mesure ces seuils de fiabilité sont manipulables par l'instauration d'une telle règle de responsabilité. En effet, l'instauration d'une règle de négligence suppose d'importants coûts informationnels (élaboration des "standards" autorisant l'exemption de responsabilité, contrôle du respect de ces standards,...). De ce fait, si les firmes n'ont pas intérêt à adopter les standards édictés par le Régulateur (ici les standards prendraient la forme d'un "choix" technologique (imposé) selon une information donnée), une telle règle doit être abandonnée puisque équivalente à une responsabilité sans faute, mais plus coûteuse à appliquer.

Enfin, n'oublions pas que nous étudions le choix technologique des firmes *étant donné*

l'information à leur disposition ; et nous montrons que le régime de responsabilité peut influer sur le choix technique. Mais avant de vouloir influer sur le choix technologique (sachant que le Régulateur ne sait peut-être pas lui même quelle technologie adopter *a priori*), le Régulateur pourrait avant tout avoir la volonté de promouvoir des comportements *précautioneux* en incitant les firmes à rechercher de l'information avant d'effectuer un choix technologique qui pourrait s'avérer socialement coûteux. Une telle analyse est équivalent à résoudre l'étape 1 du modèle que nous présentons, et ainsi remonter dans l'arbre des décisions pour déterminer le comportement d'investissement des firmes (et voir l'impact du régime de responsabilité sur cette décision) étant donné la stratégie de choix technologique que nous avons défini dans ce présent chapitre. Cette piste de réflexion constitue l'objet d'étude du prochain chapitre de cette thèse.

Chapitre 4
Responsabilité en situation ambigüe : incitations à rechercher davantage d'informations

1 Introduction

Ce chapitre a pour objet de compléter l'analyse introduite lors du chapitre 3. Dans ce précédent chapitre, nous avons présenté une analyse décrivant le comportement d'une firme, issue d'un secteur à risques, en termes de choix technologique lorsqu'une des technologies disponibles est caractérisée par une ambiguïté relative à sa probabilité d'occurrence d'un accident. Nous avons défini les différentes stratégies de choix technologique possibles, selon le degré d'optimisme/pessimisme de la firme, et nous avons comparé à cet égard les comportements induits par deux régimes de responsabilité civile : la responsabilité limitée et la responsabilité illimitée. Dans cette analyse, nous avons supposé que la firme a la possiblité d'investir dans un processus de recherche d'informations supplémentaires afin d'en savoir plus sur la nature du risque inhérent à la nouvelle technologie disponible. Néanmoins, nous avons mené cette analyse en supposant cette décision d'investissement comme étant *donnée* et, par conséquent, l'information à disposition de la firme au moment d'effectuer son choix technologique était également *donnée*.

A présent, dans ce chapitre, nous allons étudier le comportement de la firme en termes de décision d'investir (ou non) dans un processus de recherche d'informations supplémentaires, *étant donné* la stratégie de choix technologique qui s'ensuit (stratégie que nous avons déterminée au cours du chapitre 3).

A notre connaissance, l'étude des incitations à rechercher de l'information dans un contexte de risque technologique a été introduite par Schwartz (1985) et McCardle (1985). L'analyse de Schwartz (1985), que nous avons présentée dans le chapitre 1, s'inspire des travaux de Roberts & Weitzman (1981). Elle porte sur l'optimalité de l'engagement dans un processus de recherche d'informations sur la toxicité d'un produit commercialisé, lorsqu'il existe une responsabilité pour défaut de mises en garde adéquates concernant la toxicité du produit [97]. La recherche est vue comme séquentielle : à chaque étape du processus de recherche, une information nouvelle permet de réviser le profit espéré (à la hausse ou à la baisse, selon que l'information constitue une "bonne" ou une "mauvaise" nouvelle). La firme continue de rechercher de l'information jusqu'à ce que la réception d'une information nouvelle allant à l'encontre de sa croyance (quant à

97. Voir Schwartz (1985) p 695-705.

la dangerosité du produit) ne lui permette plus de changer d'avis concernant la mise en vente (ou non) du produit. McCardle (1985) adopte une approche similaire (processus de recherche par étapes, et définition d'une règle d'abandon de ce processus) mais la variable inconnue est la profitabilité d'une innovation technique (en dehors de tout cadre de risque d'accident).
Dans le chapitre 1 nous avons également présenté l'analyse de Shavell (1992), qui compare des règles de responsabilité civile en termes d'incitations à obtenir de l'information sur un risque technologique. Le processus considéré est simple : la recherche d'informations est composée d'une unique étape et le signal reçu est parfait. Par conséquent, dès qu'elle investit, la firme connaît (l'existence et) la véritable nature du risque. Plus récemment, Orset (2010) se penche sur les incitations à rechercher de l'information à propos d'un projet caractérisé par un risque d'accident imparfaitement connu, en supposant que le signal d'information reçu est imparfaitement fiable. Cependant cette étude analyse les choix de l'individu selon différentes préférences qu'il peut avoir à l'égard du présent, et non ses choix selon différentes préférences qu'il peut avoir à l'égard de l'incertitude.

Mise à part l'analyse de Orset (2010), les études précédemment citées ne considèrent pas l'existence de risques imparfaitement connus, pour lesquels aucune distribution objective n'existe. En effet, dans Schwartz (1985) ou Shavell (1992), la situation initiale relève du risque, en ce sens que les ensembles des états de la Nature et des probabilités associées sont clairement établis, de façon objective. L'information nouvelle permet alors d'exclure l'occurrence de certains états de la Nature, "simplifiant" alors le risque auquel le décideur doit faire face. En outre, aucune des études que nous venons de mentionner ne tient compte d'une situation ambigüe (telle que nous l'avons définie au chapitre 3) et des implications possibles d'une telle situation sur la décision des firmes en matière de recherche d'informations (via l'attitude des firmes à l'égard de l'ambiguïté). Or, il n'est pas déraisonnable de supposer que le degré d'optimisme/pessimisme de la firme peut modifier la volonté de cette dernière à s'engager dans un processus, coûteux, de recherche d'informations supplémentaires concernant un risque imparfaitement connu.

Ainsi, dans ce chapitre, nous complétons l'analyse développée dans le chapitre 3 en étudiant l'impact du régime de responsabilité civile sur la décision d'investir (ou non)

dans un processus de recherche d'informations en vue de préciser la véritable nature du risque. Nous conservons alors la même modélisation, inspirée à la fois par les travaux de Jean-Yves Jaffray (Jaffray (1989a), Jaffray (1989c)) concernant la description de l'ambiguïté et du comportement de la firme à son égard, et par le travail de Orset (2010) concernant le processus de recherche d'informations ; l'information permettant de réviser les croyances de la firme à propos du risque (et de la profitabilité) de la technologie "ambigüe". Nous conservons également notre approche visant à comparer les incitations fournies par deux régimes de responsabilité, responsabilité illimitée et responsabilité limitée, afin de tenter d'apporter de nouveaux éléments au débat relatif à la pertinence du régime de responsabilité limitée dans l'encadrement des activités à risque. Nous trouvons que le régime de responsabilité illimitée peut fournir des incitations plus importantes à investir dans un processus de recherche d'informations si le montant des dommages est suffisamment élevé, ce régime induisant en outre les comportements les plus stables en matière de choix technologique.

La suite de ce chapitre est organisée de la façon suivante. La section 2 complète l'analyse théorique initiée dans le chapitre 3, tandis que les calculs numériques sont présentés dans la section 3. Nous adressons quelques recommandations pour l'aide à la décision et concluons ce chapitre en section 4.

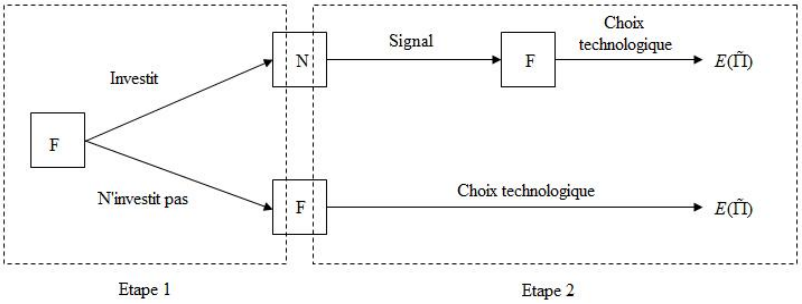
2 Analyse théorique des incitations à investir en recherche d'informations

Dans un premier temps, nous allons présenter l'analyse théorique des incitations à investir dans un processus de recherche d'informations supplémentaires lorsqu'un régime de responsabilité illimitée est en vigueur. Puis nous procéderons au même type d'analyse en présence d'un régime de responsabilité limitée. Dans chaque cas, nous distinguerons l'analyse selon le comportement de la firme à l'égard de l'ambiguïté. Mais avant d'engager l'analyse comparative des deux régimes de responsabilité, il convient d'effectuer quelques rappels.

Comme nous l'avons dit plus haut, ce chapitre complète l'analyse initiée dans le

chapitre 3.

Figure 1 : Les deux étapes du processus de décision



F symbolise la firme, N symbolise Nature

Considérant la figure 1 ci-dessus, l'analyse menée dans le chapitre 3 s'est focalisée sur l'étape 2, à savoir la détermination du choix technologique à information *donnée*. L'objectif du présent chapitre est de remonter l'arbre de décision en considérant l'étape 1 de cette figure, à savoir analyser le comportement de la firme en matière de recherche d'informations *étant donné* la stratégie de choix technologique définie précédemment.

Rappelons que l'investissement dans un processus de recherche d'informations permet à la firme d'obtenir un signal imparfaitement fiable θ^j signifiant "le véritable état de la Nature est j", $j = l, h$; la firme ayant intérêt à conserver la technologie A si h est le véritable état, à adopter B si l est le véritable état de la Nature. Ce signal permet à la firme de reconditionner ses croyances d'être dans un état ou dans l'autre. La variable exogène f, définie dans l'intervalle $[\frac{1}{2}, 1]$, définit la fiabilité du signal : lorsque la firme reçoit un signal de fiabilité f, elle sait que le signal est vrai à $f\%$. $f = \frac{1}{2}$ n'est pas informatif (i.e. les croyances initiales sont inchangées) tandis que $f = 1$ est parfaitement informatif (et conduit à $P^k(j, \alpha) = 1$ pour θ^j reçu, $j = l, h$, $k = U, L$ selon le régime de responsabilité). La variable f est observable dès que le signal d'information est reçu, mais n'est pas observable au moment d'investir. Néanmoins la firme connaît sa distribution : $G(f)$ et $g(f)$ sont respectivement sa fonction de répartition et sa fonction de densité.

A présent, déterminons le choix de la firme face à la possibilité d'investir en recherche d'informations supplémentaires, selon le régime de responsabilité civile en vigueur.

2.1 Détermination des incitations à investir en responsabilité illimitée

Comme nous l'avons mentionné dans les chapitres précédents, le régime de responsabilité illimitée contraint la firme responsable d'un accident (et ses détenteurs de parts sociales) à réparer l'intégralité des dommages causés.
Concernant la décision d'investir ou non en recherche d'informations supplémentaires, une firme va choisir d'investir si la valeur de cette décision est plus importante que celle de la décision de ne pas investir. A présent, nous allons déterminer ces valeurs d'abord pour les firmes optimistes, puis pour les firmes pessimistes.

A - Les incitations exercées sur les firmes optimistes

En premier lieu, considérons le cas d'une firme optimiste ($\alpha < \check{\alpha}^U$). Rappelons que nous distinguons les firmes optimistes des firmes pessimistes selon la technologie qu'elles préfèrent avant toute décision d'investir (ou non) en recherche d'informations. Les firmes optimistes sont caractérisées par $\alpha < \check{\alpha}^U$, amenant à une croyance initiale $\hat{p}_B(\alpha) < p_B^{TU}$: sans information, elles choisissent la technologie B.
Considérant son comportement en matière de choix technologique (voir chapitre 3) selon le signal reçu et sa fiabilité, une firme optimiste valorise la décision d'investir en recherche d'informations de la manière suivante :

$$
\begin{aligned}
&V^U(\bar{I}, \alpha < \check{\alpha}) = \\
&\int_{\frac{1}{2}}^{1} [(P^U(h,\alpha)(1-f) + (1-P^U(h,\alpha))f)(W_B - \hat{p_B}(\theta^l,\alpha)D)]g(f)df \\
&+ \int_{f^U_{omin}}^{1} [(P^U(h,\alpha)f + (1-P^U(h,\alpha))(1-f))(W_A - p_A D)]g(f)df \\
&+ \int_{\frac{1}{2}}^{f^U_{omin}} [(P^U(h,\alpha)f + (1-P^U(h,\alpha))(1-f))(W_B - \hat{p_B}(\theta^h,\alpha)D)]g(f)df - \bar{I}
\end{aligned}
\tag{40}
$$

pour un coût $\bar{I}$ donné de l'investissement en recherche d'informations.
La première intégrale signifie que, quelle que soit la fiabilité f du signal, une firme optimiste choisit d'adopter la technologie B lorsqu'un signal θ^l est reçu. Plus précisément, $\int_{\frac{1}{2}}^{1}(P^U(h,\alpha)(1-f) + (1-P^U(h,\alpha))f)g(f)df$ représente la probabilité de recevoir un

signal θ^l : le premier élément de l'intégrale, $P^U(h,\alpha)(1-f)$, désigne la probabilité de recevoir un "mauvais" signal (i.e. recevoir θ^l lorsque h est le véritable état), le second élément, $(1-P^U(h,\alpha))f$, représente la probabilité de recevoir un "bon" signal (i.e. θ^l lorsque l est le véritable état). Les deuxième et troisième intégrales montrent que lorsqu'un signal θ^h est reçu, la firme conserve la technologie A si la fiabilité du signal est suffisamment élevée ($f > f^U_{omin}$, deuxième intégrale) et adopte la technologie B si la fiabilité du signal est trop faible (troisième intégrale).

Lorsqu'une firme optimiste décide de ne pas investir en recherche d'informations, elle conserve ses croyances initiales et choisit la technologie B. La valorisation de cette décision est :

$$V^U(0,\alpha<\breve{\alpha}^U) = W_B - \hat{p}_B(\alpha)D \tag{41}$$

La comparaison des équations (40) et (41) permet de déterminer la condition pour laquelle une firme optimiste décide d'investir en recherche d'informations.

Lemme 1 *En présence d'un régime de responsabilité illimitée, une firme optimiste investit en recherche d'informations si et seulement si :*

$$\begin{aligned}
&\int_{\frac{1}{2}}^{1}[P^U(h,\alpha)R^U_{Bh}+((1-P^U(h,\alpha))R^U_{Bl}-P^U(h,\alpha)R^U_{Bh})f].g(f)df\\
&+\int_{f^U_{omin}}^{1}[(1-P^U(h,\alpha))R^U_A+(P^U(h,\alpha)R^U_A-(1-P^U(h,\alpha))R^U_A)f].g(f)df\\
&+\int_{\frac{1}{2}}^{f^U_{omin}}[(1-P^U(h,\alpha))R^U_{Bl}+(P^U(h,\alpha)R^U_{Bh}-(1-P^U(h,\alpha))R^U_{Bl})f].g(f)df\\
&-[P^U(h,\alpha)R^U_{Bh}+(1-P^U(h,\alpha))R^U_{Bl}]>\bar{I}
\end{aligned} \tag{42}$$

avec $R^U_A = W_A - p_A D$, $R^U_{Bh} = W_B - (\alpha p^H_B + (1-\alpha)p^{TU}_B)D$, $R^U_{Bl} = W_B - (\alpha p^{TU}_B + (1-\alpha)p^L_B)D$

Preuve : voir Appendice D, preuve 1. ♦

Dès lors, nous pouvons obtenir les résultats suivants.

Proposition 1 *Considérons une firme optimiste en présence d'un régime de responsabilité illimitée.*

(i) L'incitation à investir en recherche d'informations décroît avec le degré d'optimisme de la firme.

(ii) Une diminution de la probabilité d'accident p_A relative à la technologie A fournit des incitations plus importantes à la recherche d'informations.

Preuve : voir Appendice D, preuve 2. ♦

R_i^U représente le bénéfice d'activité de la firme (revenu d'activité, W_i, moins coût du risque), brut de l'investissement en recherche d'informations. Remarquons que pour la technologie B, le bénéfice d'activité diffère selon l'état de la Nature qui prévaut (R_{Bh}^U si état h, R_{Bl}^U si état l).

L'équation (42), issue de la différence entre la valorisation de l'action "investir" (éq. (40)) et de la valorisation de l'action "ne pas investir" (éq. (41)), permet de définir l'effort maximal qu'une firme optimiste est prête à consentir pour accéder à une information supplémentaire concernant le risque attaché à la technologie B. Ceci définit donc l'ampleur de l'incitation à rechercher de l'information. A cause de la complexité de cette équation, nous aurons besoin de procéder à des calculs numériques pour mener une analyse la plus complète possible et déterminer, selon le degré d'optimisme/pessimisme α de la firme, l'effort maximal qu'elle serait prête à allouer à la recherche d'informations (voir section 3 de ce chapitre).

Néanmoins, à partir du point (ii) nous pouvons émettre la conjecture que moins (plus) la technologie B est attrayante par rapport à la technologie A, plus grande (moins grande) est l'incitation à investir, pour une firme optimiste, en recherche d'informations supplémentaires. En effet, pour une firme optimiste le principal gain issu de la recherche d'informations consiste en la conservation de la technologie A si elle apprend (à raison) que le véritable état est h (et éviter ainsi la technologie "trop" risquée). Plus p_A est faible, plus le gain issu de la conservation de la technologie A si h est le véritable état est important, ce qui incite davantage une firme optimiste à procéder à une recherche d'informations. Ainsi, nous pouvons dire qu'une firme optimiste est davantage incitée à rechercher de l'information si le bénéfice potentiel issu de la conservation de la technologie A si h est le véritable état est grand (ce qui est le cas si p_A est faible).

En outre, le point (i) nous permet d'émettre la conjecture que, pour une firme optimiste,

l'incitation est d'autant plus importante que son optimisme est "modéré" (coefficient de pessimisme α pas trop faible) ; nous trouvons en effet que lorsque α tend vers 0 (optimisme extrême), le côté gauche de (42) tend vers 0, ce qui indique une diminution de l'incitation (voir la preuve en Appendice D). En effet, plus (moins) la firme est optimiste, plus faible (plus élevée) est la vraisemblance (qu'elle considère) que l'état h soit le véritable état de la Nature. La technologie B étant la plus profitable dans l'état l, la firme n'a aucun intérêt à investir si la vraisemblance de l'occurrence en l'état l est trop importante.
Dans la section 3, les calculs numériques nous permettrons notamment de vérifier ces conjectures, et nous mettrons en avant d'autres résultats qui nous permettront de formuler quelques recommandations pour l'aide à la décision, en section 4.

Maintenant que l'incitation à investir en recherche d'informations est définie pour une firme optimiste en présence d'un régime de responsabilité illimitée, nous allons procéder à une analyse similaire en considérant le cas d'une firme pessimiste.

B - Les incitations exercées sur les firmes pessimistes

Soit une firme pessimiste ($\alpha > \check{\alpha}^U$). Rappelons qu'une firme est dite pessimiste en ce sens que sa croyance initiale est telle que $\hat{p}_B(\alpha) > p_B^{TU}$: sans information, elle choisit la technologie A.
La valorisation de la décision de rechercher de l'information supplémentaire est :

$$
\begin{aligned}
&V^U(\bar{I}, \alpha > \check{\alpha}^U) = \\
&\int_{\frac{1}{2}}^{1} [(P^U(h,\alpha)f + (1 - P^U(h,\alpha))(1-f))(W_A - p_A D)]g(f)df \\
&+ \int_{f^U_{pmin}}^{1} [((1 - P^U(h,\alpha))f + P^U(h,\alpha)(1-f))(W_B - \hat{p_B}(\theta^l, \alpha)D)]g(f)df \\
&+ \int_{\frac{1}{2}}^{f^U_{pmin}} [((1 - P^U(h,\alpha))f + P^U(h,\alpha)(1-f))(W_A - p_A D)]g(f)df - \bar{I}
\end{aligned} \tag{43}
$$

pour un coût $\bar{I}$ donné de l'investissement en recherche d'informations.
La première intégrale signifie que, quelle que soit la fiabilité f du signal, une firme pessimiste choisit toujours de conserver la technologie A lorsqu'un signal θ^h est reçu. Les deuxième et troisième intégrales montrent que lorsqu'un signal θ^l est reçu, la firme

adopte la technologie B si la fiabilité du signal est suffisamment élevée ($f > f^U_{pmin}$, deuxième intégrale) et conserve la technologie A si la fiabilité est trop faible.

Si une firme pessimiste décide de ne pas investir en recherche d'informations, elle conserve ses croyances initiales et choisit de conserver la technologie A. La valeur de cette décision est :

$$V^U(0, \alpha > \breve{\alpha}^U) = W_A - p_A D \tag{44}$$

La comparaison des équations (43) et(44) permet de déterminer la condition pour laquelle une firme pessimiste décide d'investir en recherche d'informations.

Lemme 2 *En présence d'un régime de responsabilité illimitée, une firme pessimiste investit en recherche d'informations si et seulement si :*

$$\begin{aligned}
&\int_{\frac{1}{2}}^{1} [(1 - P^U(h,\alpha))R^U_A + ((2P^U(h,\alpha) - 1)R^U_A)f].g(f)df \\
&+ \int_{f^U_{pmin}}^{1} [P^U(h,\alpha))R^U_{Bh} + ((1 - P^U(h,\alpha))R^U_{Bl} - P^U(h,\alpha)R^U_{Bh})f].g(f)df \\
&+ \int_{\frac{1}{2}}^{f^U_{pmin}} [P^U(h,\alpha)R^U_A + ((1 - 2P^U(h,\alpha))R^U_A f)].g(f)df \\
&-[P^U(h,\alpha)R^U_A + (1 - P^U(h,\alpha))R^U_A] > \bar{I}
\end{aligned} \tag{45}$$

Preuve : voir Appendice D, preuve 3. ♦

Dès lors, nous pouvons obtenir les résultats suivants.

Proposition 2 *Considérons une firme pessimiste en présence d'un régime de responsabilité illimitée.*

(i) L'incitation à investir en recherche d'informations décroît avec le degré de pessimisme de la firme.

(ii) Une augmentation de la borne supérieure des valeurs possibles de la probabilité d'accident p_B relative à la technologie B, p^H_B, fournit des incitations plus faibles à la recherche d'informations. Une diminution de la plus petite valeur possible de la probabilité d'accident relative à la technologie B, p^L_B, fournit des incitations plus importantes à la recherche d'informations.

Preuve : voir Appendice D, preuve 4. ♦

Comme précédemment, des calculs numériques seront utiles pour déterminer la valeur de l'effort maximal qu'une firme est prête à consentir à la recherche d'informations supplémentaires (selon son degré d'optimisme/pessimisme et selon la valeur de certains paramètres (voir en section 3)).

Néanmoins nous pouvons déjà émettre quelques conjectures : le point (ii) nous informe que, pour une firme pessimiste, plus la technologie B est attractive en termes de coût du risque par rapport à la technologie A, plus grande est l'incitation à investir en recherche d'informations. En effet, pour une firme pessimiste le principal gain issu de la recherche d'informations consiste en l'adoption de la technologie B si elle apprend (à raison) que le véritable état est l (et ainsi bénéficier d'une technologie moins risquée). Plus p_B^L est faible, plus ce gain sera important, ce qui incite davantage à rechercher de l'information. Mais l'information peut également, si elle est inexacte, conduire à un accroissement du coût espéré du risque : c'est le cas si la firme pessimiste adopte la technologie B alors que h est le véritable état. Cette perte est renforcée si la valeur de p_B^H est importante, ce qui désincite à la recherche d'informations.

En outre, le point (i) nous indique que les incitations à investir diminuent en α, puisque davantage de pessimisme réduit la vraisemblance (pour la firme) que l'état l, favorable à la technologie B, soit le véritable état de la Nature (nous démontrons que le côté gauche de (45) tend vers 0 lorsque α tend vers 1). Enfin, nous pouvons noter que les deux mouvements décrits dans le point (ii) aboutissent tous deux à un accroissement du degré d'ambiguïté, mais amènent à des comportements différents : lorsque l'accroissement du degré d'ambiguïté est la conséquence d'un accroissement de p_B^H, une firme pessimiste est moins incitée à rechercher de l'information, la technologie B étant plus coûteuse en termes de dommages espérés. Au contraire lorsque l'accroissement du degré d'ambiguïté provient d'une diminution de p_B^L, l'incitation à rechercher de l'information est plus importante (technologie B moins coûteuse).

A présent que les incitations à la recherche d'informations fournies en présence d'un régime de responsabilité illimitée ont été définies, il convient d'effectuer la même analyse en considérant un régime de responsabilité limitée, avant d'effectuer une étude comparative des deux régimes.

2.2 Détermination des incitations à investir en responsabilité limitée

Rappelons tout d'abord que, en présence d'un régime de responsabilité limitée, le montant en réparation incombant à la firme en cas d'accident est limité à sa valeur liquidative. Dès lors, face à un dommage de grande ampleur, le patrimoine de la firme est liquidé, mais pas plus.

Comme précédemment, la firme va prendre la décision d'investir ou de ne pas investir en recherche d'informations supplémentaires en comparant la valorisation de chacune de ces deux décisions. A présent, nous allons effectuer ces comparaisons pour chaque type de firme, optimiste puis pessimiste.

A - Incitations exercées sur les firmes optimistes

Considérant sa stratégie en matière de choix technologique (définie dans le chapitre 3), une firme optimiste valorise l'investissement en recherche d'informations supplémentaires de la façon suivante :

$$
\begin{aligned}
&V^L(\bar{I}, \alpha < \breve{\alpha}^L) = \\
&\int_{\frac{1}{2}}^{1} [(P^L(h,\alpha)(1-f) + (1-P^L(h,\alpha))f)((1-\hat{p_B}(\theta^l,\alpha))W_B)]g(f)df \\
&+ \int_{f^L_{omin}}^{1} [(P^L(h,\alpha)f + (1-P^L(h,\alpha))(1-f))((1-p_A)W_A)]g(f)df \\
&+ \int_{\frac{1}{2}}^{f^L_{omin}} [(P^L(h,\alpha)f + (1-P^L(h,\alpha))(1-f))((1-\hat{p_B}(\theta^h,\alpha))W_B)] - \bar{I} \qquad (46)
\end{aligned}
$$

L'interprétation est similaire à celle de l'équation (40) : lorsqu'un signal θ^l est reçu (première intégrale) la firme adopte la technologie B quelle que soit la fiabilité du signal. En cas de réception d'un signal θ^h (deuxième et troisième intégrales) la firme adopte la technologie A sauf si la fiabilité du signal est insuffisante. Cependant ici, en responsabilité limitée, le profit de la firme n'est jamais négatif en cas d'accident (il est nul, sachant $D > W_i$).

Si une firme optimiste décide de ne pas investir en recherche d'informations, elle conserve

ses croyances initiales et adopte la technologie B. La valeur de cette décision est :

$$V^L(0, \alpha < \breve{\alpha}^L) = (1 - \hat{p}_B(\alpha))W_B \tag{47}$$

La firme investit en recherche d'informations supplémentaires si et seulement si (46) − (47) > 0. Le raisonnement est de même nature que celui appliqué en responsabilité illimitée. Néanmoins le bénéfice total d'activité, la probabilité-seuil permettant de déterminer le choix technologique, ainsi que le seuil minimal de fiabilité d'un signal θ^h amenant la firme à adopter la technologie A sont différents de ceux prévalant en présence d'un régime de responsabilité illimitée. Mais en adoptant une approche similaire, en termes de bénéfice total d'activité (soit, pour la technologie A par exemple, en considérant $R_A^L = (1 - p_A)W_A$ au lieu de $R_A^U = W_A - p_A D$ en responsabilité illimitée), nous pouvons obtenir des résultats de même nature que ceux présentés en Proposition 1.

A présent, nous allons nous pencher sur les incitations à la recherche d'informations fournies par le régime de responsabilité limitée sur une firme pessimiste.

B - Incitations exercées sur les firmes pessimistes

Pour une firme pessimiste ($\alpha > \breve{\alpha}^L$), la valeur attachée à la décision d'investir en recherche d'informations supplémentaires est :

$$\begin{aligned}
&V^L(\bar{I}, \alpha > \breve{\alpha}^L) = \\
&\int_{\frac{1}{2}}^{1} [(P^L(h,\alpha)f + (1 - P^L(h,\alpha))(1-f))((1-p_A)W_A)]g(f)df \\
&+ \int_{f_{pmin}^L}^{1} [((1 - P^L(h,\alpha))f + P^L(h,\alpha)(1-f))((1 - \hat{p_B}(\theta^l, \alpha))W_B)]g(f)df \\
&+ \int_{\frac{1}{2}}^{f_{pmin}^L} [((1 - P(h,\alpha))f + P(h,\alpha)(1-f))((1-p_A)W_A)]g(f)df - \bar{I}
\end{aligned} \tag{48}$$

L'interprétation est similaire à celle de l'équation (43) : la réception d'un signal θ^h amène à la conservation de la technologie A, tandis que la réception de θ^l amène à l'adoption de la technologie B uniquement si le signal est suffisamment fiable.
Si la firme n'investit pas en recherche d'informations, elle conserve ses croyances initiales

et choisit la technologie A. Nous obtenons :

$$V^L(0, \alpha > \breve{\alpha}^L) = (1 - p_A)W_A \tag{49}$$

La recherche d'informations supplémentaires est décidée si et seulement si $(48) - (49) > 0$. Dans ce cas encore, le raisonnement est similaire à celui mené en responsabilité illimitée, bien que le revenu d'activité et les seuils p_B^{TL}, f_{pmin}^L soient différents de leurs équivalents en responsabilité illimitée. Nous pouvons retrouver ainsi des résultats similaires à ceux présentés dans la Proposition 2.

Ainsi, pour chaque type de firme, nous pouvons constater que le raisonnement théorique permettant de déterminer les incitations à investir en recherche d'informations est le même quel que soit le régime de responsabilité considéré : une firme choisit d'investir en recherche d'informations si la valorisation de cette décision est plus importante que la valorisation de la décision opposée, ne pas investir. Nous pouvons constater que la logique permettant de déterminer la valorisation attachée à chaque décision est la même, pour chaque régime de responsabilité, pour un type de firme donné. En fait, seules certaines variables et seuils sont affectés par le choix du régime de responsabilité. Or, d'un point de vue théorique, il n'est ici pas aisé de déterminer, par exemple, si (et en quoi) le niveau différent en bénéfice d'activité selon le régime de responsabilité va influer ou non sur l'incitation à investir en recherche d'informations.
La question des incitations à la recherche d'informations sur un risque imparfaitement connu peut être une question essentielle dans le cadre d'une application du Principe de Précaution (voir la discussion à ce sujet en section 4) notamment, comme c'est le cas ici, lorsque la nouvelle technologie peut se révéler plus dangereuse que l'ancienne. Dès lors, il convient de déterminer, de façon la plus précise possible, en quelles circonstances et sous quelles conditions un régime de responsabilité peut être plus favorable qu'un autre à la recherche d'informations. Pour cela, à partir des équations qui permettent de déterminer la décision d'effectuer ou non un effort en recherche d'informations supplémentaires, nous allons mener une analyse plus approfondie en recourant à l'utilisation de calculs numériques. Ainsi, il nous sera plus aisé de déterminer l'influence de tous les facteurs impliqués dans cette décision, de mettre au jour leurs interactions éventuelles et, au final, de déterminer pour différentes situations possibles l'ampleur des incitations

à la recherche d'informations fournies par chaque régime de responsabilité civile.

3 Calculs numériques

Dans un premier temps, nous allons décrire les opérations de calibrage du modèle numérique. Puis nous présentons les principaux résultats de nos calculs.

3.1 Calibrage du modèle

En premier lieu, il convient de fournir des valeurs numériques à certains paramètres et fonctions de notre modèle théorique développé précédemment. Ensuite, il est nécessaire de définir plusieurs scénarii de calculs afin de mettre en avant les effets liés aux différentes valeurs possibles de certains paramètres. Enfin, avant de procéder à une analyse approfondie des résultats, nous devrons procéder à certains éléments de vérification, et notamment vérifier que nos résultats satisfont à certaines propriétés du modèle théorique.

A - Valeurs des fonctions et paramètres

Rappelons que nous souhaitons procéder à des calculs numériques afin de déterminer l'influence du régime de responsabilité civile sur l'incitation à investir en recherche d'informations supplémentaires sur un risque imparfaitement connu (et déterminer l'influence d'autres paramètres sur les "performances" de la responsabilité civile à cet égard). Pour cela, nous souhaitons associer à chaque paramètre de notre modèle théorique une valeur réelle, afin d'étendre au maximum sa portée pratique et faciliter la formulation de recommandations en termes d'aide à la décision (voir section 4).
Il est important de rappeler que nous focalisons notre analyse sur des secteurs à hauts risques, pouvant causer de lourds dommages à l'environnement et, plus généralement, à la Société. En outre, nous considérons des situations pour lesquelles les risques peuvent être imparfaitement connus, comme cela peut être le cas lors de l'introduction d'une nouvelle technologie de production. Ainsi, il nous faut trouver un secteur fournissant suffisamment de données, afin d'affecter une valeur à chaque paramètre de notre modèle, et qui réponde à la double exigence d'être un secteur à hauts risques et pouvant être soumis à la présence de risques imparfaitement connus. Nous choisissons alors d'illustrer

nos calculs à l'aide de données issues du secteur chimique et pétro-chimique. Ce secteur présente en effet l'avantage de disposer d'un grand nombre de données sur les revenus, les budgets R&D, et dispose d'un historique de catastrophes permettant de déterminer des ampleurs de dommages potentiels. Bien que ce secteur puisse être considéré comme un secteur "traditionnel"[98], il peut néanmoins être le lieu d'innovations technologiques source de risques imparfaitement connus. Ainsi, par exemple, ce secteur fait partie de l'un des principaux champs d'application des nanotechnologies dont l'utilisation fait encore l'objet d'incertitude, voire de controverses (voir l'introduction du chapitre 3)[99]. Ainsi, nous allons tenter de calibrer les paramètres de notre modèle de façon à ce qu'il puisse, autant que possible, être applicable au secteur chimique européen.

En premier lieu, il nous faut trouver les valeurs *réelles* pour les paramètres suivants : l'ampleur du dommage potentiel, les probabilités d'accident, et le revenu d'activité.

Concernant le revenu d'activité W_i, nous considérons que ce paramètre est proche de la notion comptable d'excédent brut d'exploitation (EBE), qui représente la recette nette d'activité après paiement des facteurs de production. Nous décidons de poser une base 100 à l'EBE associé à l'utilisation de la technologie A (i.e. $W_A = 100$). Ceci permet d'exprimer les autres variables directement en termes de pourcentage de l'EBE associé à la technologie historique.

Ensuite, il convient de déterminer la valeur du dommage potentiel, relativement à l'EBE. Plus précisément, nous allons fixer une valeur maximale du dommage potentiel, puis nous effectuerons des calculs pour des valeurs plus faibles (afin de déterminer l'impact du dommage sur le comportement de la firme). Nous choisissons de considérer l'accident industriel d'AZF[100] comme valeur maximale du dommage potentiel. Si nous considérons uniquement l'entreprise AZF (sans ses société-mères), le dommage total

98. La plupart des grandes entreprises de ce secteur ont, plus ou moins, 100 ans d'existence : par exemple BASF a été créée en 1865, Shell en 1890, Total en 1924.

99. Outre les aspects sanitaires évoqués dans l'introduction du chapitre 3, deux rapports mettent en avant le risque accru d'explosion au cours de processus de production en raison de la grande instabilité des nuages de nanoparticules (cf rapport de l'INRS : http ://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Dossier%20Nano/$File/Visu.html ; et rapport de l'IRSST : http ://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-646.pdf).

100. Le 21 septembre 2001, l'usine chimique AZF (AZoteFertilisants) à Toulouse a explosé, causant le plus grand désastre industriel connu en France depuis 1945 : le bilan s'élève à 31 morts, 2500 blessés et 2 milliards d'euros de dommages.

causé par son explosion s'est élevé à environ 140 fois le montant de son EBE (voir le détail de ce résultat en Annexe B).

Concernant les probabilités d'accident, nous utilisons des valeurs provenant d'une matrice de criticité directement issue de la réglementation française applicable aux "installations classées"[101] (voir plus loin). En effet, depuis la Loi numéro 76-663 du 19 Juillet 1976, chaque firme française engagée (ou voulant s'engager) dans un secteur à risques (tel le secteur chimique) doit entreprendre une analyse de risque et la publier afin d'obtenir une autorisation d'exploiter. Une telle matrice, que nous appellerons "matrice française" par la suite, associe des probabilités d'occurrence d'accident à des niveaux de dommages potentiels et permet de définir et de discriminer les risques dits "acceptables" (aux yeux de cette loi) des risques "non-acceptables" (plus de détails sont disponibles en Annexe B).

Enfin, il nous est nécessaire de spécifier les fonctions suivantes : $P^k(h,\alpha)$, $k = U, L$ selon qu'un régime de responsabilité illimitée ou limitée prévaut, ainsi que la distribution de la fiabilité f du signal d'information θ^j, $j = l, h$.

Concernant la distribution de f, nous considérons que f suit une distribution uniforme sur $[\frac{1}{2}, 1]$; donc nous avons $g(f) = \frac{1}{1-\frac{1}{2}} = 2$. Le choix d'une loi uniforme permet de ne pas complexifier le modèle, et introduit aussi une neutralité de l'effet lié à la fiabilité moyenne du signal sur les effets inhérents aux autres variables[102]. Quant à la spécification de $P^k(h,\alpha)$, celle-ci est établie à partir de la volonté de satisfaire à un ensemble de cinq propriétés désirables : a/ $P^k(h,0) = 0$, b/ $P^k(h,1) = 1$, c/ $\frac{\partial P^k(h,\alpha)}{\partial \alpha} > 0$, d/ $P^k(h,\alpha)$ décroît (augmente) lorsque la probabilité-seuil p_B^{Tk} augmente (diminue), e/ $P^k(h,\alpha) = \alpha$ lorsque $p_B^{Tk} = \frac{p_B^L + p_B^H}{2}$. Les trois premières propriétés sont très intuitives : lorsque le degré de pessimisme α augmente, la croyance en la vraisemblance de l'état h doit s'accroître. Aux cas extrêmes (optimisme extrême ($\alpha = 0$) ou pessimisme extrême ($\alpha = 1$)) cette vraisemblance doit être nulle ou maximale. La propriété d/ est justifiée par le fait que, pour un intervalle $[p_B^L, p_B^H]$ donné, lorsque la probabilité-seuil égalisant la valorisation

101. Cette dénomination fait référence aux sites industriels potentiellement dangereux pour l'environnement, qui sont soumis à autorisation préalable d'exploitation. Une telle autorisation requiert notamment une analyse de risques. Voir le site gouvernemental dédié à ces installations : http ://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/-Installation-classee-.html

102. Ainsi, par exemple, considérer une loi associée à une densité de probabilité davantage concentrée en début (fin) de distribution introduirait un signal qui est, en moyenne, moins (plus) fiable que ce que nous supposons avec une loi uniforme. Dans cette première étude, nous n'analyserons pas l'impact d'un signal dont la fiabilité moyenne est plus ou moins importante : le choix le plus neutre est alors de considérer une loi uniforme.

des deux technologies est plus grande (petite), alors moins (plus) de valeurs possibles de p_B sont associées à l'état h, réduisant (augmentant) alors sa vraisemblance. Concernant la dernière propriété, lorsque la probabilité-seuil est médiane (autant de valeurs de p_B attachées à l'état l qu'à l'état h), il est raisonnable d'admettre qu'une firme ayant un degré de pessimisme "médian" ($\alpha = 0,5$) considére comme égales les vraisemblances de chacun des états.
Ainsi, la spécification suivante est retenue : $P^k(h,\alpha) = \alpha \frac{[1-\gamma(p_B^{Tk} - (\frac{p_B^L + p_B^H}{2}))]^{(\frac{1}{\alpha})}}{[1-\gamma(p_B^{Tk} - (\frac{p_B^L + p_B^H}{2}))]}$
γ étant un facteur de distorsion soulignant l'influence de la distance relative entre p_B^{Tk} et chaque borne de l'intervalle de probabilités.

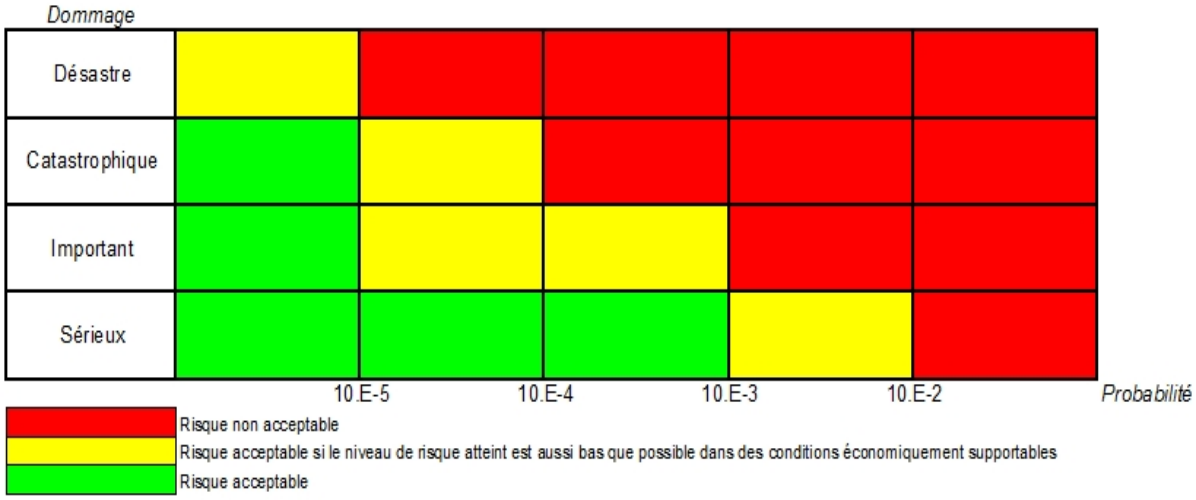
A présent que nous avons fourni des valeurs à chaque paramètre et fonction, il convient de définir des scénarii de calculs permettant de mettre en évidence les différents effets que certaines variables peuvent avoir, selon leur valeur, sur la décision relative à l'engagement dans un processus de recherche d'informations supplémentaires.

B - Définition des scénarii

Afin de couvrir un large éventail de situations, nous définissons deux classes de risque, chacune attachée à un type particulier de firme. Chaque classe de risque regroupe deux types de risque. Ainsi, dans une première classe de risque, nous regroupons ce que la réglementation française [103] appelle les *désastres* et les *risques catastrophiques*. Dans la seconde classe de risque, nous regroupons ce que cette réglementation appelle les *risques importants* et les *risques sérieux*. Ces quatre types de risque sont attachés à quatre différents intervalles d'ampleurs de dommage potentiel (plus de détails sont disponibles en Annexe B).

103. Voir l'*arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation* (plus de détails en Annexe B).

Figure 2 : matrice de criticité



Les probabilités sont des estimations quantitatives (pour chaque risque de procédé pour une période d'un an).

Considérons la première classe de risque, regroupant les désastres et risques catastrophiques. Nous distinguons ces deux types de risque de la façon suivante. Nous appelons *désastre* tous les accidents potentiels dont l'ampleur du dommage est située dans l'intervalle [1/10*AZF ; AZF], AZF symbolisant un dommage d'une ampleur similaire à celui connu à Toulouse en 2001. Considérant une base 100 pour l'EBE associé à l'utilisation de la technologie A, les désastres sont associés à des dommages potentiels D compris dans l'intervalle [1500 ; 15000]. [104] Notons que dans notre modélisation nous considérons un dommage propotionnel à l'EBE de la firme, de sorte qu'un désastre (très grande ampleur de dommage) ne peut survenir qu'en présence d'une firme d'une taille suffisamment importante [105].

Nous appelons *risque catastrophique* un risque d'accident attaché à une firme de grande taille, et dont l'ampleur est suffisamment importante mais inférieure à $1/10^e$ de celle d'AZF ($D < 1500$). Nous supposons qu'un risque catastrophique est associé à un niveau de dommage D comprise dans l'intervalle [200 ; 1500]. [106]

Concernant la seconde classe de risque (regroupant les risques importants et les risques sérieux), nous utilisons une méthodologie de discrimination similaire à celle em-

104. Le dommage maximal représente alors 150 fois l'EBE de la firme. Ce chiffre s'élevait à 140 pour l'accident d'AZF.

105. AZF employait 470 personnes et son chiffre d'affaires était estimé à 144,6 millions d'euros (Source : site internet de Grande Paroisse (maison-mère d'AZF, http ://www.azf.fr/) et site internet d'Usine Nouvelle (http ://www.usinenouvelle.com/)).

106. Nous considérons uniquement des accidents pouvant entraîner la faillite de la firme. La magnitude du dommage doit alors nécessairement être supérieure à 100, l'EBE avec la technologie A.

ployée précédemment, c'est-à-dire en exprimant l'ampleur des dommages potentiels de façon proportionnelle à l'EBE de la firme. Cependant, ces risques sont associés à des firmes de taille moins importante. Nous considérons toujours un indice 100 pour l'EBE de la firme lorsque la technologie A est utilisée mais, en valeur, nous considérons que l'EBE d'une firme associée à un risque important ou sérieux est 50 fois plus faible que celui d'une firme associée à un désastre potentiel ou à un risque catastrophique. De façon analogue à la première classe de risque étudiée précédemment, nous considérons qu'un *risque important* est associé à un dommage potentiel dont l'ampleur est plus de 15 fois plus importante que l'EBE d'une "petite" firme ($D > 1500$), alors qu'un *risque sérieux* est associé à un dommage dont la magnitude est comprise entre 2 et 15 fois la valeur de l'EBE d'une petite firme ($D \in [200; 1500]$).

A présent, faisons un commentaire quant à l'*acceptabilité* des risques au sens de la réglementation française. Rappelons que l'arrêté du 29 septembre 2005 fournit un cadre analytique, sous forme d'une grille de criticité, permettant de discriminer les risques acceptables des risques non acceptables selon leur amplitude de dommage et leur probabilité d'occurrence (voir la figure 2 et les détails en Annexe B). Concernant la première classe de risque, reproupant les désastres et les risques catastrophiques, nous considérons l'intervalle : $p_B^L = 0,002\%$, $p_B^H = 0,02\%$. Avec de telles probabilités, l'ensemble des dommages relevant du désastre n'est pas acceptable au sens de la matrice française. Néanmoins, dans notre contexte de choix technologique incluant à la fois des différences en termes de revenus d'activité et en termes de probabilités d'accident, il est difficile de manipuler des probabilités plus faibles tout en obtenant à la fois des différences (de probabilité et de revenu) suffisamment marquées entre les deux technologies, ainsi que la présence d'activités potentiellement "désastreuses" qui soient acceptables.

Remarque 1 *Lorsque les probabilités d'occurrence d'un accident technologique sont suffisamment faibles, alors une (très) faible différence de revenu net d'activité (ou d'EBE) entre les deux technologies peut procurer un avantage définitif à une technologie sur l'autre.*

En effet, de faibles probabilités d'accident réduisent le coût espéré du risque (pour un dommage donné). Ainsi, pour des probabilités suffisamment faibles, une très faible différence en termes de revenu d'activité ou d'EBE peut donner un avantage à une technologie

sur l'autre (voir un exemple en Annexe B). Dès lors, en présence de désastres potentiels ou de risques catastrophiques, nous considérerons de faibles différences en EBE pour éviter tout choix technologique trivial. En revanche, en présence de risques sérieux et importants (caractérisés par des probabilités d'occurrence plus importantes) nous pourrons introduire des différences en EBE plus importantes (voir la définition des scénarii ci-après) et ainsi mesurer l'effet d'une variation en EBE sur le choix technologique (par rapport à l'effet d'une variation du coût du risque).

Concernant les risques catastrophiques, ces risques peuvent être acceptables au sens de la matrice française si la probabilité d'accident est inférieure à 0,01%. Considérant l'intervalle $[p_B^L = 0,002\% ; p_B^H = 0,02\%]$, aucun risque catastrophique ne peut être acceptable pour $p_B = p_B^H$. Néanmoins nous considérons qu'un risque catastrophique associé à la plus grande ampleur de dommage possible ($D = 1500$) peut être acceptable uniquement pour $p_B = p_B^L = 0,002\%$. Dès lors nous pouvons déduire un critère d'acceptabilité en termes de coût espéré du risque : $D = 1500$ est acceptable pour $p_B = p_B^L = 0,002\%$, d'où tout risque caractérisé par $p * D \leq 0,03$ est acceptable. Nous retrouvons alors qu'aucun risque catastrophique n'est acceptable pour $p_B = p_B^H$ ($p_B^H * 200 = 0,04$), mais un dommage de $D = 200$ est acceptable lorsque $p_B = 0,01\%$.

Pour la classe des risques importants et sérieux, nous considérons l'intervalle $[0,1\%; 1\%]$. Tous les risques importants ($D > 1500$) ne alors inacceptables au sens de la matrice française, mais un risque sérieux d'un dommage potentiel $D = 1500$ est acceptable pour $p_B = p_B^L = 0,1\%$. Le critère d'acceptabilité est alors : $p * D = 1,5$.[107] Notons par exemple qu'un risque sérieux de magnitude $D = 200$ est acceptable pour $p = 0,5\%$ ($p * D = 1$) mais ne l'est pas pour $p = 1\%$ ($p * D = 2$).

A présent, penchons nous sur les différents scénarii et cas d'étude.

107. Rappelons que les risques importants et sérieux sont attachés à des firmes de faible taille. L'utilisation d'un indice 100 pour l'EBE avec la technologie A et la proportionnalité du dommage à l'EBE sont communs aux études des deux classes de risque, tandis que les probabilités sont différentes : l'expression du critère d'acceptabilité est alors différente.

Figure 3 : les différents scénarii

Désastres ou *risques catastrophiques* $p_B \in [0,002\%; 0,02\%]$	*Risques importants* et *risques sérieux* $p_B \in [0,1\%; 1\%]$
Scénario 1 (S1) : $p_A = 0,003\%$ et $W_B = W_A$ +/- 0,001% Scénario 2 (S2) : $p_A = 0,0066\%$ et $W_B = W_A$ + / - 0,001% Scénario 3 (S3) : $p_A = 0,01\%$ et $W_B = W_A$ + / - 0,001%	Scénario 1 (S1): $p_A = 0,15\%$ et $W_B = W_A$ +/- 0,001% Scénario 2 (S2) : $p_A = 0,33\%$ et $W_B = W_A$ +/- 0,001% Scénario 3 (S3) : $p_A = 0,5\%$ et $W_B = W_A$ +/- 0,001%
	Scénario 1 (S1): $p_A = 0,15\%$ et $W_B = W_A + 0,25\% / - 0,05\%$ Scénario 2 (S2) : $p_A = 0,33\%$ et $W_B = W_A + 0,33\% / - 0,15\%$ Scénario 3 (S3) : $p_A = 0,5\%$ et $W_B = W_A + 0,5\%$ / - 0,15%

Les scénarii 1 sont ceux pour lesquels la technologie B est relativement peu attrayante (comparativement à la technologie A), les scénarii 3 sont ceux pour lesquels la technologie B est relativement attrayante.

Pour chaque classe de risque, chaque scénario est caractérisé par une probabilité p_A qui occupe une certaine position dans l'intervalle $[p_B^L, p_B^H]$. Pour chaque scénario, nous étudierons les cas où la technologie B procure un EBE plus important, et ceux où elle procure un EBE moins important que la technologie A. Lors de l'étude des risques importants et sérieux, nous distinguerons deux traitements : le premier dans lequel les différences en EBE entre les deux technologies sont équivalentes à celles prévalant en présence de désastres et risques catastrophiques, et un second dans lequel les amplitudes d'EBE sont plus importantes. Cela permettra de mesurer l'impact du différentiel d'EBE par rapport aux effets relatifs à des variations en coût du risque.

Soulignons également que tous les risques catastrophiques et sérieux de faible ampleur ($D = 200$) sont toujours acceptables avec la technologie A. Pour tout dommage D, les risques catastrophiques et sérieux sont acceptables pour $p_B = p_B^L$. Lorsque $p_B = p_B^H$, aucun risque n'est acceptable. Pour des valeurs intermédiaires de p_B, certains risques peuvent être acceptables si la valeur de D n'est pas trop importante.

Finalement, malgré le critère d'acceptabilité du risque (issu de la réglementation française), en responsabilité illimitée nous allons considérer tous ces différents cas, pour

chaque classe de risque : D = 200, 500, 1500, 3000, 8000 et 15000. Nous allons ainsi considérer aussi bien des risques acceptables que non acceptables.

C - Vérifications

Avant d'effectuer une analyse approfondie des résultats des calculs numériques, nous nous sommes assurés que toutes ces données sont compatibles avec les hypothèses faites sur f^k_{omin}, f^U_{pmin} $(k = U, L)$, et que les cinq propriétés désirables de $P^k(h, \alpha)$ sont vérifiées. Enfin, la valeur de l'effort maximal possible en recherche d'informations supplémentaires (que nous définissons plus précisément dans le paragraphe suivant) doit être positive [108], mais ne doit pas excéder le différentiel maximal de valorisation entre les deux technologies [109].

3.2 Résultats

Les résultats de nos calculs numériques ont été obtenus avec Microsoft Visual Basic 6.3. Pour chaque classe de risque et chaque scénario (voir la figure 3 ci-dessus), nous avons calculé la valeur de *l'effort maximal possible* en recherche d'informations supplémentaires. Chacun de ces calculs a été réalisé pour chaque régime de responsabilité (illimitée et limitée).

Définition 1 : Pour une firme donnée (α donné), appelons *effort maximal possible* en recherche d'informations la différence entre la valorisation de l'action "investir en recherche d'informations" (hors coût de l'investissement en recherche d'informations) et la valorisation de l'action "ne pas rechercher d'informations".

Pour chaque scénario, la valeur de l'effort maximal possible est calculée pour différentes valeurs de l'indicateur d'optimisme/pessimisme α, de $\alpha = 0,01$ à $\alpha = 0,99$ avec un pas de 0,01. Dans un tel contexte, nous utilisons un facteur de distorsion [110] γ égal à 3. Afin de faciliter l'interprétation de certains résultats, admettons que nous sommes en présence d'une industrie parfaitement concurrentielle composée de firmes réparties sur

108. La valeur de cet effort doit au moins être égale à zéro, mais ne jamais être négative. Certes, il existe certaines "valeurs négatives" à l'information (voir section 2) mais, en moyenne, le signal est informatif : il permet à la firme de faire le "bon choix", et les valeurs positives de l'information surcompensent ainsi les valeurs négatives.

109. Par exemple, considérant une firme pessimiste, l'effort maximal possible ne peut excéder la différence entre la valorisation de l'utilisation de la technologie B lorsque $p_B = p^L_B$ et la valorisation de l'utilisation de la technologie A.

110. Ce facteur, présent de la forme fonctionnelle de $P^k(h, \alpha)$, détermine l'influence de la distance relative entre p^{Tk}_B et chaque borne de l'intervalle de probabilités sur $P^k(h, \alpha)$.

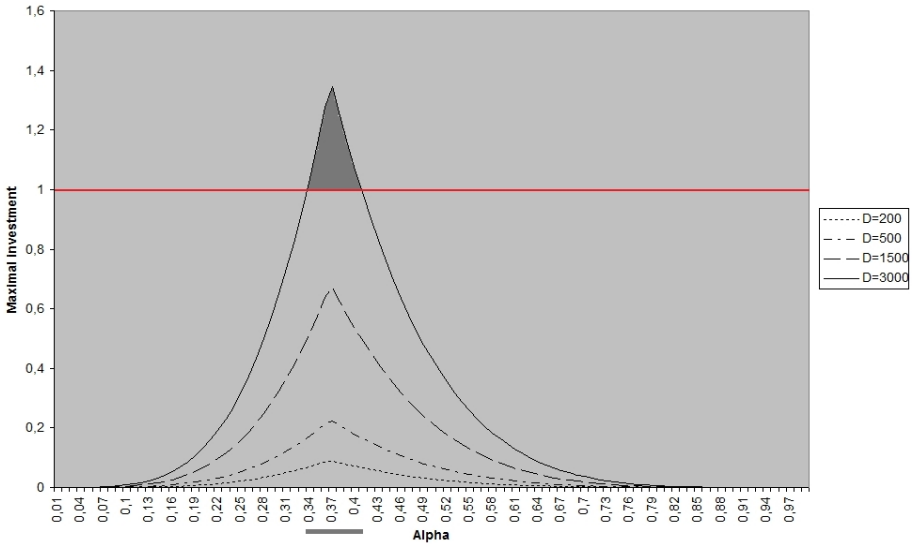
l'ensemble du spectre des valeurs possibles de α : pour simplifier, considérons une firme pour chaque valeur de α.

En premier lieu, nous allons montrer comment la valeur de certains paramètres affecte l'ampleur des incitations à investir en recherche d'informations supplémentaires, quel que soit le régime de responsabilité. Ensuite, nous focaliserons davantage notre analyse sur l'effet du type de régime de responsabilité sur l'incitation à investir.

A - Effets de diverses variables sur l'incitation à investir en recherche d'informations

Nous pouvons d'abord constater que l'effort maximal possible en recherche d'informations dépend de l'ampleur des gains que l'information peut apporter, notamment en termes de réduction du coût espéré du risque.

Figure 4 : relation entre l'effort maximal possible en recherche d'informations et l'ampleur du dommage (UL)



Sur le graphique présenté en figure 4 ci-dessus, nous comparons pour chaque valeur de α (en abscisses) l'effort maximal possible en recherche d'informations (en ordonnées) pour quatre différents niveaux de dommage, pour un scénario donné en responsabilité illimitée (UL) [111]. La lecture de ce graphique se fait de la façon suivante. Pour illustrer, admettons par exemple que le coût d'investir en recherche d'informations s'élève à 1. Dès lors, seules les firmes pour lesquelles l'effort maximal possible est supérieur ou égal

111. Nous trouvons des résultats similaires pour tous les scénarii en responsabilité illimitée.

à 1 vont décider de se lancer dans un processus de recherche d'informations ; ces firmes sont celles pour lesquelles la valeur de α se situe dans la zone sombre, c'est-à-dire de $\alpha = 0,33$ à $\alpha = 0,41$ pour $D = 3000$ uniquement.
Deux enseignements peuvent être tirés de la lecture de ce graphique. Premièrement, nous voyons clairement que pour chaque α une augmentation de l'ampleur du dommage potentiel D conduit à un accroissement de la valeur de l'effort maximal pouvant être alloué à la recherche d'informations.

Résultat 1 *En présence d'un régime de responsabilité illimitée (UL), quelle que soit l'attitude de la firme à l'égard de l'ambiguïté (α), plus le dommage potentiel D est important, plus l'incitation à entreprendre des recherches d'informations supplémentaires est importante.*

Pour des probabilités données, plus D est important, plus la différence en coût espéré du risque est importante entre les deux technologies. Selon que l'information soit exacte ou non, une hausse de D accroît alors les gains et les pertes potentiels de suivre l'information nouvelle. Cependant, en moyenne, le signal est informatif et permet à la firme de faire le "bon" choix technique. Dès lors, pour un niveau D plus important, l'accroissement des gains potentiels l'emporte, en espérance, sur l'accroissement des pertes possibles.
Ensuite, nous pouvons constater que nos résultats confirment les conjectures émises dans l'analyse théorique concernant l'évolution des incitations à la recherche d'informations avec α : pour des attitudes extrêmes à l'égard de l'ambiguïté (α proche de 0 ou 1, i.e. à chaque extrêmité de l'axe des abscisses du graphique en figure 4), l'incitation à rechercher de l'information est faible. Parmi les firmes optimistes (à partir de $\alpha = 0$), l'incitation à investir s'accroît lorsque le degré d'optimisme se réduit (α augmente). Parmi les firmes pessimistes (à partir de $\alpha = 1$), l'incitation à investir s'accroît lorsque le degré de pessimisme se réduit (α diminue). Au final, les firmes les plus "modérées" (i.e. les moins optimistes des optimistes, et les moins pessimistes des pessimistes) sont celles ayant le plus d'incitations à investir : l'incitation maximale est atteinte en $\alpha = \breve{\alpha}^U$.

Résultat 2 *Plus l'attitude de la firme à l'égard de l'ambiguïté est "extrême" (optimisme/pessimisme très élevé), moins l'effort maximal qu'elle serait prête à allouer à de la recherche d'informations supplémentaires est important.*

En présence d'un régime de responsabilité limitée, ou en responsabilité illimitée pour

un dommage D donné, d'autres paramètres ont une influence sur la valorisation des différentes technologies (et donc leur attrait relatif). Au sein du Résultat suivant, nous synthétisons les résultats conséquents à des variations relatives de l'attrait de la technologie B (issues de variations de l'EBE qu'elle procure, et de variations de p_A).

Résultat 3 *Considérons un dommage D et le régime de responsabilité comme donnés*

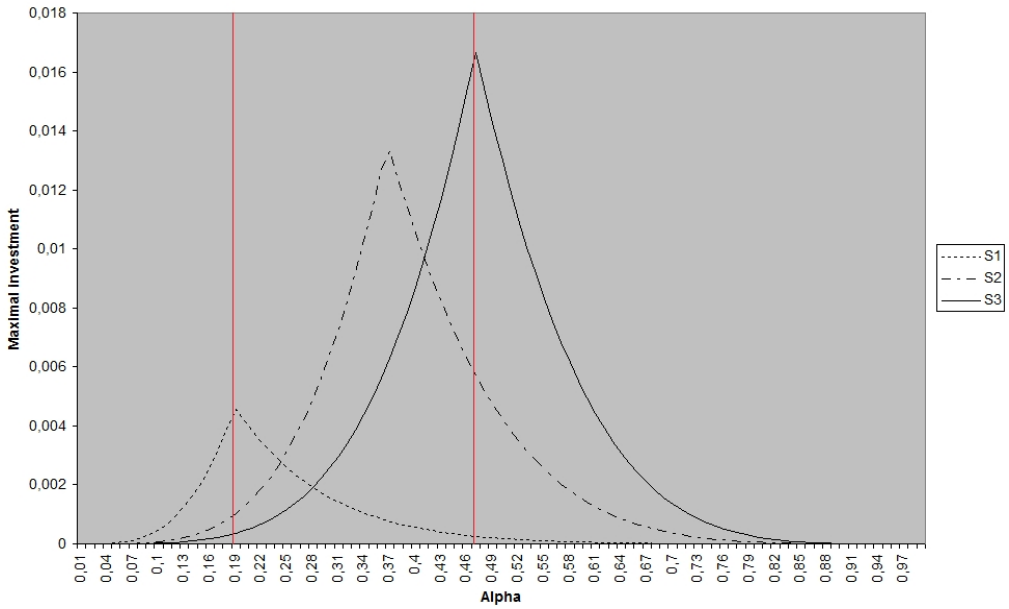
(i) Plus (moins) la technologie B est attrayante, plus (moins) une firme pessimiste est incitée à rechercher de l'information

(ii) Plus (moins) la technologie B est attrayante, moins (plus) une firme optimiste est incitée à rechercher de l'information

(iii) Plus (moins) la technologie B est attrayante, plus grand (moindre) est le nombre de firmes optimistes ($\breve{\alpha}^U$, $\breve{\alpha}^L$ augmente (diminue))

Nous pouvons d'abord constater que le point (iii) confirme une prédiction théorique émise dans le chapitre 3 : lorsque l'EBE attaché à la technologie B (i.e. W_B dans le modèle théorique) s'accroît, et/ou que la probabilité d'accident relative à la technologie A, p_A, s'accroît de sorte que la technologie B soit relativement plus attrayante, alors les valeurs des probabilités-seuil p_B^{Tk}, $k = Ul, L$, augmentent aussi. Nous en avions déduit que le nombre de firmes optimistes augmente, ce qui se confirme ici par une valeur de $\breve{\alpha}^k$ plus importante. Concernant les deux autres points, il nous est nécessaire de les illustrer à l'aide du graphique de la figure 5 ci-dessous.

Figure 5 : attrait pour B : trois effets sur l'effort d'information



Appelons *effort total potentiel* la somme des efforts maximaux possibles pouvant être consentis à la recherche d'informations, somme sur chaque firme (chaque α) de l'industrie. Graphiquement, pour un scénario donné (S1, S2 ou S3), il s'agit de l'aire sous la courbe correspondant. Tout comme c'est le cas au niveau d'une firme, l'effort total potentiel est à distinguer de l'effort total *réalisé*. En effet nous avons vu qu'une firme s'engage dans un processus de recherche d'informations uniquement si la désutilité/le coût lié à cet engagement est moins important que (ou égal à) l'effort maximal qu'elle est prête à consentir. Au niveau de l'industrie, l'effort total *réalisé* regroupe les coûts engagés par toutes les firmes qui ont intérêt à investir en recherche d'informations. Pour un coût donné de l'investissement en recherche, plus l'effort total potentiel s'accroît, plus il est vraisemblable que le nombre de firmes investissant en recherche d'informations augmente aussi.

La figure 5 ci-dessus montre différents chemins d'efforts maximaux, le long du spectre des valeurs de α, selon le scénario retenu concernant l'attrait relatif de la technologie B [112]. Nous pouvons retrouver les deux premiers points du Résultat 3 de la façon suivante : pour un α donné *dont le type n'est pas affecté par le choix du scénario* [113], une firme optimiste (à gauche de la première ligne rouge) a une plus grande volonté à investir lorsque la technologie B est peu attrayante (scénario S1). Sa volonté est la plus faible lorsque B est attrayante (scénario S3). Ceci est le point (i). Un raisonnement symétrique prévaut avec une firme pessimiste (à droite de la seconde ligne rouge) : sa volonté à investir est plus grande en S3 (technologie B attrayante) qu'en S1 (point (ii)). Ces résultats confirment respectivement les conjectures émises suite aux Propositions 1 et 2, exposées et expliquées en section 2. [114]

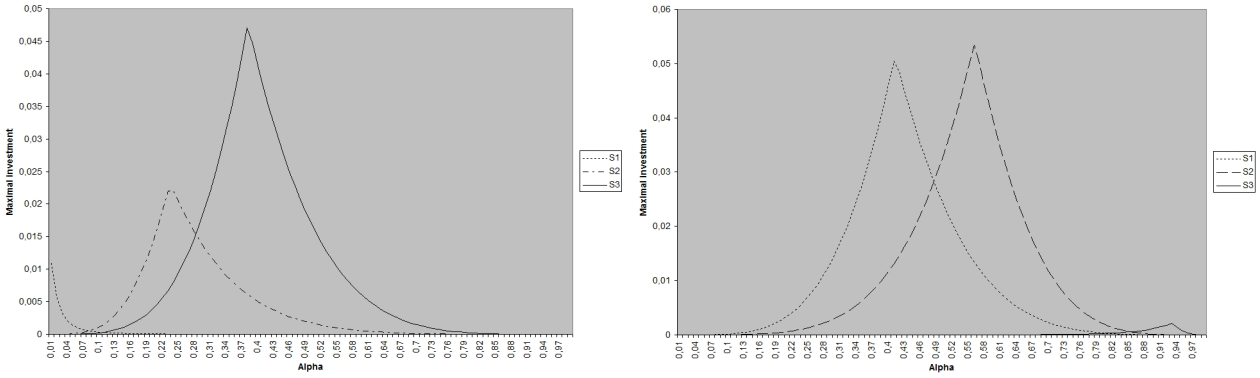
Nous pouvons remarquer que les points (i) et (iii) d'une part, et le point (ii) d'autre part, ont des effets opposés sur le montant de l'effort total potentiel au sein de l'industrie. Lequel de ces effets domine le ou les autres dépend du degré d'attrait relatif de la technologie B (voir la figure 6 ci-dessous).

112. Nous prenons ici le cas de risques catastrophiques, en responsabilité illimitée, avec $D = 1500$, lorsque B procure un EBE plus faible que A.

113. Une firme caractérisée par un tel α est toujours optimiste ou pessimiste, quel que soit le scénario retenu.

114. Alors que ces conjectures étaient basées sur des variations en coût du risque (suite à des variations de probabilités), ici nous avons également testé pour des variations en EBE.

Figure 6 : attrait de B : deux cas extrêmes



Lorsque la technologie B est peu attrayante (graphique de gauche), les points (i) et (iii) dominent : il y a peu de firmes optimistes [115] et les firmes pessimistes ont peu intérêt à investir. L'effort total potentiel est faible. A mesure que l'attrait de B est plus important (de S1 vers S3), les points (i) et (iii) dominent toujours mais entraînent un accroissement de l'effort total potentiel : les firmes optimistes sont plus nombreuses et les firmes pessimistes ont davantage intérêt à investir. En revanche, au-delà d'un certain degré d'attrait, l'effet décrit dans le point (ii) domine et l'effort total potentiel décroît (graphique de droite) : la technologie B est très attrayante, entraînant un grand nombre de firmes optimistes mais qui ont peu d'intérêt à investir en recherche d'informations [116]. A partir de la Proposition 3 et des observations qui suivent, nous obtenons :

Résultat 4

Au-delà d'un certain degré d'attrait relatif d'une technologie par rapport à l'autre, les incitations à investir en recherche d'informations décroissent.

A présent, nous allons focaliser notre analyse sur l'effet du régime de responsabilité civile sur la volonté à investir en recherche d'informations.

115. Ce graphique représente le cas d'un risque sérieux, en responsabilité limitée, lorsque B procure un EBE plus faible que A et que les différentiels d'EBE sont importants. Dans le scénario 1, la technologie B est tellement peu attrayante (p_B^{TL} très proche de p_B^L) que nous ne trouvons aucune firme optimiste : $\breve{\alpha}^L$ est très proche de 0 (le Solveur d'Excel a été incapable de déterminer une valeur non nulle de $\breve{\alpha}^L$). Concernant la détermination de $\breve{\alpha}^k$, $k = U, L$, avec le Solveur d'Excel, voir plus loin.

116. Ce graphique illustre un cas de risque sérieux, en responsabilité limitée, en présence d'un différentiel d'EBE important avec B procurant un EBE plus important que A. Nous trouvons $\breve{\alpha}^L$ égal à 0,9311 pour S3.

B - Impact du régime de responsabilité civile sur l'incitation à investir en recherche d'informations

Rappelons tout d'abord que le Résultat 1 nous enseigne qu'en responsabilité illimitée l'effort maximal pouvant être alloué à la recherche d'informations s'accroît avec l'ampleur D du dommage. Ainsi, dans un premier temps, nous allons comparer les efforts totaux potentiels générés par chaque régime de responsabilité pour la plus faible ampleur de dommage que nous considérons, soit $D = 200$.

Tableau 1 : ratio des efforts totaux potentiels (UL/LL) pour D=200

Classe de risque	Scénario			
Risque catastrophique	S2,B- 2,1860475	S3, B- 2,04135777	S2, B+ 1,90317014	S3, B+ 1,99250791
Risque sérieux				
faible différence en EBE	S1,B- 2,02157747	S3, B- 2,00028034	S1, B+ 1,98149429	S3, B+ 1,99969301
forte différence en EBE	S2,B- 3,48479744	S3, B- 2,26850618	S2, B+ 2,07907326	S3, B+ 105,19422

avec "B-" ("B+") symbolisant les cas pour lesquels la technologie B fournit un EBE moins (plus) important que la technologie A. Dans ce tableau, nous présentons des ratios entre l'effort total potentiel prévalant en responsabilité illimitée et l'effort total potentiel prévalant en responsabilité limitée, pour $D = 200$. Etant donné notre calibrage, nous trouvons dans tous les cas étudiés [117] que l'effort total potentiel est au moins deux fois [118] plus élevé en responsabilité illimitée qu'en responsabilité limitée lorsque l'ampleur du dommage potentiel représente le double [119] de la valeur de l'EBE de la technologie A.

Résultat 5 *Lorsque le dommage potentiel est suffisamment plus important que la valeur liquidative des firmes alors, au niveau industriel, le nombre de firmes s'engageant dans un processus de recherche d'informations est plus élevé (ou au moins équivalent) en présence d'un régime de responsabilité illimitée qu'en présence d'un régime de responsabilité limitée.*

117. Alors que nous voulions comparer des scénarii S1 et S3, nous avons choisi de ne pas présenter certains scénarii S1 en raison de l'absence de firmes optimistes (cas particuliers, en présence d'un risque catastrophique en responsabilité limitée lorsque "B-", et en présence d'un risque sérieux en responsabilité limitée lorsque "B-" et forte différence en EBE). Néanmoins des résultats similaires sont obtenus : pour ces deux cas l'effort total potentiel est au moins huit fois plus élevé en responsabilité illimitée qu'en responsabilité limitée.

118. Le cas du scénario "S3, B+" en présence d'un risque sérieux et d'une forte différence en EBE reflète un très faible effort total potentiel en responsabilité limitée à cause d'un nombre trop important de firmes optimistes (cas du graphique de droite de la figure 6, avec $\breve{\alpha}^L = 0,9311$).

119. A titre d'illustration, pour $D = 1500$ on trouve des ratios supérieurs ou égaux à 6.

A présent, continuons de comparer les incitations fournies par les deux régimes de responsabilité mais au niveau individuel, au niveau des firmes. Pour chaque cas, nous regardons la firme (ou le α) pour laquelle l'effort maximal potentiel est le plus élevé sur l'ensemble du spectre des α (voir le tableau 2 ci-dessous).

Tableau 2 : efforts potentiels (des firmes) les plus élevés

$D = 200$:

Classe de risque	Scénario							
Risque catastrophique	S1,B-		S3, B-		S1, B+		S3, B+	
	UL	LL - S2,B-	UL	LL	UL	LL	UL	LL
	0,0003453	0,00077272	0,00216953	0,00104877	0,00086576	0,00053797	0,00217628	0,00112498
Risque sérieux								
faible différence en EBE	S1,B-		S3, B-		S1, B+		S3, B+	
	UL	LL	UL	LL	UL	LL	UL	LL
	0,03196552	0,01573576	0,11010306	0,05516898	0,03203474	0,01592258	0,10962717	0,05469657
forte différence en EBE	S1,B-		S3, B-		S1, B+		S3, B+	
	UL	LL - S2,B-	UL	LL	UL	LL	UL	LL
	0,01810172	0,02215036	0,10437769	0,04702566	0,07673749	0,0504929	0,09376723	0,00212402

$D = 1500$:

Classe de risque	Scénario							
Risque catastrophique	S1,B-		S3, B-		S1, B+		S3, B+	
	UL	LL - S2,B-	UL	LL	UL	LL	UL	LL
	0,00457466	0,00077272	0,01666134	0,00104877	0,00506792	0,00053797	0,01619367	0,00112498
Risque sérieux								
faible différence en EBE	S1,B-		S3, B-		S1, B+		S3, B+	
	UL	LL	UL	LL	UL	LL	UL	LL
	0,24189594	0,01573576	0,82422521	0,05516898	0,24150956	0,01592258	0,82374931	0,05469657
forte différence en EBE	S1,B-		S3, B-		S1, B+		S3, B+	
	UL	LL - S2,B-	UL	LL	UL	LL	UL	LL
	0,21888979	0,02215036	0,80711194	0,04702566	0,29363521	0,0504929	0,83873485	0,00212402

Rappelons tout d'abord que ces efforts sont exprimés en pourcentage de l'EBE procuré par l'utilisation de la technologie A : les firmes associées à des risques sérieux ont un EBE 50 fois plus faible que celui des firmes associées aux risques catastrophiques, ce qui explique l'essentiel de la différence en valeur des efforts entre ces deux types de risques (à régime de responsabilité et scénario donné). Par conséquent, la comparaison des incitations à travers les différentes classes de risque n'est pas très intéressante. Nous allons alors uniquement considérer le cas des risques sérieux et importants.

Nous savons qu'en responsabilité illimitée, l'incitation à rechercher de l'information est croissante avec l'ampleur du dommage potentiel, D. Dans un premier temps, nous allons donc comparer les deux régimes de responsabilité pour $D = 200$. En responsabilité illimitée les efforts maximaux varient entre 0,018% (S1) et 0,11% (S3) de l'EBE en présence de risques sérieux. En responsabilité limitée, les efforts sont inférieurs à 0,055% de l'EBE. Bien que les valeurs soient faibles pour les deux régimes de responsabilité, la responsabilité illimitée semble déjà fournir davantage d'incitations. Pour des dommages plus importants, la différence entre les deux régimes s'accroît [120]. Ainsi, comme nous

120. A titre d'exemple, pour $D = 1500$ les efforts maximaux sont situés entre 0,2% (S1) et 0,8% (S3). Pour $D = 15000$, les valeurs se situent entre 2% et 8% de l'EBE.

pouvions le déduire du Résultat 1, l'accroissement du dommage potentiel procure davantage d'incitations à rechercher de l'information en responsabilité illimitée mais, en outre, ces incitations sont bien plus importantes qu'en présence d'un régime de responsabilité limitée.

Résultat 6 *Lorsque le dommage potentiel est deux fois plus grand que la valeur liquidative de la firme, le régime de responsabilité illimitée fournit davantage d'incitations à la recherche d'informations que le régime de responsabilité limitée. A mesure que la magnitude du dommage augmente, l'écart entre les deux régimes s'accroît encore.*

Cependant, comment appréhender l'ampleur de ces valeurs ? Comment évaluer la force incitative de la responsabilité ? Afin de fournir un premier (et imparfait) élément de comparaison, nous pouvons regarder les montants alloués à la R&D [121] dans le secteur chimique européen. A partir de données issues de différents rapports nous trouvons qu'en moyenne, en Europe, le ratio R&D/EBE atteint environ 22% dans le secteur chimique (détails disponibles en Annexe B). Ainsi, à titre d'exemple, en admettant qu'une "petite" firme (soumise à des risques sérieux ou importants) alloue 22% de son EBE à des activités de R&D, son effort maximal en responsabilité illimitée pourrait représenter entre 0,08% et 0,5% de son budget R&D pour un dommage équivalent à 2 fois son EBE, entre 0,9% et 3,6% pour un dommage de 15 fois son EBE, et entre 9% et 36,4% pour un dommage de 150 fois son EBE [122].

Pour finir, remarquons que l'ampleur de l'effort maximal potentiel en recherche d'informations ne doit pas être le seul critère devant guider le choix d'un régime de responsabilité d'un point de vue normatif. Comme nous l'avons montré dans le chapitre 3, le régime de responsabilité civile a aussi un impact sur le choix technique, quelle que soit l'attitude de la firme en termes de recherche d'informations supplémentaires. Ainsi, nous allons voir dans quelle mesure (étant donné le calibrage de notre modèle numérique) le régime de responsabilité affecte le choix technologique des firmes.

121. Cette comparaison est imparfaite en ce sens que la R&D inclu aussi bien des investissements en sécurité et protection de l'environnement que des investissements purement productifs. Aussi, l'aspect "développement" ("D" de R&D) peut faire allusion tant au developpement de procédés qu'au développement de produits (ce qui peut inclure des éléments relevant du marketing). La notion de R&D va donc bien au-delà des tests techniques ou des recherches en fiabilité du processus de production que nous considérons dans cette analyse (voir Org. pour la Coop. et le Dév. Eco. (2002) pour une définition de la R&D dans les enquêtes statistiques).

122. Pour les firmes faisant face à des risques catastrophiques ou désastres, ce pourcentage est beaucoup plus faible mais leur EBE est (50 fois) plus élevé.

C - Impact du régime de responsabilité civile sur le choix technologique

Dans le chapitre 3 nous avons montré de façon théorique [123] que le régime de responsabilité illimitée favorise l'adoption de la technologie procurant le plus faible EBE (par rapport au régime de responsabilité limitée, qui favorise plutôt la technologie procurant l'EBE le plus élevé). A présent, avec notre modèle numérique, nous pouvons tenter de "chiffrer" l'ampleur de la "force tempérante" du régime de responsabilité illimitée, notamment en regardant l'impact du régime de responsabilité sur le nombre de firmes optimistes/pessimistes.

Dans un premier temps, comparons la distribution des firmes optimistes et pessimistes au sein de l'industrie pour un niveau de dommage $D = 200$.

Tableau 3 : différentiel en nombres de firmes optimistes (UL-LL) pour D=200

Classe de risque	Scénario			
Risque catastrophique	S2, B- + 2 opt.	S3, B- + 1 opt.	S2, B+ - 2 opt.	S3, B+ - 1 opt.
Risque sérieux				
faible différence en EBE	S1, B- + 0 opt.	S3, B- + 0 opt.	S1, B+ + 0 opt.	S3, B+ + 0 opt.
forte différence en EBE	S2, B- + 8 opt.	S3, B- + 4 opt.	S2, B+ - 10 opt.	S3, B+ - 32 opt.

Dans ce tableau nous présentons les différences en nombres de firmes optimistes, dans différents cas, entre le régime de responsabilité illimitée (UL) et le régime de responsabilité limitée (LL) pour $D = 200$. Pour cela, nous comparons dans chaque cas la valeur de $\breve{\alpha}^U$ à la valeur de $\breve{\alpha}^L$. Par exemple, considérant le scénario "S2, B-" en présence d'un risque catastrophique, nous avons : $\breve{\alpha}^U = 0,3519$ en UL, et $\breve{\alpha}^L = 0,3333$ en LL. Dans ce cas, il y a donc 2 optimistes [124] de plus en responsabilité illimitée qu'en responsabilité limitée. Les valeurs de $\breve{\alpha}^U$ et de $\breve{\alpha}^L$ sont calculées numériquement grâce au Solveur d'Excel, en résolvant l'équation suivante (exemple pour $\breve{\alpha}^U$) :

$$\hat{p}_B(\breve{\alpha}^U) - p_B^{TU} = 0$$
$$\Leftrightarrow P^U(h, \breve{\alpha}^U)(\breve{\alpha}^U p_B^H + (1 - \breve{\alpha}^U)p_B^{TU}) + (1 - P^U(h, \breve{\alpha}^U))(\breve{\alpha}^U p_B^{TU} + (1 - \breve{\alpha}^U)p_B^L)$$
$$-p_B^{TU} = 0$$

123. Voir notamment les Lemmes 2 et 3 et les Propositions 5 et 6.

124. Etant donné notre distribution de α (α variant de 0,01 à 0,99 avec un pas de 0,01, en considérant une firme par valeur de α), le "dernier" optimiste en UL se situe à $\alpha = 0,35$ tandis que le dernier optimiste en LL se situe en $\alpha = 0,33$.

i.e. $\breve{\alpha}^U$ est défini de façon à rendre la firme (avant réception d'information) indifférente entre les deux technologies ; sa croyance à propos de p_B est égale à p_B^{TU}.

Considérant les cas de risques sérieux, nous pouvons constater qu'en présence d'EBE très proches (entre les deux technologies) la distribution optimistes/pessimistes est identique quel que soit le régime de responsabilité : les deux technologies ayant des caractéristiques productives très proches, les probabilités-seuil p_B^{Tk} déterminant le choix technologique sont proches de p_A.[125] Une faible variation en coût du risque (variation de $\hat{p}_B$ par rapport à p_A) est alors déterminante dans le choix technique. Il en découle la Remarque suivante.

Remarque 3 *En présence de risques sérieux, si les deux technologies fournissent des EBE très semblables, alors le régime de responsabilité illimitée permet de fournir des incitations plus importantes à la recherche d'informations sans distordre le comportement des firmes en termes de choix technologique par rapport à celui prévalant en présence d'un régime de responsabilité limitée.*

Pour une différence plus importante en EBE, les probabilités-seuil s'éloignent de p_A. Nous retrouvons alors l'effet de la "force tempérante" du régime de responsabilité illimitée (décrite dans le chapitre 3), qui facilite l'adoption de la technologie la plus désavantagée en termes d'EBE : il y a en effet plus d'optimistes en UL (qu'en LL) lorsque l'EBE de B est faible, et moins d'optimistes en UL lorsque l'EBE de B est élevé.

En présence de risques catastrophiques, nous constatons une différence plus importante dans les distributions des types de firmes (par rapport aux cas de risques sérieux avec une faible différence en EBE[126]). Pour chaque type de risque, l'ampleur relative du dommage est équivalente (et faible, deux fois l'EBE), mais les risques catastrophiques sont associés à des probabilités plus faibles que les risques sérieux : le coût du risque est alors relativement plus faible pour une firme soumise à un risque catastrophique. Dès lors, la différence en EBE entre les deux technologies est relativement plus forte, ce qui accentue l'effet de "force tempérante" du régime de responsabilité illimitée.

125. Pour rappel, dans le chapitre 3 nous avons démontré que lorsque $W_A = W_B$, alors $p_B^{TL} = p_B^{TU} = p_A$ (voir Lemme 2, point (ii)).
126. Seul dans ce cas les différences en EBE sont similaires entre les deux classes de risques, permettant une comparaison toutes choses égales par ailleurs.

Tableau 4 : différentiel dans le nombre de firmes optimistes (UL-LL) pour D=1500

Classe de risque	Scénario			
Risque catastrophique	S2, B- + 3 opt.	S3, B- + 3 opt.	S2, B+ - 3 opt.	S3, B+ - 2 opt.
Risque sérieux				
faible différence en EBE	S1, B- + 1 opt.	S3, B- + 0 opt.	S1, B+ + 0 opt.	S3, B+ + 0 opt.
forte différence en EBE	S2, B- + 13 opt.	S3, B- + 8 opt.	S2, B+ - 18 opt.	S3, B+ - 44 opt.

Dans ce tableau, nous renouvelons l'exercice mais avec un niveau de dommage plus important (D=1500). Plus l'ampleur du dommage est importante, plus grande est la différence entre les deux régimes de responsabilité en termes de distribution des types de firmes. En effet, une hausse de D accroît l'importance relative du coût du risque en responsabilité illimitée (alors qu'elle ne varie pas en responsabilité limitée). L'impact d'une différence en EBE entre les deux technologies est alors atténué : la force tempérante de la responsabilité illimitée est renforcée.

Concernant l'impact du régime de responsabilité sur la distribution des firmes optimistes/pessimistes, nous pouvons synthétiser nos résultats de la manière suivante.

Résultat 7 *Considérons une industrie à haut risque (firmes potentiellement insolvables) faisant face à deux technologies procurant des EBE différents, l'une d'entre elles étant caractérisée par un risque imprécis.*

(i) Plus grande (plus faible) est la différence en EBE entre les deux technologies, plus grande (plus faible) est la différence de distribution des firmes optimistes/pessimistes entre les deux régimes de responsabilité.

(ii) Plus faibles (plus importantes) sont les valeurs des probabilités d'accident, plus grande (plus faible) est la différence de distribution des firmes optimistes/pessimistes entre les deux régimes de responsabilité.

(iii) Plus grande (plus faible) est l'ampleur du dommage potentiel, plus forte (plus faible) est la différence de distribution des firmes optimistes/pessimistes entre les deux régimes de responsabilité.

4 Discussion et conclusion

A présent, nous proposons de discuter davantage de certains résultats de façon à ébaucher quelques recommandations pour l'aide à la décision.

Dans un premier temps, considérons un Décideur/Régulateur public dont l'unique (ou principal) objectif est de promouvoir la recherche d'informations supplémentaires sur le risque imparfaitement connu (non prise en compte de l'impact du régime de responsabilité sur le choix technique). Le régime de responsabilité illimitée est alors préférable du moment que le montant du dommage potentiel est suffisamment important (au-delà des capacités financières de la firme).

Cependant, il convient de garder à l'esprit les limites des incitations fournies par la responsabilité. Ainsi nous avons montré que la responsabilité, telle qu'envisagée dans cette étude (règle de responsabilité sans faute appliquée à deux régimes différents), peine à founir des incitations à rechercher davantage d'informations aux firmes caractérisées par des comportements parmi les plus "extrêmes" à l'égard de l'ambiguïté (optimisme/pessmisme extrêmes). Or, il est possible que le Régulateur souhaite avant tout influer sur le comportement de ces types de firmes qui, selon les cas, ne voient pas le danger ou, au contraire, ne voient pas les opportunités de le réduire. A cet égard, l'application d'une règle de négligence *complète* au sens de Shavell (1992) (définie dans le chapitre 1, sous-section 2.3) pourrait constituer un premier élément de réponse : en accordant une exemption de responsabilité aux firmes ayant investi en recherche d'informations, cette règle pourrait fournir des incitations plus importantes à investir. En outre, comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 3, une telle règle pourrait être accompagnée de conditions supplémentaires relatives au choix technnologique : en soumettant l'accès à l'exemption de responsabilité à l'adoption d'une technologie particulière en cas de réception d'un signal donné, d'une fiabilité donnée, le Régulateur pourrait notamment prévenir une situation dans laquelle une firme "trop" optimiste adopte la nouvelle technologie malgré un signal, de fiabilité assez importante, indiquant la dangerosité de cette dernière.

Mais, comme nous l'avons déjà mentionné à plusieurs reprises, l'application d'une règle de négligence est soumise à de nombreux coûts. D'abord elle suppose des coûts informationnels en termes de définition et de vérification de la bonne application des standards de prévention. Mais cette règle peut aussi engendrer un autre coût social lié à l'allocation des coûts du dommage, dans la mesure où ce dernier est entièrement supporté par les victimes (ou la Société) lorsque les firmes ont adopté une attitude conforme

au standard de prévention. Par conséquent, même si une règle de négligence complète parvenait à fournir davantage d'incitations aux firmes à se comporter de façon précautionneuse, la question de l'arbitrage entre précaution et équité devrait être analysée. Face aux difficultés à fournir des incitations, notamment aux firmes ayant des comportements "extrêmes" à l'égard de l'ambiguïté, il pourrait alors être souhaitable d'assister la responsabilité par d'autres dispositifs incitatifs comme, par exemple, l'application *ex ante* de réglementations et protocoles sécuritaires soumis à audits aléatoires.

Au-delà de l'impact sur l'incitation à rechercher de l'information, nous avons montré (dans la lignée des travaux théoriques menés dans le chapitre précédent) que la responsabilité a un impact sur le choix technologique. Il est imaginable que, face à une telle situation d'imprécision concernant le risque d'accident associé à l'utilisation d'une nouvelle technologie, le Régulateur public souhaite avant tout promouvoir des comportements *précautionneux* en incitant les firmes à rechercher davantage d'informations avant d'effectuer tout choix technique. En effet, face à une telle situation, le Régulateur peut être *a priori* indécis quant à une éventuelle technologie à promouvoir, et ne pas vouloir trop influer sur le comportement des firmes à cet égard. Par ailleurs, le Régulateur peut ne disposer d'aucune information quant aux caractéristiques productives des technologies (EBE), du moins concernant la nouvelle technologie, l'empêchant alors d'influer sur le choix technique via le système de responsabilité (comme nous l'avions montré dans le chapitre 3). Néanmoins, en synthétisant les résultats de ces deux chapitres, nous pouvons mettre en avant le fait que le régime de responsabilité illimitée, associant un impact relativement faible sur les comportements en matière de choix technologique (pour des caractéristiques productives données, et par rapport au régime de responsabilité limitée) à une incitation plus importante à investir en recherche d'informations, peut être doté de qualités recherchées par un Régulateur précautionneux et manquant d'informations.

Le travail mené dans ce chapitre et dans le chapitre 3 a pour principal objectif d'étudier le comportement de firmes issues de secteurs à hauts risques faisant face à l'arrivée d'une nouvelle technologie exploitable mais dont le risque d'accident est encore imparfaitement connu. Après avoir étudié dans le chapitre 3 le comportement des firmes en matière de choix technologique à information donnée, l'analyse menée au cours de ce

chapitre s'est focalisée sur l'étude des efforts à investir dans un processus de recherche d'informations supplémentaires à propos du risque imparfaitement connu.

L'ensemble de ce travail est motivé par les préoccupations croissantes de la Société à l'égard des questions environnementales, et notamment des risques d'accident face à l'occurrence de certaines catastrophes (comme l'explosion de l'usine AZF à Toulouse en 2001). Ces préoccupations ont été récemment ravivées par l'émergence de nouvelles technologies (nous avons notamment cité l'exemple des nanotechnologies), qui ont parfois été introduites alors que des controverses existent toujours quant à la nature du risque qu'elles représentent, tant au cours du processus de production (risque d'explosion de nuages de nanoparticules,...) qu'au cours de la consommation de certains biens transformés (effets de la pénétration des nanoparticules dans l'organisme,...). Ainsi, des risques technologiques peuvent être imparfaitement connus, notamment lors de l'introduction de technologies nouvelles. Néanmoins il peut parfois être possible, via des processus de R&D ou des tests techniques / de sécurité, de se procurer des éléments d'informations supplémentaires afin de mieux cerner la nature véritable du risque. C'est ainsi que l'Autorité de Sûreté Nucléaire française somma EDF en novembre 2009 de procéder à des recherches d'informations supplémentaires avant d'introduire la technologie nucléaire EPR, qui faisait l'objet de controverses concernant la fiabilité de son système de sécurité. Une telle demande peut alors se rapprocher d'une certaine application du Principe de Précaution. C'est aussi en ce sens que notre étude est motivée : rechercher, via le système de responsabilité civile, un moyen d'inciter les firmes à rechercher davantage d'informations avant d'utiliser une technologie dont le risque d'accident demeure imparfaitement connu, et connaître l'attitude des firmes après réception d'informations nouvelles.

Dans ce chapitre, nous montrons que le régime de responsabilité illimitée fournit davantage d'incitations à investir en recherche d'informations que le régime de responsabilité limitée dès lors que l'ampleur du dommage est suffisamment élevée, mais aussi que la seule responsabilité peut être insuffisante notamment en présence d'attitudes extrêmes à l'égard de l'ambiguïté. Mais l'influence de la responsabilité doit se mesurer sur l'ensemble du processus de décision : information et choix technique. Concernant le choix technique, nous montrons que le régime de responsabilité illimitée tempère l'attrait

d'une technologie par rapport à une autre en termes de revenu d'activité plus important (par rapport au régime de responsabilité limitée). En outre, si les probabilités sont très faibles, une faible différence de coût entre les deux technologies peut donner un avantage irrémédiable à l'une sur l'autre. Tout comme en présence de comportements extrêmes à l'égard de l'ambiguïté, le système de responsabilité peine alors à influer sur le choix technique.

Nous avons choisi de mesurer l'incitation à rechercher de l'information à l'aide d'un modèle numérique, calibré à partir de données issues du secteur chimique et de la législation française relative aux installations classées. Ce modèle constitue alors une application particulière et ne doit être vu que comme un premier travail exploratoire sur l'impact de la responsabilité civile sur les décisions des firmes opérant dans des secteurs à hauts risques, face à une situation ambigüe. Il permet de donner quelques indications sur l'ampleur des incitations fournies par cet outil, et donne un premier aperçu de ces faiblesses, des situations où il peut être nécessaire de l'assister par d'autres dispositifs incitatifs. La portée des résultats est donc limitée dans la mesure où les données sont attachées à un secteur particulier et que d'autres systèmes de responsabilité, notamment basés sur des règles de négligence, n'ont pas été étudiés.

A présent, après avoir étudié au cours des trois chapitres précédents la problématique du choix technologique en situation risquée puis en situation ambigüe, nous essayons d'aller plus loin dans notre réflexion en étudiant l'impact de la responsabilité sur l'incitation cette fois à *innover*, à entreprendre des activités de R&D visant à mettre au point une technologie moins risquée. En effet jusqu'à présent nous avons supposé que la technologie nouvellement disponible était exploitable, que le processus de R&D était achevé (du moins d'un point de vue productif). Dans le dernier chapitre de cette thèse, nous allons étudier les incitations que peut fournir le système de responsabilité civile à s'engager dans un processus de R&D afin de mettre au point cette fois une technologie de production moins risquée.

Chapitre 5
Responsabilité et innovation : à propos de l'importance de la nature de l'innovation et du rôle du Régulateur

1 Introduction

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1 (section 3), l'innovation est reconnue comme un facteur clé dans de nombreux domaines de l'économie, et notamment en économie de l'environnement. En effet nous avons pu constater que, dans ce champ de l'analyse économique, toute une littérature s'est développée dans le but de chercher, dans divers contextes, la configuration optimale des instruments de politique environnementale (taxe sur les émissions, PEN,...) en vue de concilier l'impérative réduction des émissions polluantes à la nécessaire promotion du progrès technique.
Néanmoins, à notre connaissance, avant les contributions récentes d'Alfred Endres et co-auteurs (et plus particulièrement Endres & Bertram (2006) et Endres *et al.* (2008)), la responsabilité civile n'avait pas été reconnue comme un outil permettant de promouvoir le changement technologique [127], c'est-à-dire incitant les firmes à adopter ou à concevoir une nouvelle technologie permettant d'améliorer l'efficacité des efforts fournis en matière de réduction du risque [128] supporté.

Cependant l'exploration de cette nouvelle voie de recherche, à la croisée de contributions en analyse économique de la responsabilité civile et en économie de l'environnement, est récente et il est nécessaire, à plusieurs égards, de compléter les travaux réalisés jusqu'à présent.

Tout d'abord, Endres *et al.* (2008) considèrent une industrie composée de firmes symétriques, ayant toutes les mêmes capacités en matière d'innovation. Ainsi, cette étude se concentre uniquement sur le processus de R&D, en comparant les incitations à s'engager dans un tel processus lorsque les firmes sont soumises à la présence d'*input spillovers* (durant la phase de recherche). Mais une telle approche peut susciter deux remarques. D'une part, Endres *et al.* (2008) laissent de côté la phase de diffusion de l'innovation à des firmes n'ayant pas les mêmes capacités en matière de R&D. Or, la présence d'inégalités en termes de capacités à s'engager dans des activités de R&D, et la possibilité de diffusion (moyennant rétribution) qu'elle offre, constituent l'une des principales motiva-

127. Exception faite de certaines contributions dans le cadre de la responsabilité-produit, mais ces analyses ne sont pas applicables à notre objet d'étude. Voir la discussion dans le chapitre 1, sous-section 3.3.
128. Pour rappel, Endres & Bertram (2006) et Endres *et al.* (2008) considèrent une pollution, mais leur cadre d'analyse est transposable à l'étude de risques technologiques (voir chapitre 1, sous-section 3.3.)

tions à innover. Endres & Friehe (2011) se penchent sur la question de la diffusion d'une nouvelle technologie (d'abattement de pollution) mais, comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, cette analyse considère un contexte particulier ne pouvant être appliqué à la prévention des risques technologiques (*nonpoint source pollution*). En outre, l'analyse développée dans Endres & Friehe (2011) pose comme hypothèse que l'ampleur maximale des *spillovers*, intervenant après mise au point de l'innovation (*output spillovers*), est choisie par la firme innovante : contrairement à ce qui prévaut habituellement dans les travaux consacrés aux activités de R&D (voir par exemple Martin (2002)), les *output spillovers* sont traités comme une variable de décision et non comme une externalité subie.

D'autre part, Endres *et al.* (2008) (comme certaines études en économie industrielle : Hartwick (1984), d'Aspremont & Jacquemin (1988),...) considèrent la présence d'input spillovers comme une "malédiction", subie par la firme, qui la désincite à innover. Cependant, un certain nombre d'analyses en économie de l'innovation et en économie de la science considèrent les input spillovers comme une nécessité à l'aboutissement d'un processus onéreux, complexe et incertain ; et non comme une entrave à l'innovation (voir par exemple Dasgupta & David (1994), Diamond (1996), Callon (1999), Depret & Hamdouch (2009)). En effet, selon ces analyses la mise au point d'une innovation nécessite des contributions issues d'une multitude d'acteurs différents ; le succès de l'innovation étant conditionné au bon agrégat de ces différentes contributions. Les input spillovers (appelés *knowledge spillovers* dans ces analyses) sont alors perçus comme une nécessité durant la phase de recherche, permettant de mener à bien cette nécessaire "catalyse" [129]. Loin d'être vus comme une malédiction frappant automatiquement toute firme cherchant à innover, les input spillovers sont alors perçus comme un phénomène qu'il faut chercher à faire émerger et à entretenir au sein d'un "monde de la science" (Dasgupta & David (1994)) composé d'une multitude d'acteurs complémentaires, dont l'interaction est une nécessité à l'aboutissement de l'innovation.

Enfin nous pouvons noter que, comme dans les analyses menées en économie de l'environnement, Endres *et al.* (2008) considèrent uniquement des innovations permettant de

129. Certains auteurs plaident même pour la proximité géographique des différents acteurs impliqués dans le processus de recherche, cette proximité devant faciliter un rapprochement organisationnel et cognitif permettant de faciliter la nécessaire catalyse de leurs différentes contributions à l'innovation (voir Audretsch & Feldman (1996), Feldman (1999), Depret & Hamdouch (2009)). Ils distinguent le "monde de la science" du "monde de la technologie", composé de firmes commercialisant les innovations et voulant imposer leurs standards (voir Dasgupta & David (1994), Diamond (1996), Callon (1999)).

réduire le coût de mise en oeuvre des mesures visant à réduire le risque (ou la pollution). Dans ce contexte, ils comparent règle de responsabilité sans faute et règle de négligence en termes d'incitations à prévenir le risque et à mettre au point une technologie de prévention plus efficace. Cependant, comme nous le verrons au cours de ce chapitre, lorsque l'on étudie la responsabilité civile comme outil aidant à promouvoir l'innovation, le *type* d'innovation qui peut (potentiellement) être mise au point est une caractéristique de la plus grande importance. Dans un contexte de régulation d'un risque technologique, nous pouvons en effet imaginer que le progrès technique apporté par l'innovation se traduise par une réduction du coût de mise en oeuvre des mesures de prévention du risque (comme envisagé par Endres *et al.* (2008)), ou par une plus grande efficacité de ces mesures de prévention à réduire le niveau du risque, voire les deux à la fois. Or, selon le type d'innovation envisagée, nous montrerons que les performances relatives des règles de responsabilité (dans leur double objectif de prévention du risque et d'incitation à l'innovation) sont différentes.

Au final, l'analyse que nous présentons dans ce chapitre considère à la fois les questions d'innovation et de diffusion technologique puisque l'économie considérée est constituée de firmes ayant des capacités différentes à l'égard des activités de R&D, la firme dite innovante ayant alors la possibilité de diffuser son innovation à la firme dite non-innovante.

Tout comme dans Fischer *et al.* (2003) et Endres & Friehe (2011), nous considérons la présence de spillovers en aval du processus de R&D (une fois que l'innovation est mise au point) mais, contrairement à ce qui est admis dans Endres & Friehe (2011), nous conservons la vision traditionnelle des *output* spillovers comme étant une externalité négative. En revanche, contrairement à Endres *et al.* (2008), nous n'intégrons pas de spillovers durant le processus de mise au point de l'innovation : étant donné que la présence d'*input* spillovers, vue comme un problème désincitant à l'innovation, est remise en cause par certaines contributions en économie de l'innovation et en économie de la science, nous préférons focaliser notre analyse sur les problèmes incitatifs situés en aval du processus de mise au point de l'innovation.

Considérant le travail précurseur de Endres *et al.* (2008), nous analyserons tout comme lui l'impact des règles de responsabilité sans faute et de négligence en termes d'incita-

tions à prévenir le risque et à mettre au point une technologie de prévention plus efficace. Cependant, nous considérons une innovation ayant un *double impact* sur la technologie de prévention du risque : au lieu de considérer uniquement une innovation permettant de réduire le *coût* de prévention du risque, nous considérons une innovation ayant aussi un impact sur la *probabilité* d'occurrence d'un dommage. Nous montrerons alors que la responsabilité civile, lorsqu'elle est utilisée également comme un outil permettant de promouvoir l'innovation, est sensible au *type* d'innovation pouvant être mise au point. Ainsi, nous trouvons qu'en présence d'une "innovation-coût" (ayant uniquement un impact sur le coût de prévention, et non la probabilité d'accident) la règle de négligence est préférable à la règle de responsabilité sans faute, tandis que l'efficience de la règle de responsabilité sans faute s'accroît à mesure que la part du progrès technique allouée à la réduction de la probabilité d'accident s'accentue ; la règle de responsabilité sans faute étant préférable lorsque l'innovation permet uniquement de réduire la probabilité d'accident.

L'analyse est décomposée de la manière suivante. La deuxième section présente les hypothèses du modèle ainsi que l'équilibre socialement souhaitable. Les sections 3 et 4 procèdent à l'analyse comparative, en exposant respectivement le cas où les firmes sont soumises à une règle de responsabilité sans faute puis le cas où une règle de négligence est en vigueur. La dernière section conclut le chapitre et présente quelques pistes de réflexions futures.

2 Un modèle d'innovation à double impact

Dans un premier temps, nous allons exposer les hypothèses du modèle avant de présenter en détails le calendrier des décisions. Nous terminerons cette section par l'analyse du comportement socialement souhaitable, qui nous permettra de juger de l'optimalité relative de chaque règle de responsabilité que nous comparerons dans la section suivante.

2.1 Hypothèses de base

Considérons une Société composée de deux firmes neutres au risque, ces firmes ne se faisant pas concurrence sur le marché des biens produits. Néanmoins, chacune de ces

deux firmes exerce une activité pouvant infliger un dommage D à la Société. Considérons que chaque firme est initialement dotée d'une technologie de prévention du risque, notée A, lui permettant de réduire la probabilité d'accident $p_A(x)$ grâce à l'application de mesures de prévention x ($\frac{\partial p_A(x)}{\partial x} < 0$, $\frac{\partial^2 p_A(x)}{\partial x^2} > 0$), moyennant un coût $c_A(x)$ ($\frac{\partial c_A(x)}{\partial x} > 0$, $\frac{\partial^2 c_A(x)}{\partial x^2} > 0$).

Cependant, l'une des deux firmes dispose d'une capacité d'innovation (firme I). Ainsi, en investissant un montant $e > 0$ dans un processus de R&D, il lui est possible de mettre au point une nouvelle technologie, notée B, plus efficace que la technologie A à deux égards :

1/ la technologie B est plus performante que la technologie A en termes d'efficacité des mesures de prévention à réduire la probabilité d'accident (efficacité dite "sécuritaire") : $\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial e} < 0$, $\frac{\partial^2 p_B(x,e)}{\partial e^2} > 0$, $\frac{\partial^2 p_B(x,e)}{\partial x \partial e} < 0$, $p_B(x, +\infty) > 0$, $p_B(x, 0) = p_A(x)$;

2/ la technologie B est plus performante que la technologie A en termes de moindre coût d'application des mesures de prévention (efficacité dite "de coût") : $\frac{\partial c_B(x,e)}{\partial e} < 0$, $\frac{\partial^2 c_B(x,e)}{\partial e^2} > 0$, $\frac{\partial^2 c_B(x,e)}{\partial x \partial e} < 0$, $c_B(x, +\infty) > 0 \ \forall x > 0$, $c_B(x, 0) = c_A(x)$.

Nous pouvons constater que pour $e = 0$ nous avons $p_B(x, 0) = p_A(x)$ et $c_B(x, 0) = c_A(x)$: la technologie B est identique à la technologie A, l'absence d'investissement en R&D ne permet pas d'améliorer la technologie existante. Ainsi, nous considérons ici le progrès technique comme étant uniquement une conséquence d'un processus de recherche nécessitant un investissement particulier, laissant ainsi de côté toute possibilité de progrès technique issu de l'expérience (*learning-by-doing*).

Lorsque la nouvelle technologie B est obtenue, la firme I a la possibilité de la breveter (sans coût) et de la vendre sous licence à l'autre firme, NI, qui n'a pas la capacité d'innover. Cependant, nous supposons que la firme NI est capable d'imiter imparfaitement la nouvelle technologie en contournant le brevet. Ainsi, la firme NI a la possibilité de mettre au point une technologie AB, plus efficace que A mais moins efficace que B, caractérisée par les fonctions suivantes :

$$p_{AB}(x) = \alpha p_B(x, e) + (1 - \alpha) p_A(x) \tag{50}$$

$$c_{AB}(x) = \alpha c_B(x, e) + (1 - \alpha) c_A(x) \tag{51}$$

L'efficacité de la technologie AB ("efficacité-sécuritaire" et "efficacité-coût") est com-

binaison linéaire de l'efficacité de la technologie A et de celle de la technologie B selon un coefficient α représentant la capacité d'absorption de la firme non-innovante ($\alpha \in]0,1[$). Cette capacité d'absorption représente la capacité de la firme NI à absorber les *output spillovers* produits par l'innovateur : plus α est élevé, plus NI est capable d'imiter la technologie B (plus la technologie AB est efficace).[130] De ce fait nous obtenons : $0 < p_B(x,e) < p_{AB}(x) < p_A(x) < 1$, $\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial x} < \frac{\partial p_{AB}(x)}{\partial x} < \frac{\partial p_A(x)}{\partial x} < 0$, et $0 < c_B(x,e) < c_{AB}(x) < c_A(x)$, $0 < \frac{\partial c_B(x,e)}{\partial x} < \frac{\partial c_{AB}(x)}{\partial x} < \frac{\partial c_A(x)}{\partial x}$, x donné.

Enfin, nous supposons qu'un régime de responsabilité illimitée prévaut, de sorte que l'intégralité des dommages causés est réparée en cas d'accident. Nous discuterons des implications liées à la prise en compte d'un régime de responsabilité limitée (lorsque les firmes sont insolvables en cas d'accident) en fin de chapitre.

A présent, avant de débuter notre analyse, il convient de porter un éclairage quant au calendrier des décisions.

2.2 Calendrier des décisions

Dans une première étape, la firme I choisit le montant e à allouer au processus de R&D. Pour $e > 0$, la technologie B est obtenue avec certitude[131] (pour $e = 0$, aucun progrès technique : seule la technologie A reste disponible).

Ensuite, la firme I propose sa nouvelle technologie B à la firme NI moyennant un prix Y. La firme NI choisit entre B et sa technologie alternative AB.

Enfin, chaque firme choisit le niveau de mesures de prévention x à appliquer.

Le modèle est résolu par induction à rebours.

A présent, il convient de déterminer le comportement socialement souhaitable (en termes d'investissement en R&D, de choix technologique et de niveau de prévention)

130. Cette notion peut être rattachée au concept de *absorptive capacity* développé par Cohen & Levinthal (1990), mais ce concept est introduit dans un cadre d'*input spillovers* et est fonction de l'expérience en R&D de la firme réceptrice des spillovers. Notons enfin que la capacité d'absorption telle que nous la décrivons peut être liée à la performance du système de brevet : plus ce dernier est facile à contourner, plus α est élevé.

131. Il est commun d'admettre un processus d'innovation déterministe, aboutissant avec certitude (voir Endres *et al.* (2008), Fischer *et al.* (2003)). Bien qu'étant irréaliste une telle hypothèse permet, au sein d'une analyse comparative comme celle-ci, de simplifier l'exposé des résultats sans perte de généralité.

avant de comparer les deux règles de responsabilité (responsabilité sans faute et règle de négligence).

2.3 Le comportement socialement souhaitable

Nous allons maintenant résoudre, à rebours, les trois étapes de ce modèle du point de vue du Régulateur public, ce dernier ayant pour objectif de minimiser le coût social de l'activité des deux firmes.

2.3.1 Détermination du niveau optimal de prévention

Considérons une firme adoptant la technologie A. Le niveau de prévention socialement souhaitable x_A^* est alors solution de :

$$\begin{aligned} &\min_{x_A} c_A(x_A) + p_A(x_A)D \\ &\Leftrightarrow -\frac{\partial p_A(x_A)}{\partial x_A}D = \frac{\partial c_A(x_A)}{\partial x_A} \end{aligned} \tag{52}$$

Si une firme adopte la technologie B, le niveau de prévention optimal x_B^* est solution de (pour e donné) :

$$\begin{aligned} &\min_{x_B} c_B(x_B, e) + p_B(x_B, e)D \\ &\Leftrightarrow -\frac{\partial p_B(x_B, e)}{\partial x_B}D = \frac{\partial c_B(x_B, e)}{\partial x_B} \end{aligned} \tag{53}$$

Ainsi, concernant la technologie B, la valeur de x_B^* dépend du montant e alloué au processus de R&D.

Avant de poursuivre l'analyse, il convient d'apporter une précision quant à la "double dimension" du problème de configuration de la technologie optimale de prévention du risque, similaire à celle exposée par Endres & Bertram (2006) et Endres *et al.* (2008) (présentés dans le chapitre 1, sous-section 3.3). Tout comme ce que l'on peut habituellement observer en économie de la responsabilité, la définition de la technologie optimale de prévention du risque passe par la fixation d'un niveau optimal de prévention x pour des fonctions $c(.)$ de coût en prévention et $p(.)$ de probabilité d'accident données. Cependant, notre analyse considère une seconde dimension dans la mesure où les fonctions de coût en prévention et de probabilité d'accident ne sont pas *données*, pas *immuables*.

Des fonctions optimales doivent être définies par la recherche d'un effort optimal en R&D (voir plus loin). Ainsi, pour tout $e = \hat{e} \geq 0$ *donné*, aboutissant à des fonctions $c_B(x, e = \hat{e})$ et $p_B(x, e = \hat{e})$ *données*, il existe un niveau de prévention x_B^* tel que défini selon (53) et permettant de minimiser la somme du coût du risque et du coût en prévention (associés à l'utilisation de cette technologie B). En revanche, considérant l'ensemble des possibilités technologiques offertes par la possibilité d'investir en R&D (i.e. considérant la technologie A et toutes les technologies B atteignables selon le montant e investi en R&D), il existe *un seul et unique* niveau de prévention optimal x_B^{**} minimisant la somme des coûts sociaux des activités des firmes. Ce niveau de prévention optimal x_B^{**} est une meilleure réponse aux fonctions $c_B(x, e = e^*)$ et $p_B(x, e = e^*)$, $e = e^* \geq 0$ étant l'effort optimal en R&D (défini plus loin). x_B^{**} est alors défini selon :

$$-\frac{\partial p_B(x_B, e = e^*)}{\partial x_B} D = \frac{\partial c_B(x_B, e = e^*)}{\partial x_B} \tag{54}$$

Autrement dit, x_B^{**} est le niveau de prévention optimal considérant des fonctions $c_B(x, e)$ et $p_B(x, e)$ caractérisées par $e = e_i^*$. [132] Le couple (x_B^{**}, e_B^*) est l'unique couple permettant de minimiser le coût social d'activité des firmes, étant donné l'ensemble des possibilités technologiques offertes via le choix de x et de e. Notons que si $e^* = 0$, alors la technologie optimale est A et nous obtenons $x_B^{**} = x_A^*$.

2.3.2 Choix technologique optimal

L'utilisation d'une technologie B est socialement préférable à l'utilisation de la technologie A [133] si :

$$c_B(x_B^{**}, e^*) + p_B(x_B^{**}, e^*)D < c_A(x_A^*) + p_A(x_A^*)D$$

Etant donné les caractéristiques de la technologie B (efficacité-sécuritaire et efficacité-coût), sa diffusion totale au sein de la Société est toujours désirable (dès lors que $e^* > 0$).

132. x_i^{**} est équivalent à x_i^* pour la cas particulier $e = e^*$.
133. Rappelons que la technologie A correspond à la technologie B pour le cas particulier $e = 0$.

2.3.3 Investissement optimal en R&D

D'un point de vue social, l'investissement optimal e^* en R&D répond au problème suivant :

$$\min_e 2[c_B(x_B^*, e) + p_B(x_B^*, e)D] + e$$

et nous obtenons e^* tel que :

$$-2\frac{\partial c_B(x_B^*, e^*)}{\partial e} - 2\frac{\partial p_B(x_B^*, e^*)}{\partial e}D = 1 \tag{55}$$

Supposons que cette condition est satisfaite pour un niveau $e = e^* > 0$, de sorte que la technologie A doive être abandonnée et remplacée par la nouvelle technologie B.

A présent que les comportements socialement souhaitables sont définis, nous pouvons procéder à l'analyse comparative des deux règles de responsabilité.

3 Comportements en présence d'une règle de responsabilité sans faute

Rappelons qu'en présence d'une règle de responsabilité sans faute, une firme est automatiquement reconnue responsable de tout accident dont son activité est la cause, quel que soit son comportement en matière de prévention ou d'innovation. Les choix des firmes sont alors les suivants.

3.1 Comportements en matière de prévention

Pour des fonctions $c_B(., e)$ et $p_B(., e)$ données ($e > 0$ donné) et en l'absence de toute contrainte d'insolvabilité, la littérature en économie de la responsabilité [134] a établi que la règle de responsabilité sans faute amenait à des comportements de prévention socialement souhaitables ($x_B^{SL} = x_B^*$) [135]. Ainsi, le problème privé d'une firme se confond avec le problème social tel que défini par (53).
En revanche, pour la suite de l'analyse il convient de distinguer deux cas extrêmes :

134. Voir par exemple Shavell (1980), présenté dans le chapitre 1.
135. L'exposant SL indique les valeurs d'équilibre en responsabilité sans faute (*strict liability*).

1/ Cas d'une "innovation-coût" : $\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial e} = 0 \ \forall e$, $p_B(x,e) = p_A(x) = p(x)$:
Considérant le problème (53) avec une unique fonction $p(x_B)$ en lieu et place de $p_B(x_B, e)$, nous obtenons :

$$-\frac{\partial p(x_B)}{\partial x_B} D = \frac{\partial c_B(x_B, e^*)}{\partial x_B} \tag{56}$$

$$-\frac{\partial p(x_B)}{\partial x_B} D = \frac{\partial c_B(x_B, e^{SL})}{\partial x_B} \tag{57}$$

(56) définissant x_B^{**} et (57) définissant x_B^{SL}, tous deux en présence d'une innovation-coût.
Rappelons que pour tout $e > 0$ on obtient une technologie B caractérisée par $0 < c_B(x,e) < c_A(x)$ et $0 < \frac{\partial c_B(x,e)}{\partial x} < \frac{\partial c_A(x)}{\partial x}$. Sachant que la fonction $p(.)$ est identique aux deux technologies, on obtient alors :

$$x_B^{SL} > x_A^{SL}$$

puisque le coût marginal de prévention est moindre avec la technologie B alors que le bénéfice marginal est le même pour les deux technologies.
Dès lors, la nouvelle technologie entraîne une diminution du coût espéré en réparation (i.e. $p(x_B^{SL})D < p(x_A^{SL})D$), mais l'évolution du coût en prévention est incertaine, le signe de $c_A(x_A^{SL}) - c_B(x_B^{SL}, e^{SL})$ étant indéterminé puisque nous avons à la fois $c_B(x, e^{SL}) < c_A(x)$ et $x_B^{SL} > x_A^{SL}$ ($\forall\ e^{SL} > 0$).

2/ Cas d'une "innovation-sécuritaire" : $\frac{\partial c_B(x,e)}{\partial e} = 0 \ \forall e$, $c_B(x,e) = c_A(x) = c(x)$:
Considérant le problème (53) avec une unique fonction $c(x_B)$ en lieu et place de $c_B(x_B, e)$, nous obtenons :

$$-\frac{\partial p_B(x_B, e^*)}{\partial x_B} D = \frac{\partial c(x_B)}{\partial x_B} \tag{58}$$

$$-\frac{\partial p_B(x_B, e^{SL})}{\partial x_B} D = \frac{\partial c(x_B)}{\partial x_B} \tag{59}$$

(58) définissant x_B^{**} et (59) définissant x_B^{SL}, tous deux en présence d'une innovation-sécuritaire. Pour tout $e > 0$ est obtenue une technologie B caractérisée par $0 < p_B(x,e) < p_A(x) < 1$ et $\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial x} < \frac{\partial p_A(x)}{\partial x} < 0$. Sachant que la fonction $c(.)$ est identique aux deux

technologies, il suit :

$$x_B^{SL} > x_A^{SL}$$

puisque la technologie B procure un bénéfice marginal de prévention plus élevé alors que le coût marginal est le même pour les deux technologies.
Dès lors, la nouvelle technologie entraîne une diminution du coût espéré en réparation (i.e. $p_B(x_B^{SL}, e^{SL})D < p_A(x_A^{SL})D$), mais conduit à une augmentation du coût en prévention puisque $c(x_A^{SL}) - c(x_B^{SL}) < 0$.

Dans un cadre plus général tel que défini par (53), dans lequel l'innovation modifie à la fois le coût en prévention *et* la probabilité de dommage, il est aisé de constater que la technologie B entraîne à la fois un accroissement du bénéfice marginal de la prévention (puisque $p_B(x,e) < p_A(x)$ et $\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial x} < \frac{\partial p_A(x)}{\partial x}$, $e > 0$) et une diminution de son coût marginal ($c_B(x,e) < c_A(x)$ et $\frac{\partial c_B(x,e)}{\partial x} < \frac{\partial c_A(x)}{\partial x}$, $e > 0$). Il en résulte $x_B^{SL} > x_A^{SL}$, entraînant une diminution du coût du risque mais aussi, tout comme en présence d'une innovation-coût, une incertitude quant à l'évolution du coût en prévention.

3.2 Choix technologique

Pour tout investissement $e > 0$ en R&D, la firme I dispose d'une nouvelle technologie B qu'elle peut vendre à la firme non-innovante, NI. Or, comme nous l'avons dit précédemment, cette dernière dispose d'une capacité d'imitation : sur la base des informations contenues, par exemple, dans le brevet de la technologie B, la firme NI est capable de développer sans coût une technologie alternative AB, plus efficace que A mais moins efficace que B. Par conséquent, le prix de vente maximal Y^{SL} de la technologie B est tel que :

$$\begin{aligned}
&E_{NI}[\tilde{C}_B^{SL}] = E_{NI}[\tilde{C}_{AB}^{SL}] \\
&\Leftrightarrow c_B(x_B^{SL}, e^{SL}) + p_B(x_B^{SL}, e^{SL})D + Y^{SL} = c_{AB}(x_{AB}^{SL}) + p_{AB}(x_{AB}^{SL})D \\
&\Leftrightarrow Y^{SL} = c_{AB}(x_{AB}^{SL}) - c_B(x_B^{SL}, e^{SL}) + D[p_{AB}(x_{AB}^{SL}) - p_B(x_B^{SL}, e^{SL})]
\end{aligned}$$

$E[.]$ étant l'opérateur espérance mathématique, $\tilde{C}$ dénotant le coût (aléatoire) d'activité de la firme.
Considérant les relations (50) et (51), nous obtenons :

$$Y^{SL} = Y^{SL}(\alpha) = (1-\alpha)(c_A(x_A^{SL}) - c_B(x_B^{SL}, e^{SL})) + D[(1-\alpha)(p_A(x_A^{SL}) - p_B(x_B^{SL}, e^{SL}))] \quad (60)$$

Nous pouvons constater que, pour $\alpha = 1$, la firme NI est parfaitement capable d'imiter la nouvelle technologie : elle n'a aucune volonté à payer pour l'acquérir, la firme I n'est pas en mesure de vendre son innovation ($Y^{SL}(\alpha = 1) = 0$). Etant donné notre cadre d'information parfaite, la firme I peut anticiper le comportement de la firme NI et fixer le prix de vente à son niveau maximal de façon à ce que NI soit indifférente entre les deux technologies ; auquel cas nous supposons qu'elle achète la technologie B. En revanche, la menace d'adoption d'une technologie alternative empêche la firme I de s'approprier l'ensemble du bénéfice que retire NI de l'adoption de la technologie B.

Concernant le niveau du prix maximal de vente, nous pouvons là encore distinguer les deux types extrêmes d'innovation :

1/ Cas d'une "innovation-coût" : $\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial e} = 0 \ \forall e$, $p_B(x,e) = p_A(x) = p(x)$:
Considérant (60), nous constatons $D[(1-\alpha)(p(x_A^{SL}) - p(x_B^{SL}))] > 0$ tandis que le signe de $(1-\alpha)(c_A(x_A^{SL}) - c_B(x_B^{SL}, e^{SL}))$ est incertain.

2/ Cas d'une "innovation-sécuritaire" : $\frac{\partial c_B(x,e)}{\partial e} = 0 \ \forall e$, $c_B(x,e) = c_A(x) = c(x)$:
Considérant (60), nous constatons $D[(1-\alpha)(p_A(x_A^{SL}) - p_B(x_B^{SL}, e^{SL}))] > 0$ tandis que $(1-\alpha)(c(x_A^{SL}) - c(x_B^{SL})) < 0$.

Dans un cadre plus général tel que défini par (60), nous retrouvons des conclusions similaires à celles d'une innovation-coût : la diminution du coût espéré en réparation, $D[(1-\alpha)(p_A(x_A^{SL}) - p_B(x_B^{SL}, e^{SL}))]$, entraîne une volonté de NI à payer pour acquérir la nouvelle technologie. En revanche, l'évolution du coût en prévention est incertaine dans la mesure où la fonction de coût de la nouvelle technologie est plus favorable ($c_B(.,e) < c_A(.)$) mais le niveau de prévention adopté est plus important ($x_B^{SL} > x_A^{SL}$). Cependant, étant donné que la technologie B est socialement souhaitable et que la règle

de responsabilité sans faute (et sans contrainte d'insolvabilité) entraîne une internalisation totale du risque, la diminution du coût espéré en réparation compense toujours l'accroissement éventuel du coût en prévention. Dès lors, $Y^{SL}(\alpha)$ est positif pour tout α inférieur à 1.

Remarque 1 : *en présence d'une règle de responsabilité sans faute, pour tout $\alpha < 1$, lorsque la nouvelle technologie est disponible ($e^{SL} > 0$), elle est diffusée à la firme NI.*

3.3 Investissement en R&D

Considérant les deux étapes précédentes, le problème de la firme I est le suivant :

$$\begin{aligned}
&\min_e c_B(x_B^{SL}, e) + p_B(x_B^{SL}, e)D - Y^{SL}(\alpha) + e \\
&\Leftrightarrow \min_e (2-\alpha)c_B(x_B^{SL}, e) - (1-\alpha)c_A(x_A^{SL}) \\
&+D[(2-\alpha)p_B(x_B^{SL}, e) - (1-\alpha)p_A(x_A^{SL})] + e
\end{aligned}$$

Dès lors, le niveau d'investissement d'équilibre e^{SL} est tel que :

$$-(2-\alpha)\frac{\partial c_B(x_B^{SL}, e^{SL})}{\partial e} - (2-\alpha)\frac{\partial p_B(x_B^{SL}, e^{SL})}{\partial e}D = 1 \tag{61}$$

Etant donné que, pour tout e, nous avons $x_i^{SL} = x_i^*$, nous pouvons émettre la remarque suivante.

Remarque 2 : *en l'absence de spillovers ($\alpha = 0$), le niveau d'investissement en R&D en présence d'une règle de responsabilité sans faute serait optimal ($e^{SL} = e^*$).*

En revanche, pour tout $\alpha > 0$, nous obtenons $e^{SL} < e^*$ puisque le bénéfice marginal de la R&D est moins important. Dès lors, considérant (53) et sachant $\frac{\partial^2 p_B(x,e)}{\partial x \partial e} < 0$ et $\frac{\partial^2 c_B(x,e)}{\partial x \partial e} < 0$, il suit $x_B^{SL} < x_B^{**}$. D'où la remarque suivante.

Remarque 3 : *en l'absence de spillovers ($\alpha = 0$), le niveau de prévention adopté en présence d'une règle de responsabilité sans faute serait optimal ($x_B^{SL} = x_B^{**}$). En revanche, pour tout $\alpha > 0$, le niveau de prévention est inférieur à l'optimum ($x_B^{SL} < x_B^{**}$).*

Considérant les deux types extrêmes d'innovation, nous obtenons :

1/ Cas d'une innovation-coût ($\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial e} = 0$) : e^{SL} tel que $-(2-\alpha)\frac{\partial c_B(x_B^{SL},e^{SL})}{\partial e} = 1$

2/ Cas d'une innovation-sécuritaire ($\frac{\partial c_B(x,e)}{\partial e} = 0$) : e^{SL} tel que $-(2-\alpha)\frac{\partial p_B(x_B^{SL},e^{SL})}{\partial e} = 1$

Dans chaque cas, la même remarque peut être établie : en l'absence de spillovers, la responsabilité sans faute est optimale tandis que la présence de spillovers entraîne un niveau de R&D inférieur à l'optimum [136].

Rassemblant les constats émis au travers des Remarques 1, 2 et 3, nous obtenons le résultat suivant.

Proposition 1

(i) En l'absence de spillovers, la règle de responsabilité sans faute induirait des comportements socialement souhaitables.

(ii) En présence d'une règle de responsabilité sans faute, du moment que la firme innovante a intérêt à innover et que la capacité d'absorption de la firme non-innovante n'est pas maximale ($\alpha < 1$), la nouvelle technologie est diffusée (à la firme non-innovante).

Ainsi, dans un contexte différent (possibilité de diffusion de l'innovation et innovation à double impact), nous retrouvons ici la même conclusion que Endres *et al.* (2008) : s'il n'y avait pas de spillovers, la règle de responsabilité sans faute serait optimale.

Suivant la même méthodologie, nous allons maintenant analyser la règle de négligence à l'aune des résultats obtenus précédemment en présence d'une règle de responsabilité sans faute.

4 Efficience relative de la négligence et rôle du Régulateur

Contrairement à ce qui prévaut en présence d'une règle de responsabilité sans faute, la reconnaissance de responsabilité en présence d'une règle de négligence n'est pas immédiate. Cette reconnaissance est soumise à la démonstration préalable que la firme

136. Il suffit de comparer les conditions de premier ordre de e^{SL} données juste avant par rapport à (55), en considérant $\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial e} = 0$ et $\frac{\partial c_B(x,e)}{\partial e} = 0$ respectivement pour une innovation-coût et une innovation-sécuritaire.

ayant causé le dommage ait été *négligente* au moment de l'accident, c'est-à-dire qu'elle ne s'est pas conformée à un standard ou à un niveau minimal d'engagement en matière de prévention. Par conséquent, le schéma de responsabilité est le suivant :

$$L(x_i, \bar{x}_i) = \begin{cases} 0 & si \quad x_i \geq \bar{x}_i \\ D & si \quad x_i < \bar{x}_i \end{cases}$$

$L(x_i, \bar{x}_i)$ étant le montant en réparation incombant à la firme en cas d'accident, selon son niveau de prévention x_i et le standard minimal de prévention $\bar{x}_i$ préalablement fixé par le Régulateur [137] pour la technologie $i = A, B$. Nous pouvons constater que la firme bénéficie d'une exonération totale de responsabilité dès lors qu'elle adopte un niveau de prévention supérieur ou égal au standard $\bar{x}_i$. Dans le cas contraire, une responsabilité totale prévaut, comme en responsabilité sans faute.

Dans la section 2 nous avons défini la spécificité de notre étude, par rapport aux analyses habituellement menées en économie de la responsabilité, en termes de "double dimension" de la configuration de la technologie optimale de prévention du risque. Nous avons montré que le comportement optimal en matière de prévention du risque ne réside pas uniquement dans la définition d'un niveau optimal de prévention, mais aussi dans le choix d'un effort optimal en R&D permettant de calibrer la performance de la technologie de prévention. A ce titre, mesures de prévention (x) et efforts en R&D (e) sont liés. Dès lors, dans le cadre de l'application d'une règle de négligence, le rôle du Régulateur est renforcé : outre son impact immédiat sur le comportement de prévention il peut, dans certains cas, influer sur l'effort d'innovation. Selon que le Régulateur tienne compte ou non de cette seconde influence qu'il peut avoir sur le comportement des firmes, nous ferons la distinction entre un Régulateur *proactif/leader* et un Régulateur *conformiste/follower*.

137. Notre concept de Régulateur est défini de manière très large : il est chargé à la fois de définir *ex ante* le standard de prévention, et de définir *ex post* la responsabilité éventuelle par rapport à ce standard. En pratique, ces deux fonctions peuvent être remplies par deux acteurs différents (agence de certification et Tribunal par exemple). Ici, dans un contexte d'information parfaite, nous considérons un unique Régulateur remplissant ces deux fonctions, sans perte de généralité.

4.1 Comportements en matière de prévention

Considérons dans un premier temps un Régulateur *conformiste*, ne tenant pas compte du lien existant entre prévention et innovation. Un tel Régulateur pourrait énoncer son application de la règle de négligence de la façon suivante : "Pour toute technologie $(c_B(.,e), p_B(.,e))$, e donné [138], il existe un niveau de prévention x_B^* permettant de minimiser le coût social de l'activité à risque. Toute firme causant un dommage sera reconnue responsable uniquement si le niveau de prévention adopté au moment de l'accident est strictement inférieur au standard $\bar{x}_B$ défini par $\bar{x}_B = x_B^*$ (pour ce niveau e donné)."

Etant donné l'absence de contrainte d'insolvabilité, nous avons montré dans la section 3 que, pour un investissement e donné en R&D, le niveau de prévention x_B^* permettant de minimiser le coût social d'activité de la firme est celui qui est spontanément adopté par les firmes en présence d'une règle de reponsabilité sans faute ($x_B^{SL} = x_B^*$). En outre il faut rappeler que, dans le cadre d'une règle de négligence, les firmes ne se conformant pas au standard de prévention sont reconnues responsables du dommage au même titre qu'en présence d'une règle de responsabilité sans faute ; elles adoptent alors un niveau de prévention $x_B = x_B^{SL}$ (pour un e donné). Par conséquent, comme l'a montré Shavell (1980), des firmes non contraintes en termes de solvabilité ont toujours intérêt à adopter un standard de prévention égal à x_B^*, et nous avons ici $\bar{x}_B = x_B^* = x_B^{SL}$.

Remarque 4 : *pour une technologie $(c_B(.,e), p_B(.,e))$ donnée (e donné), la règle de responsabilité sans faute et la règle de négligence fournissent des incitations optimales en matière de prévention.*

4.2 Choix technologique

Reprenant le même raisonnement que celui mené en présence d'une règle de responsabilité sans faute, le prix de vente maximal Y^N de la technologie B ($e > 0$) en présence d'une règle de négligence est configuré de façon à ce que la firme NI soit indifférente entre acheter la nouvelle technologie B et adopter sa technologie alternative AB. Nous

138. Rappelons que pour $e = 0$ nous obtenons la technologie A.

avons alors [139] :

$$
\begin{aligned}
&E_{NI}[\tilde{C}_B^N] = E_{NI}[\tilde{C}_{AB}^N] \\
&\Leftrightarrow c_B(\bar{x}_B, e^N) + Y^N = c_{AB}(\bar{x}_{AB}, e^N) \\
&\Leftrightarrow Y^N = c_{AB}(\bar{x}_{AB}, e^N) - c_B(\bar{x}_B, e^N)
\end{aligned}
$$

Considérant les relations (50) et (51), nous obtenons :

$$Y^N = Y^N(\alpha) = (1-\alpha)(c_A(\bar{x}_A) - c_B(\bar{x}_B, e^N)) \tag{62}$$

Nous pouvons remarquer que, par rapport à $Y^{SL}(\alpha)$ (voir équation (60)), la valeur de $Y^N(\alpha)$ est indépendante du dommage D : lorsque les firmes se conforment au standard de prévention, elles sont exonérées de responsabilité. Dès lors, l'adoption de la nouvelle technologie ne permet plus, d'un point de vue privé, de bénéficier d'une diminution du coût du risque : l'innovateur ne peut plus inclure ce bénéfice dans la tarification de la nouvelle technologie. Quel est l'impact de cette spécificité ? Distinguons selon les deux types extrêmes d'innovation :

1/ Cas d'une innovation-coût ($\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial e} = 0, \forall e$) : dans ce cas, le prix de vente $Y^N(\alpha)$ s'écrit comme (62). Etant donné $\bar{x}_i = x_i^* = x_i^{SL}$ pour une technologie $i = A, B$ donnée (e donné) et $x_B^{SL} > x_A^{SL}$, la valeur de $(c_A(\bar{x}_A) - c_B(\bar{x}_B, e^N))$ est incertaine (puisque $\bar{x}_B > \bar{x}_A$ et $c_B(x,e) < c_A(x)$, $e > 0$). Dans le cas où la nouvelle technologie entraîne un accroissement du coût en prévention, la firme NI n'a aucune volonté à payer pour adopter cette nouvelle technologie.

2/ Cas d'une innovation-sécuritaire ($\frac{\partial c_B(x,e)}{\partial e} = 0, \forall e$) : dans ce cas nous obtenons $Y^N(\alpha) = (1-\alpha)(c(\bar{x}_A) - c(\bar{x}_B))$. Sachant $\bar{x}_B > \bar{x}_A$, la valeur de $Y^N(\alpha)$ est alors toujours négative : la firme NI n'a aucune volonté à payer pour la nouvelle technologie.

Dans un cadre plus général, admettant un impact sur le coût en prévention et sur la probabilité d'accident, nous obtenons une conclusion similaire à celle obtenue dans le cas d'une innovation-coût, puisque le coût du risque est externalisé et que l'innovation entraîne l'obtention d'une nouvelle fonction $c_B(.,e) < c_A(.)$.

139. L'exposant N indique les valeurs d'équilibre en négligence.

Remarque 5 : *en présence d'une règle de négligence, la diffusion de la nouvelle technologie n'est pas toujours possible. Lorsque l'innovation est uniquement une "innovation-sécuritaire", la diffusion de la nouvelle technologie est impossible.*

4.3 Investissement en R&D

Considérant les deux étapes précédentes, le problème de la firme I en présence d'un Régulateur conformiste est :

$$\min_e c_B(\bar{x}_B, e) - Y^N(\alpha) + e$$
$$\Leftrightarrow \min_e (2-\alpha)c_B(\bar{x}_B, e) - (1-\alpha)c_A(\bar{x}_A) + e$$

Le niveau d'investissement d'équilibre e^N est alors tel que :

$$-(2-\alpha)\frac{\partial c_B(\bar{x}_B, e^N)}{\partial e} = 1 \tag{63}$$

Lorsque l'on compare (63) à (55), il est facile de vérifier que la règle de négligence ne peut induire un niveau optimal d'investissement qu'en présence d'une innovation-coût ($\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial e} = 0, \forall e$) et en l'absence de spillovers.

Si nous considérons une innovation ayant un double impact, à la fois sur le coût de prévention et sur la probabilité d'accident, une partie des bénéfices sociaux de l'innovation n'est pas pris en compte par les firmes. En effet, lorsque les firmes se conforment au standard de prévention $\bar{x}_i$, $i = A, B$ (et nous avons vu que c'est toujours le cas ici), l'exemption de responsabilité qui s'ensuit entraîne une externalisation du coût du risque. Par rapport au bénéfice social, le bénéfice privé issu de l'adoption d'une technologie de prévention plus efficace s'en trouve alors réduit, ce qui conduit à des incitations sous optimales à investir en R&D.

Pour illustrer, considérons le cas limite où l'innovation est uniquement une innovation-sécuritaire ($\frac{\partial c_i(x,e)}{\partial e} = 0, \forall e$). Nous avons vu dans la sous-section précédente que $Y^N(\alpha) < 0$: la firme non-innovante n'a aucune volonté à payer pour la nouvelle technologie B. Sachant qu'il a intérêt à se conformer au standard de prévention pour bénéficier de

l'exemption de responsabilité en cas d'accident, le problème de l'innovateur est alors :

$$\max_{e} W - c(\bar{x}_B) - e$$

Nous savons que le niveau de prévention $x_B^{SL} = x_B^*$ est croissant avec le niveau d'investissement e (voir la sous-section 3.3). Sachant $\bar{x}_B = x_B^*$ pour un niveau d'investissement e donné, il s'ensuit que la sévérité du standard de négligence se renforce avec le degré d'avancée technologique. Par conséquent, lorsqu'une innovation-sécuritaire est considérée dans le cadre d'une règle de négligence, elle est perçue (d'un point de vue privé) comme étant uniquement synonyme d'un accroissement du coût de prévention ; l'exemption de responsabilité retirant tout bénéfice privé à la R&D. L'incitation à innover est nulle ($e^N = 0$), les deux firmes conservent la technologie A. Ainsi, la règle de négligence peut tant fournir des incitations optimales à la R&D en présence d'une innovation-coût (et sans spillovers), que ne fournir aucune incitation à l'innovation en présence d'une innovation-sécuritaire.

Dans une optique plus générale d'une innovation à double impact, la sous optimalité de la règle de négligence est croissante avec l'importance relative de l' "impact-sécuritaire" de l'innovation (i.e. l'importance de $|\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial e}|$), par rapport à son "impact-coût" (i.e. $|\frac{\partial c_B(x,e)}{\partial e}|$).
En effet, plus cet impact-sécuritaire est important, plus e^N dévie de e^*, et plus la technologie ($c_B(.,e^N)$, $p_B(.,e^N)$) est sous optimale. Il s'ensuit un hiatus plus important entre $\bar{x}_B$ (i.e. le niveau x_B^* associé à e^N) et x_i^{**} (i.e. le niveau x_B^* associé à e^*) puisque x_B^* est croissant en e. En outre, pour un niveau d'investissement e et un "impact-coût" $|\frac{\partial c_B(x,e)}{\partial e}|$ donnés, le niveau de prévention x_B^* correspondant est d'autant plus important que l'impact-sécuritaire est important : le risque d'une négativité de la différence $c_B(\bar{x}_B, e^N) - c_A(\bar{x}_A)$ s'en trouve accru ce qui, comme en présence d'une innovation-sécuritaire, conduirait à $e^N = 0$.
En revanche, pour une capacité d'absorption α donnée, la règle de responsabilité sans faute permet une prise en compte par les firmes des bénéfices liés aux deux impacts de l'innovation : il suit $e^S > e^N$, et x_B^{SL} (x_B^* associé à e^{SL}) supérieur à $\bar{x}_B$ (x_B^* associé à e^N). La règle de responsabilité sans faute induit des comportements plus proches de l'optimum, d'où le résultat suivant :

Proposition 2 *Soit une règle de négligence en présence d'un Régulateur "conformiste".*

(i) L'incitation à innover ne peut être optimale qu'en présence d'une innovation-coût et en l'absence de spillovers ; dans ce cas responsabilité sans faute et négligence sont optimales.

(ii) Dans tous les autres cas (i.e. innovation à double impact ou innovation-sécuritaire), la responsabilité sans faute induit davantage d'innovation et de prévention que la règle de négligence : la responsabilité sans faute est socialement préférable à la règle de négligence.

Preuve : voir Appendice E, preuve 1. ♦

Ainsi, notre analyse rejoint celle de Endres *et al.* (2008) dans la mesure où, en présence d'une innovation impactant uniquement le coût de prévention du risque, règle de responsabilité sans faute et règle de négligence sont toutes deux équivalentes : optimales en l'absence de spillovers, et conduisant à des niveaux d'investissement et de prévention inférieurs à l'optimum en présence de spillovers. En revanche, contrairement à Endres *et al.* (2008), notre analyse montre que la sous optimalité de la règle de négligence se renforce à mesure que la part du progrès technique allouée à la réduction de la probabilité d'accident (impact-sécuritaire) se renforce.

A présent, nous allons analyser dans quelle mesure le comportement du Régulateur peut influer sur l'efficience de la règle de Négligence.

4.4 Négligence et Régulateur "proactif"

Revenons à présent quelques instants sur les comportements en matière d'innovation au travers des différentes règles de responsabilité. Le comportement socialement souhaitable, e^*, peut être décrit par (55), c'est-à-dire :

$$-2\frac{\partial c_B(x_B^*, e^*)}{\partial e} - 2\frac{\partial p_B(x_B^*, e^*)}{\partial e}D = 1$$

En responsabilité sans faute nous avons e^{SL} (équation (61)) tel que :

$$-(2-\alpha)\frac{\partial c_B(x_B^{SL}, e^{SL})}{\partial e} - (2-\alpha)\frac{\partial p_B(x_B^{SL}, e^{SL})}{\partial e}D = 1$$

Et en négligence, e^N (équation (63)) est tel que :

$$-(2-\alpha)\frac{\partial c_B(\bar{x}_B, e^N)}{\partial e} = 1$$

Nous pouvons remarquer que, lorsque l'impact de l'innovation sur la probabilité d'accident est négligeable (i.e. $\frac{\partial p_B(x,e)}{\partial e} \to 0$), ces trois conditions se rapprochent, et notamment les conditions prévalant en responsabilité sans faute et en négligence. Dès lors, en présence d'une innovation ayant *essentiellement* un impact sur le *coût* de prévention, il convient de vérifier si le résultat mis en avant par Endres *et al.* (2008) est applicable ou non à notre cadre d'analyse.

Dans cette analyse Endres *et al.* (2008) montre que, en présence de plusieurs firmes innovantes sujettes à des *input* spillovers et d'une innovation impactant uniquement le coût de prévention, une règle de négligence peut être socialement préférable à une règle de responsabilité sans faute *du moment que le Régulateur tient compte de la relation liant la décision de prévention (x) à la décision d'innovation (e).* Ainsi, considérant notre cadre d'analyse, au lieu de "subir" la décision d'investissement de la firme I et de configurer le standard de prévention pour une technologie ($c_B(.,e)$, $p_B(.,e)$) *donnée* (e donné), le Régulateur pourrait adopter un comportement *proactif* et être ainsi le *leader*[140] d'un jeu à la Stackelberg dans lequel il fixe un unique niveau de prévention $\bar{x}$, indépendamment de e, de façon à imposer de manière indirecte le montant e investi en R&D. Endres *et al.* (2008) montrent que la fixation d'un standard de négligence *légèrement supérieur au niveau de prévention qui prévaudrait en présence d'une règle de responsabilité sans faute* incite les firmes à investir davantage en R&D, et que cette situation conduit à une diminution du coût social d'activité : la règle de négligence est alors préférable à la règle de responsabilité sans faute[141].

Par conséquent, si le mécanisme identifié par Endres *et al.* (2008) est applicable à notre cadre d'analyse, mettant en scène des firmes ayant des capacités différentes en matière de R&D, la règle de négligence pourrait être préférable à la règle de responsabilité sans faute en présence d'une innovation-coût. Néanmoins lorsque l'innovation modifie aussi la probabilité d'accident, et à mesure que l'importance relative de cet impact s'accroît,

140. Nous pouvons qualifier le Régulateur conformiste (que nous considérons plus haut) comme étant un *suiveur* d'un jeu à la Stackelberg : il définit le standard de négligence en fonction de la technologie effectivement utilisée. Dès lors, la firme I fixe son effort en R&D en fonction de la réponse du Régulateur (en termes de standard de prévention), ce dernier suivant la décision d'investissement de I.

141. Voir Endres *et al.* (2008), Proposition 4.

il semble moins vraisemblable que la négligence puisse surpasser la responsabilité sans faute : en négligence, la non prise en compte du bénéfice de l'innovation en termes de réduction du coût du risque entraîne une sous optimalité accrue des incitations à innover par rapport à l'application d'une règle de responsabilité sans faute. Ceci peut alors entraîner l'adoption d'un niveau de prévention moins important qu'en responsabilité sans faute ; cette règle s'écartant du chemin socialement souhaitable uniquement du fait de la présence de spillovers. Considérant notre cadre d'analyse, et investigant dans la voie initiée par Endres *et al.* (2008) en termes de Régulateur "proactif", nous obtenons le résultat suivant.

Proposition 3 *Considérons un ensemble de possibilités technologiques* $(c_B(.,e), p_B(.,e))$*, l'effort* e *en R&D de la firme I ayant à la fois un "impact-coût" (i.e.* $|\frac{\partial c_B(.,e)}{\partial e}| \neq 0$*) et un "impact-sécuritaire" (i.e.* $|\frac{\partial p_B(.,e)}{\partial e}| \neq 0$*).*

Il existe une valeur critique de l'"impact-sécuritaire" de la R&D, $|\frac{\partial p_B(.,e)}{\partial e}|$*, relativement à son "impact-coût",* $|\frac{\partial c_B(.,e)}{\partial e}|$*, en deçà de laquelle une règle de négligence est socialement préférable à une règle de responsabilité sans faute. Au-delà de cette valeur critique, la responsabilité sans faute est préférable.*

Preuve : voir Appendice E, preuve 2. ♦

Détaillons quelque peu la méthodologie de cette démonstration. Dans un premier temps (point 1/ de la preuve) il est nécessaire de s'assurer que, dans le cadre d'une règle de négligence, une hausse de l'effort en R&D au-delà du niveau qui prévaudrait en présence d'une règle de responsabilité sans faute entraîne une diminution du coût social. Ensuite (point 2/), il convient de regarder s'il est possible (et sous quelles conditions), en présence d'une règle de négligence, de fournir davantage d'incitations à l'innovation qu'en responsabilité sans faute en fixant un standard de prévention *légèrement supérieur au niveau de prévention qui prévaudrait dans le cadre de l'application d'une règle de responsabilité sans faute*. Enfin (point 3/), il convient de s'assurer que la fixation d'un standard de prévention supérieur au niveau de responsabilité sans faute entraîne une diminution du coût social.

Synthétisant ces trois points, cette Proposition nous montre que lorsque l'innovation est *essentiellement* une innovation-coût (faible impact de l'innovation sur la probabilité

d'accident), nous retrouvons, dans notre contexte, le résultat principal de Endres *et al.* (2008) : un Régulateur "proactif" a la possibilité d'induire davantage d'investissements en R&D en appliquant une règle de négligence. Pour cela, il lui suffit de fixer un standard de prévention à un niveau *légèrement*[142] supérieur au niveau de prévention qui prévaudrait en responsabilité sans faute. Et ceci permet de réduire le coût social des activités.

En revanche, lorsque l'impact de l'innovation sur la probabilité d'accident est trop important (par rapport à l'impact sur le coût de prévention), le différentiel entre responsabilité sans faute et règle de négligence en termes d'incitation à innover devient trop important. Il est alors impossible de faire adopter un standard de prévention plus important que le niveau de prévention prévalant en responsabilité sans faute ; un tel niveau de prévention est trop coûteux à adopter étant donné l'avancée technologique qu'il est possible d'atteindre en présence d'une règle de négligence (selon les incitations à la R&D que cette règle fournit). En présence d'une telle innovation à double impact, le mécanisme mis en avant par Endres *et al.* (2008) ne tient pas. Une responsabilité sans faute est alors préférable, car seuls de faibles standards de prévention (par rapport à l'optimum) peuvent être adoptés en présence d'une règle de négligence, qui sera alors caractérisée par de faibles niveaux de R&D et de prévention.

5 Discussion et Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé un processus de R&D et de diffusion technologique entre des firmes opérant dans des industries à risques, en mettant en scène une firme innovante face à une firme non innovante mais ayant la capacité d'imiter imparfaitement la nouvelle technologie (output spillovers). L'innovation technologique est dite à "double impact", en ce sens qu'elle agit à la fois sur le coût de mise en oeuvre des mesures de prévention (que les firmes peuvent engager en vue de réduire le niveau de risque) ainsi que sur l'efficacité de ces mesures en termes de réduction de la probabilité d'accident. L'objectif de cette étude, dans un esprit proche de Endres *et al.* (2008), est alors de comparer l'impact de deux règles de responsabilité, responsabilité sans faute et règle de négligence, en termes de prévention et d'incitation à s'engager dans un proces-

142. Dans la mesure où il faut s'assurer que la firme I puisse adopter ce standard (sans quoi c'est un retour à une situation équivalente à une règle de responsabilité sans faute).

sus de R&D visant à mettre au point une technologie de prévention plus efficace.

Deux faits marquants sont à énoncer. Premièrement, nous retrouvons dans notre contexte le résultat principal de Endres *et al.* (2008) : en présence d'une innovation caractérisée *uniquement* par une diminution du *coût* de réduction de l'externalité, et en présence de spillovers (entraînant une incitation sous optimale à investir en R&D), la règle de négligence peut être préférable à la règle de responsabilité sans faute. En effet, dans ce contexte d'information parfaite, le Régulateur a connaissance de l'ensemble des possibilités technologiques. Il peut alors adopter un comportement dit "proactif" (ou de "leader") en prenant l'initiative de fixer un standard de prévention, indépendemment de la décision de la firme innovante en matière de R&D, de sorte à orienter la décision de cette dernière. Ainsi, en fixant un standard au-delà du niveau de prévention qui prévaudrait en présence d'une règle de responsabilité sans faute, le Régulateur fournit davantage d'incitations à investir en R&D afin de réduire le coût de mise en conformité à l'égard du standard. Ce mécanisme compense partiellement la sous incitation à investir en R&D liée à la présence de spillovers, ce qui entraîne une réduction du coût social de l'activité à risque.
En revanche, dès lors que l'innovation est caractérisée par un impact suffisamment important sur la probabilité d'accident (par rapport à son impact sur le coût de prévention), notre étude montre que la règle de responsabilité sans faute est préférable ; à la limite, lorsque l'innovation est purement "sécuritaire" (réduction de la probabilité d'accident uniquement), la règle de négligence ne fournit aucune incitation à l'innovation ni à l'adoption de la nouvelle technologie (par la firme non-innovante).

Ainsi, les résultats de la présente analyse étendent le résultat de Endres *et al.* (2008) à un contexte différent, avec diffusion de l'innovation, mais aussi le restreignent dans la mesure où la *nature* de l'innovation a un impact drastique sur la classification des règles de responsabilité en matière d'incitation à innover en vue de réduire le risque émis.

Néanmoins cette étude est encore assez frustre, l'analyse de la prévention des externalités (risque, pollution) technologiques via changement technologique induit par le cadre légal en étant encore à ses balbutiements. Des extensions sont possibles (et

souhaitables), et la force de certaines hypothèses doit être pleinement appréhendée.

Dans la lignée de la réflexion engagée dans les chapitres précédents, une première extension à considérer serait de tenir compte de l'existence d'une contrainte d'insolvabilité des firmes dans le cadre de l'application d'un régime de responsabilité limitée. En effet, nous avons ici laissé de côté cet aspect afin de ne pas alourdir le modèle et d'assurer ainsi une comparabilité plus facile avec les travaux de Endres *et al.* (2008). Or, en présence d'un régime de responsabilité limitée, il est de connaissance commune en économie de la responsabilité que la règle de responsabilité sans faute peut induire, pour une technologie donnée, des comportements sous optimaux en matière de prévention des risques lorsque les dommages potentiels sont supérieurs à la valeur liquidative de la firme responsable (situation d'insolvabilité potentielle). A cet égard, une règle de négligence peut être préférable dans la mesure où elle permet toujours de faire adopter un niveau de prévention plus élevé que celui atteint en responsabilité sans faute (voir Shavell (1986)). Cependant nous venons de montrer que, dans le cadre d'une innovation à double impact, la règle de responsabilité sans faute peut induire davantage d'efforts en R&D lorsque l'impact-sécuritaire de l'innovation est suffisamment important. Par conséquent, en présence d'un régime de responsabilité limitée et de dommages potentiels suffisamment importants, un arbitrage pourrait avoir lieu pour certains types d'innovation : à technologie donnée la règle de négligence permet d'induire plus de prévention, mais la règle de responsabilité sans faute peut induire davantage d'innovation, amenant ainsi à l'adoption d'une technologie de prévention plus efficace. En outre, en présence d'un processus d'innovation *stochastique*, n'aboutissant pas avec certitude, l'attrait de la règle de négligence pourrait être renforcé (à tout le moins dans une optique court termiste de réduction du risque) puisque, en cas d'échec du processus de R&D, le niveau de prévention du risque est plus important.

Ensuite, il convient de tempérer la portée de nos résultats à l'aune des hypothèses adoptées. En effet, nous avons supposé un univers en information parfaite, notamment entre le Régulateur et les firmes. En présence d'information imparfaite entre ces acteurs, l'application de la règle de négligence peut être problématique à deux égards. D'une part, elle suppose des collectes coûteuses d'informations pour définir *ex ante* le standard de négligence. Au-delà de ce coût de collecte, une mauvaise définition du standard de prévention entaîne des incitations sous optimales en matière de réduction du

risque. D'autre part, une collecte d'informations doit aussi intervenir *ex post* pour établir s'il y a responsabilité des firmes ou non en cas d'accident. Là aussi, au-delà du coût direct de la collecte d'informations, des coûts indirects interviennent : la vision imparfaite du Régulateur quant au comportement réel de prévention des firmes introduit une incertitude concernant le *véritable* niveau de prévention que les firmes doivent adopter pour bénéficier de l'exemption de responsabilité (possible sous optimalité en matière de prévention), mais en plus cette vision imparfaite introduit un risque d'erreur dans l'établissement de la responsabilité. Tous ces coûts, que nous n'avons pas pris en considération, montrent que l'efficience d'une règle de négligence peut être surestimée dans une analyse en information parfaite, telle que celle que nous avons développée.

Pour finir, il convient de rappeler que l'application d'une règle de négligence pose aussi la question de l'allocation des coûts du dommage. En cas de conformité à l'égard du standard de prévention, le coût du dommage est entièrement supporté par les victimes. En présence de dommages de grande ampleur, ce coût peut s'avérer socialement très important. Quand bien même la règle de négligence pourrait inciter (en présence d'une innovation impactant essentiellement le coût de prévention) à davantage d'innovation et de prévention, permettant alors de réduire considérablement la vraisemblance de survenance d'un accident, l'allocation du coût d'un éventuel accident aux victimes doit poser la question de l'arbitrage, pour la Société, entre équité et prévention.

Conclusion générale

Dix années après la catastrophe industrielle d'AZF, la prévention des risques technologiques majeurs reste une préoccupation importante de la Société. Suite à cette catastrophe, la prise de conscience de la dangerosité potentielle de certaines activités industrielles s'est renforcée, comme en témoignent en France les renforcements des réglementations relatives aux installations classées (loi du 30 juillet 2003) et à la responsabilité environnementale (loi du 1er août 2008). Au cours des deux dernières années, l'occurrence d'autres catastrophes, parmi lesquelles la catastrophe d'Ajka en Hongrie (4 octobre 2010) et la catastrophe nucléaire de Fukushima (11 mars 2011), ont encore souligné l'actualité de cette question en ravivant, notamment en Europe et en France, le débat relatif à la production d'énergie d'origine nucléaire. Dans cette thèse, nous avons vu que la responsabilité civile est un instrument qui trouve sa place au sein d'une politique publique visant à promouvoir la prévention des risques technologiques. Cependant, cet outil peut se révéler partiellement inefficient dans la poursuite de cet objectif, notamment face à des dommages potentiels de grande ampleur en présence d'un régime de responsabilité limitée : l'internalisation partielle du risque qui peut en résulter fournit des incitations sous optimales à prévenir le risque de façon socialement souhaitable.

Face à ces inefficiences, cette thèse propose de poursuivre un rapprochement entre l'analyse économique de la responsabilité civile et l'analyse économique de la régulation des émissions polluantes. Amorcé grâce aux travaux de Alfred Endres et co-auteurs (Endres & Bertram (2006), Endres *et al.* (2007), Endres *et al.* (2008), Endres & Friehe (2011)), un tel rapprochement permet d'ouvrir l'analyse économique de la responsabilité civile à une perspective supplémentaire, négligée jusqu'alors : la possibilité de procéder à des changements technologiques, via l'adoption de nouvelles technologies de prévention du risque plus efficaces, ou même via la mise au point de telles technologies (innovation).

Dans un premier chapitre, nous avons présenté un état des lieux de ces deux littératures : problématiques traitées, mise en avant de certaines limites. Nous avons montré plus précisément en quoi un tel rapprochement entre ces deux littératures permet de mettre en perspective certains résultats et limites de l'analyse économique de la responsabilité civile, appliquée à une optique de prévention des risques technologiques de grande importance.

Dans le deuxième chapitre nous avons posé les jalons de ce rapprochement, en tenant compte notamment d'une importante particularité inhérente à l'analyse de la prévention des risques technologiques majeurs : la possibilité d'insolvabilité des firmes en cas d'accident, en présence d'un régime de responsabilité limitée. Nous avons ainsi proposé un modèle dans lequel une firme, faisant face à un risque d'accident multiplicatif (proportionnel au niveau d'activité), doit effectuer un choix entre deux technologies, dont une nouvelle caractérisée par une probabilité d'accident plus faible que la technologie historique. Notre modélisation laisse ainsi à la firme le choix d'internaliser tout ou partie du risque lorsqu'un régime de responsabilité limitée est en vigueur. Dans ce contexte nous avons montré que, grâce à cette perspective de changement technologique, le régime de responsabilité limitée peut induire des situations améliorant le bien-être social, en incitant les firmes à adopter la nouvelle technologie sécuritaire tout en régulant leur niveau d'activité de sorte à internaliser intégralement le risque d'accident. Bien que l'efficience de ce régime de responsabilité (en termes de prévention optimale du risque et en termes d'incitations au changement technologique) reste en-deçà de celle du régime de responsabilité illimitée, nous avons montré qu'il est possible de l'améliorer en présence d'une taxation unitaire du niveau de production. Un tel dispositif est socialement bénéfique à deux égards. D'une part, la taxation conduit les firmes à réduire leur niveau d'activité, réduisant ainsi le niveau de dommage potentiel : la possibilité d'internalisation totale du risque s'en trouve accrue. D'autre part, en différenciant le taux de taxation selon la technologie utilisée, le Régulateur peut, par exemple, fournir davantage d'incitations à adopter la technologie la plus sécuritaire.

Ces premiers résultats montrent que les inefficiences du régime de responsabilité limitée peuvent être atténuées lorsque l'on considère la possibilité de changement technologique, et ce d'autant plus dans un cadre de politiques hybrides, associant la responsabilité civile à des instruments comme l'outil fiscal, plus traditionnellement utilisé dans un contexte de régulation des émissions polluantes. Néanmoins les inefficiences subsistent en présence de firmes faiblement capitalisées, ce qui peut poser ici la question de l'instauration de seuils minimaux en capitaux propres, voire la restauration d'un régime de responsabilité illimitée pour les firmes faiblement capitalisées. Une première extension intéressante à ce travail pourrait être de considérer l'application d'une règle de négligence : une différenciation en critère de faute selon la technologie utilisée

pourrait également fournir davantage d'incitations au changement technologique, tout en garantissant un niveau de prévention relativement élevé pour les firmes dotées de la technologie la moins sécuritaire. Une autre voie de recherche intéressante serait de considérer un niveau de capital endogène en permettant aux firmes d'emprunter des fonds auprès de créanciers, et étudier ainsi leur attitude en terme de gestion du risque (choix technologique et niveau d'activité) lorsque les firmes sont dotées à la fois de fonds externes (dette par exemple) et de fonds propres.

Les chapitres 3 et 4 étendent l'analyse en considérant la présence de risques imparfaitement connus, qui peuvent être présents lors de l'introduction de nouvelles technologies. Autrement dit, nous avons travaillé en situation ambigüe. Nous avons ainsi considéré une firme devant choisir entre deux technologies dont une nouvelle caractérisée par une imprécision relative à sa probabilité d'accident : cette probabilité se situe dans un intervalle de probabilités objectives, synthétisant d'éventuelles controverses autour de sa véritable valeur. La nouvelle technologie peut ainsi être moins risquée que la technologie historique, ou au contraire être plus dangereuse. Néanmoins, avant d'effectuer son choix technologique, la firme a la possibilité d'investir dans un processus de recherche d'informations supplémentaires, fournissant un signal d'information imparfait lui permettant de réduire cette incertitude : en cela la firme adopterait une attitude que l'on pourrait qualifier de précautionneuse. Dans ces deux chapitres nous montrons d'abord que le régime de responsabilité illimitée est caractérisé par une relative "force tempérante" en ce sens que, par rapport au régime de responsabilité limitée, il favorise l'adoption de la technologie associée au revenu d'activité (ou EBE, hors coût du risque) le plus faible, quelle que soit l'information à disposition de la firme. Ce phénomène est une conséquence du fait que la firme, en présence d'un régime de responsabilité illimitée, accorde moins d'importance au revenu d'activité dans sa fonction objectif (par rapport au régime de responsabilité limitée, qui restreint l'importance du coût du risque). Nous avons également expliqué que l'attrait plus fort, en responsabilité limitée, pour la technologie associée au revenu d'activité le plus important peut s'expliquer par l'attitude riscophile qu'induit ce régime. La limitation de responsabilité introduit en effet une convexité dans la fonction objectif de la firme ainsi qu'une différence entre les deux technologies en termes de perte potentielle en cas d'accident : elle associe alors la technologie fournis-

sant un revenu d'activité important à une perte importante, et cette dispersion accrue entre gains et pertes est valorisée par la firme. En outre, nous montrons que le régime de responsabilité illimitée peut fournir davantage d'incitations à la recherche d'informations sur le risque imparfaitement connu, notamment lorsque le montant de dommages potentiels est élevé.

Ces résultats mettent en relief plusieurs points importants. Dans le cadre d'une application du Principe de Précaution, si le Régulateur public souhaite promouvoir la recherche d'informations face à la présence de risques imparfaitement connus, nous pouvons constater que le régime de responsabilité limitée peine à fournir de telles incitations. Alors que notre chapitre 2 montre que, en univers risqué, les inefficiences de ce régime sont atténuées lorsqu'un cadre d'analyse plus large est considéré (possibilité de changement technologique et de politiques hybrides), les chapitres 3 et 4 mettent en avant que, dans un univers ambigü, de nouvelles difficultés apparaissent et l'efficience de ce régime est à nouveau remise en question. D'autre part, ces chapitres montrent que, dans un tel contexte de risque imprécis, le régime de responsabilité illimitée est doté de qualités pouvant être recherchées par un Régulateur mal informé : alors que le régime de responsabilité limitée peut excessivement favoriser l'adoption de la technologie ayant le revenu d'activité le plus important, le régime de responsabilité illimitée tempère cet attrait, induisant plus de stabilité (à un niveau agrégé) dans les comportements de choix technologique. Ne souhaitant pas *a priori* favoriser l'adoption d'une technologie, ou manquant d'informations pour favoriser l'adoption d'une technologie particulière, le Régulateur peut trouver, avec le régime de responsabilité illimitée, à la fois de fortes incitations à la recherche d'informations et un impact plus modéré sur le comportement de choix technologique des firmes. Cependant, quel que soit le régime étudié, la responsabilité civile semble peiner à influer sur le comportement des firmes ayant des attitudes "extrêmes" à l'égard de l'ambiguïté alors même que ce sont ces firmes qui, parce qu'elles ignorent le danger potentiel ou ne voient pas l'opportunité de le réduire, constituent la cible principale du Régulateur : dans ce cas il pourrait alors être souhaitable d'assister la responsabilité par d'autres dispositifs incitatifs (normes, protocoles de sécurité soumis à contrôles).

Il faut toutefois noter que cette première analyse considère uniquement la présence d'une règle de responsabilité sans faute, alors que l'analyse économique de la responsa-

bilité civile reconnaît que la règle de négligence, grâce à l'exemption en responsabilité qu'elle peut offrir, peut être un outil incitatif important. Ainsi, conditionner une exemption de responsabilité à la recherche d'informations et à un choix technologique particulier en cas de réception d'un signal donné pourrait inciter des firmes aux comportements plus "extrêmes" à adopter une attitude plus conforme aux volontés du Régulateur. Cependant, en transférant l'intégralité du coût des dommages causés sur les victimes en cas de conformité des firmes à l'égard des standards de prévention, la règle de négligence peut poser des problèmes d'équité. Ici encore, il pourrait être intéressant d'analyser l'impact de la présence de créanciers, notamment dans un cadre d'arbitrage entre un investissement productif, permettant d'accroître le revenu lié à la technologie choisie, et un investissement en recherche d'informations permettant de réduire l'imprécision du risque.

Enfin notre chapitre 5 se penche sur la thématique de l'innovation en considérant une industrie composée d'une firme innovante, ayant capacité de mettre au point une nouvelle technologie de prévention du risque d'accident, et d'une firme non-innovante mais ayant néanmoins la capacité d'imiter l'innovation une fois celle-ci mise au point. En cela ce chapitre pose la question de l'incitation à innover dans une optique incluant aussi la possibilité de diffuser l'innovation. Une originalité de ce chapitre se situe dans le type d'innovation mise au point : alors que les analyses menées en économie de l'environnement et les analyses de Alfred Endres et co-auteurs se focalisent sur des innovations permettant uniquement de réduire le coût d'abattement des émissions polluantes, nous considérons ici une innovation à "double impact", c'est-à-dire une innovation permettant d'accroître l'efficacité des mesures de prévention à la fois en termes de moindre coût de mise en oeuvre, mais aussi en termes de réduction plus importante du niveau du risque. Comparant règle de responsabilité sans faute et règle de négligence, nous montrons que le rôle du Régulateur et le type d'innovation atteignable joue un rôle essentiel dans l'efficience relative de chaque règle en termes d'incitations à prévenir le risque et à investir en R&D. Ainsi, lorsque l'innovation permet essentiellement de réduire le coût de prévention, la règle de négligence peut être préférée à la règle de responsabilité sans faute si le Régulateur adopte un comportement "proactif", en fixant un standard de prévention indépendemment de la décision de la firme innovante en matière de R&D.

Mais plus l'impact "sécuritaire" de l'innovation est important (i.e. plus l'efficience des mesures de prévention en termes de réduction du niveau de risque est importante), plus l'efficience relative de la règle de négligence est faible : l'exemption de responsabilité qu'elle introduit (lorsque les firmes se conforment au standard de prévention) entraîne une externalisation du bénéfice social de l'innovation en termes de réduction du coût espéré du risque. Dès lors, la firme ne perçoit pas les gains issus de l'"efficacité-sécuritaire" de l'innovation, et une règle de responsabilité sans faute, faisant supporter l'intégralité du coût du risque à la firme, est alors préférable.

Cependant, afin d'assurer une meilleure lisibilité et une meilleure comparabilité avec l'étude de Endres *et al.* (2008), nous avons supposé que la firme est toujours suffisamment solvable pour compenser l'intégralité du dommage. Dans un travail futur, il conviendra d'intégrer la possibilité d'insolvabilité des firmes en cas d'accident, caractéristique importante des risques technologiques majeurs. Dans un tel contexte, l'efficience relative de la règle de négligence pourrait être renforcée : depuis Shavell (1986) nous savons que cette règle, en responsabilité limitée avec insolvabilité potentielle, permet toujours de faire adopter un niveau de prévention plus élevé que celui qui serait adopté en présence d'une règle de responsabilité sans faute. La règle de négligence pourrait alors partiellement pallier l'inefficience de la règle de responsabilité sans faute en termes d'incitations sous optimales à prévenir le risque. En outre, cette possibilité de faire adopter des niveaux de prévention plus importants pourrait être valorisée en présence d'un processus de R&D stochastique, n'aboutissant pas avec certitude (mais dont les chances de réussites croissent avec le montant investi) : un niveau de prévention plus élevé, atteint avec certitude, peut alors compenser la non certitude relative à l'obtention d'une technologie de prévention plus efficace. Néanmoins, comme nous l'avons mentionné précédemment, l'application d'une règle de négligence suppose des coûts informationnels importants (définition de standards de prévention, et vérification de leur application par les firmes en cas d'accident) et, dans un contexte de risques de grande ampleur, la question des coûts sociaux relatifs à l'allocation du coût du risque devient essentielle : dans la mesure où une telle règle de responsabilité transfère la totalité du coût des dommages sur les victimes (ou la Société) en cas de conformité de la firme à l'égar des standards requis, la question de l'arbitrage, d'un point de vue social, entre équité et prévention, prend une dimension particulière.

Appendices

Appendice A

Preuve 1 : preuve de la Proposition 7

$x_S > 0$ implique

$$c'(x_S) + p'(x_S)min[D, W] = 0 \tag{64}$$

x_F minimise la fonction strictement convexe : $c(x) + p(x)G(\theta, x)min[D, W]$. On a alors $x_S > x_F$ si :

$$c'(x_S) + [p'(x_S)G(\theta, x_S) + p(x_S)G_x(\theta, x_S)]min[D, W] < 0 \tag{65}$$

La condition (13) est démontrée en substituant $c'(x_S)$ dans la condition (64) à $c'(x_S)$ dans la condition (65). Le point (i) est démontré.
Pour le point (ii), voir Fluet (1999) Proposition 3, p 389. ♦

Preuve 2 : preuve de la Proposition 8

En information parfaite, sans insolvabilité potentielle, la responsabilité sans faute permet une adéquation entre problème privé (de la firme) et problème social. Ceci est le point (i).
Concernant le point (ii) :
Cas n° 1 : $V_{nette} < 0$. Si la firme ne recherche pas d'informations, elle est reconnue responsable si elle adopte x tel que $x < x_0^*$ Elle doit alors minimiser $x + P.p(x)D$, dont le minimum est atteint en $x = x_0^*$ (standard optimal). Elle adopte $x = x_0^*$ et est exonérée de responsabilité. Si l'entreprise recherche de l'information et apprend qu'il n'y a pas de risque, elle adopte $x = 0$. Si l'information révèle l'existence d'un risque, elle est exonérée de responsabilité dès lors qu'elle adopte $x = x_0^*$ (recherche d'informations non souhaitée par le Régulateur) : elle adopte $x = x_0^*$. La valeur privée brute de l'information est $V_{privbrute} = (1 - P)x_0^*$. On a : $V_{privbrute} < V_{brute} < \bar{I}$. La firme ne recherche pas d'informations et choisit $x = x_0^*$.
Cas n° 2 : $V_{nette} \geq 0$ Si la firme ne recherche pas d'informations, elle est "automatiquement" reconnue responsable en cas d'accident pour défaut de recherche d'informations, quelle que soit sa politique de prévention. La firme minimise $x + ph(x)$, adopte $x = x_0^*$. Si la firme recherche de l'information, l'absence de risque induit $x = 0$ tandis que la pré-

sence d'un risque induit $x = x_{\bar{I}}^*$ (standard optimal, cf Shavell (1980)). La valeur privée brute de l'information est : $V_{privbrute} = P[x_0^* + p(x_0^*)D - x_{\bar{I}}^*] + (1-P)(x_0^* - 0) > V > \bar{I}$. La firme recherche de l'information et adopte un niveau de prévention optimal. ♦

Preuve 3 : preuve de la Proposition 9

Considérons une firme qui ne recherche pas d'informations. Elle est responsable pour tout $x < x_{\bar{I}}^*$. Le niveau de prévention minimisant son coût espéré $(x + P.p(x)D)$ est x_0^*. Si elle choisit $x = x_0^*$, la valeur privée de l'information est alors la même qu'en responsabilité pour faute *complète*[143]. Mais si elle opte pour la solution non risquée $x = x_{\bar{I}}^*$, alors la valeur privée de l'information s'élève à $(1-P)x_{\bar{I}}^*$, ce qui est supérieur à la valeur privée de l'information en règle pour faute *complète* ainsi qu'à la valeur sociale de l'information. ♦

Preuve 4 : preuve de la Proposition 11

Point (i) : les PEN et la taxation sont les instruments les plus incitatifs à innover.
Concernant les PEN aux enchères et la taxation, ceci s'explique par le coût élevé que ces deux instruments induisent avant innovation : la firme doit supporter un coût de dépollution et un coût pour polluer, alors que les autres instruments n'induisent tout au plus qu'un coût de dépollution (voire un bénéfice à la dépollution en cas de subvention). La diminution des coûts de dépollution engendrée par l'innovation permet alors de dépolluer davantage, à moindre coût, et de diminuer le coût de pollution (achat de PEN ou paiement de la taxe).
En présence de PEN alloués gratuitement, l'innovation induit un seul bénéfice : la réduction du coût de dépollution entraîne une réduction des émissions, ce qui permet à la firme de réduire son utilisation de PEN et de revendre une partie du stock qui lui a été alloué. Le standard offrant la plus faible réduction de coût (uniquement réduction du coût des émissions émises) suite à l'utilisation de l'innovation, il est l'instrument le moins incitatif à innover. Ceci constitue le point (i).
Concernant la diffusion de l'innovation dans l'industrie, il est nécessaire de distinguer la firme innovante des autres[144]. Du point de vue de l'innovateur, la diffusion de l'innovation dans l'industrie en présence de PEN alloués aux enchères est bénéfique puisqu'elle

143. Rappelons qu'ici la firme est *toujours* responsable en cas d'accident.
144. Il faut rappeler qu'il est supposé que la firme innovante ne dispose d'aucun moyen pour s'approprier les bénéfices que retirent les firmes non-innovantes de l'innovation : la diffusion de celle-ci se fait par un transfert gratuit d'informations entre firmes (*spillovers*)

permet une diminution de la demande de permis entraînant une diminution de leur prix [145]. En revanche, en présence de PEN alloués gratuitement, la diffusion représente une perte pour l'innovateur puisque la diminution générale de la demande en permis va l'empêcher d'en revendre au prix initial du marché. Du point de vue des firmes non innovantes, les PEN alloués aux enchères leur apportent le gain maximal lors de la diffusion de l'innovation puisqu'une double économie est réalisée, sur le coût de dépollution (*abatement cost effect*) et sur le prix du permis. En revanche, le gain le plus faible est constaté en présence de PEN alloués gratuitement (ou d'un standard), les firmes ne bénéficiant que d'une diminution des coûts de dépollution [146]. Ceci est le point (ii) Le point (iii) est issu de l'agrégation des gains retirés sur les deux étapes (innovation et diffusion) : cf Milliman & Prince (1989) p 252-254. ♦

145. Ce phénomène est appelé par la suite *emissions payment effect* dans la littérature.
146. La diminution du prix des PEN ne permet pas de pouvoir en revendre.

Appendice B

Preuve 1 : preuve de la Proposition 1

Nous devons calculer $E[\tilde{\Pi}_2^U] - E[\tilde{\Pi}_1^U] > 0$ à l'équilibre :

$$py_2^U - Z_2(y_2^U)^2 - \varphi_2 d y_2^U + E > py_1^U - Z_1(y_1^U)^2 - \varphi_1 d y_1^U + E$$
$$\Leftrightarrow p(y_2^U - y_1^U) - (Z_2(y_2^U)^2 - Z_1(y_1^U)^2) - d(\varphi_2 y_2^U - \varphi_1 y_1^U) > 0$$

En utilisant (25), nous obtenons :

$$p(\frac{p-\varphi_2 d}{2Z_2} - \frac{p-\varphi_1 d}{2Z_1}) - (\frac{(p-\varphi_2 d)^2}{4Z_2} - \frac{(p-\varphi_1 d)^2}{4Z_1}) - d(\frac{\varphi_2(p-\varphi_2 d)}{2Z_2} - \frac{\varphi_1(p-\varphi_1 d)}{2Z_1}) > 0$$
$$\Leftrightarrow p[Z_1(p-\varphi_2 d) - Z_2(p-\varphi_1 d)] - \frac{1}{2}[Z_1(p-\varphi_2 d)^2 - Z_2(p-\varphi_1 d)^2]$$
$$-d[Z_1\varphi_2(p-\varphi_2 d) - Z_2\varphi_1(p-\varphi_1 d)] > 0$$
$$\Leftrightarrow Z_1(p-\varphi_2 d)[p - \frac{1}{2}(p-\varphi_2 d) - d\varphi_2] - Z_2(p-\varphi_1 d)[p - \frac{1}{2}(p-\varphi_1 d) - d\varphi_1] > 0$$
$$\Leftrightarrow Z_1(p-\varphi_2 d)[\frac{1}{2}(p-\varphi_2 d)] - Z_2(p-\varphi_1 d)[\frac{1}{2}(p-\varphi_1 d)] > 0$$
$$\Leftrightarrow Z_1(p-\varphi_2 d)^2 > Z_2(p-\varphi_1 d)^2$$
$$\Leftrightarrow \frac{(p-\varphi_1 d)^2}{Z_1} < \frac{(p-\varphi_2 d)^2}{Z_2}$$

Ceci est la condition (26). En responsabilité (stricte et) illimitée, la firme internalise le risque en intégralité : son profit privé est équivalent au bien-être social. Si la technologie 2 accroît son profit espéré, alors elle accroît le niveau de bien-être social. ♦

Preuve 2 : preuve du Lemme 1

Par définition de $\widehat{y_i}$, le profit *ex post*, après accident, s'écrit :

$$p\widehat{y_i} - Z_i\widehat{y_i}^2 - d\widehat{y_i} + E = 0$$
$$-Z_i\widehat{y_i}^2 + (p-d)\widehat{y_i} + E = 0$$

Les deux racines sont :

$$\widehat{y_i} = \frac{(p-d) + \sqrt{(p-d)^2 + 4Z_iE}}{2Z_i} \text{ et } \widehat{y_i} = \frac{(p-d) - \sqrt{(p-d)^2 + 4Z_iE}}{2Z_i}$$

La seconde racine est toujours négative. Le Lemme 1 est alors démontré. ♦

Preuve 3 : preuve de la Proposition 2

Une firme décide d'internaliser totalement le risque si et seulement si elle peut accroître son profit espéré par rapport à celui qu'elle pourrait obtenir en bénéficiant de la protection légale. Nous devons alors avoir :

$$py_i^{L-} - Z_i(y_i^{L-})^2 - \varphi_i d y_i^{L-} + E > (1-\varphi_i)(py_i^{L+} - Z_i(y_i^{L+})^2 + E)$$

Avec (25) et (31), ceci est équivalent à :

$$\frac{(p-\varphi_i d)^2}{4Z_i} + E > (1-\varphi_i)\left(\frac{p^2}{4Z_i} + E\right)$$

$$\Leftrightarrow E > \frac{p(2d-p) - \varphi_i d^2}{4Z_i} = \underline{E_i} \tag{66}$$

Partant de (66), il est suffisant d'avoir $d > p$ pour que ce seuil $\underline{E_i}$ soit strictement positif. Sachant $p > \varphi_i d$ par hypothèse, nous avons :

$$p(2d-p) - \varphi_i d^2 > 0$$

$$\Leftrightarrow 2d - p > d > \frac{\varphi_i d}{p} d$$

La Proposition 2 est démontrée. ♦

Preuve 4 : preuve de la Proposition 3

Lorsque $2d - p < 0$, le seuil $\underline{E_i}$ défini par (66) est toujours strictement négatif : la protection légale n'est jamais choisie à l'équilibre. ♦

Preuve 5 : preuve de la Proposition 4

Concernant le point (i), il faut rechercher les conditions pour lesquelles une firme, choisissant d'internaliser partiellement le risque avec la technologie 1 (i.e. $E < \underline{E_1}$) et choisissant d'internaliser totalement le risque avec la technologie 2 (i.e. $E > \underline{E_2}$), aurait intérêt à procéder à un tel changement technologique (i.e. $E\left[\Pi(y_2^{LL-})\right] - E\left[\Pi(y_1^{LL+})\right] > 0$).

L'inégalité $E\left[\Pi(y_2^{L-})\right] - E\left[\Pi(y_1^{L+})\right] > 0$ est satisfaite si et seulement si :

$$\begin{aligned}
&(p-\varphi_2 d)y_2^{L-} - Z_2(y_2^{L-})^2 + E - (1-\varphi_1)\left(py_1^{L+} - Z_1(y_1^{L+})^2 + E\right) > 0 \\
&\Leftrightarrow \frac{(p-\varphi_2 d)^2}{4Z_2} - \frac{(1-\varphi_1)p^2}{4Z_1} + \varphi_1 E > 0 \\
&\Leftrightarrow \varphi_1 E > (1-\varphi_1)\frac{p^2}{4Z_1} - \frac{(p-\varphi_2 d)^2}{4Z_2} \\
&\Leftrightarrow E > \frac{1}{4\varphi_1}\left[(1-\varphi_1)\frac{p^2}{Z_1} - \frac{(p-\varphi_2 d)^2}{Z_2}\right]
\end{aligned} \tag{67}$$

Ensuite, l'inégalité $E < \underline{E_1}$ est vérifée si et seulement si :

$$\begin{aligned}
&E < \underline{E_1} = \frac{p(2d-p) - \varphi_1 d^2}{4Z_1} \\
&\Leftrightarrow E < \frac{1}{\varphi_1}\frac{\varphi_1\left(p(2d-p) - \varphi_1 d^2\right) - p^2 + p^2}{4Z_1} \\
&\Leftrightarrow E < \frac{1}{\varphi_1}\frac{p^2(1-\varphi_1) - (p-\varphi_1 d)^2}{4Z_1} \\
&\Leftrightarrow E < \frac{1}{4\varphi_1}\left[(1-\varphi_1)\frac{p^2}{Z_1} - \frac{(p-\varphi_1 d)^2}{Z_1}\right]
\end{aligned} \tag{68}$$

Enfin, l'inégalité $E > \underline{E_2}$ est vérifée si et seulement si :

$$\begin{aligned}
&E > \underline{E_2} = \frac{p(2d-p) - \varphi_2 d^2}{4Z_2} \\
&\Leftrightarrow E > \frac{1}{\varphi_2}\frac{\varphi_2\left(p(2d-p) - \varphi_2 d^2\right) - p^2 + p^2}{4Z_2} \\
&\Leftrightarrow E > \frac{1}{\varphi_2}\frac{p^2(1-\varphi_2) - (p-\varphi_2 d)^2}{4Z_2} \\
&\Leftrightarrow E > \frac{1}{4\varphi_2}\left[(1-\varphi_2)\frac{p^2}{Z_2} - \frac{(p-\varphi_2 d)^2}{Z_2}\right]
\end{aligned} \tag{69}$$

Pour s'assurer de l'existence de la possibilité d'un changement technologique en de telles circonstances, le système suivant doit être vérifié :

$$\begin{cases}
CD(67) < CD(69) \quad (a) \\
CD(69) < CD(68) \quad (b)
\end{cases}$$

avec l'abréviation CD désignant le côté droit de l'expression citée.
L'existence de $CD(67) < CD(68)$ requiert uniquement $\frac{(p-\varphi_2 d)^2}{Z_2} > \frac{(p-\varphi_1 d)^2}{Z_1}$. C'est équi-

valent à la condition pour laquelle, lorsque le risque est intégralement internalisé, la technologie 2 est préférée à la technologie 1 ; c'est une condition d'efficience relative de la nouvelle technologie.

Etant donné $\varphi_1 > \varphi_2$ et $Z_1 < Z_2$, ce système peut être satisfait. Cependant, une variation trop importante des variables φ_i et Z_i en faveur de la technologie 2 (ou en défaveur de la technologie 1) peut rompre l'équilibre de ce système. L'inégalité (a) peut ne plus être satisfaite pour des valeurs trop faibles de Z_1 ou des valeurs trop élevées de Z_2. L'inégalité (b) peut ne plus être satisfaite pour des valeurs trop importantes de φ_1 ou des valeurs trop faibles φ_2. Ceci constitue le point (i).

Concernant le point (ii), ce changement technologique améliore le niveau de bien-être social si et seulement si :

$$
\begin{aligned}
& py_2^{L-} - Z_2.(y_2^{L-})^2 - \varphi_2 d y_2^{L-} + E > py_1^{L+} - Z_1.(y_1^{L+})^2 - \varphi_1 d y_1^{L+} + E \\
& \Leftrightarrow p\frac{p-\varphi_2 d}{2Z_2} - Z_2.(\frac{p-\varphi_2 d}{2Z_2})^2 - \varphi_2 d\frac{p-\varphi_2 d}{2Z_2} + E > p\frac{p}{2Z_1} - Z_1.(\frac{p}{2Z_1})^2 - \varphi_1 d\frac{p}{2Z_1} + E \\
& \Leftrightarrow \frac{1}{4Z_2}(p^2 - 2p\varphi_2 d + \varphi_2^2 d^2) > \frac{p^2}{4Z_1} - \varphi_1 d\frac{2p}{4Z_1} \\
& \Leftrightarrow p^2(\frac{1}{4Z_1} - \frac{1}{4Z_2}) < d(\varphi_1\frac{p}{2Z_1} - \varphi_2\frac{p-\frac{1}{2}\varphi_2 d}{2Z_2}) \qquad (70)
\end{aligned}
$$

Remarquons que la condition (67) peut être écrite de la manière suivante :

$$
p^2(\frac{1}{4Z_1} - \frac{1}{4Z_2}) < \varphi_1\left(\frac{p^2}{4Z_1} + E\right) - \varphi_2\left(\frac{2pd - \varphi_2 d^2}{4Z_2}\right) \qquad (71)
$$

Ainsi, le changement technologique avec internalisation complète du risque améliore le niveau de bien-être social si la satisfaction de la condition privée (71) entraîne la satisfaction de la condition sociale (70), c'est-à-dire si et seulement si :

$$
\begin{aligned}
& \varphi_1\left(\frac{p^2}{4Z_1} + E\right) - \varphi_2\left(\frac{2pd - \varphi_2 d^2}{4Z_2}\right) < d(\varphi_1\frac{p}{2Z_1} - \varphi_2\frac{p-\frac{1}{2}\varphi_2 d}{2Z_2}) \\
& \Leftrightarrow 0 < \varphi_1\left(\frac{p(2d-p)}{4Z_1} - E\right) \qquad (72)
\end{aligned}
$$

Par hypothèse nous avons $2d - p > 0$. Nous savons que la firme choisit d'internaliser partiellement le risque avec la technologie initiale et de l'internaliser totalement lorsqu'elle utilise la technologie 2. Selon la Proposition 2 nous avons : $\frac{p(2d-p)-\varphi_2 d^2}{4Z_2} \leq E \leq$

$\frac{p(2d-p)-\varphi_1 d^2}{4Z_1}$. Considérant la valeur de E la plus élevée possible, l'inégalité (72) devient :

$$0 < \varphi_1 \left(\frac{p(2d-p)}{4Z_1} - \frac{p(2d-p)-\varphi_1 d^2}{4Z_1} \right)$$
$$\Leftrightarrow 0 < \frac{\varphi_1^2 d^2}{4Z_1}$$

Cette inégalité est toujours satisfaite. Le point (ii) est démontré. ♦

Preuve 6 : preuve de la Proposition 5

En responsabilité limitée, une firme ayant choisi d'internaliser partiellement le risque avec la technologie 1 a intérêt à adopter la technologie 2 en internalisant complètement le risque si et seulement si :

$$py_2^{L-} - Z_2(y_2^{L-})^2 - \varphi_2 d y_2^{L-} + E > (1-\varphi_1)(py_1^{L+} - Z_i(y_i^{L+})^2 + E)$$
$$\Leftrightarrow \frac{(p-\varphi_2 d)^2}{4Z_2} + E > (1-\varphi_1)(\frac{p^2}{4Z_1} + E)$$
$$\Leftrightarrow p^2(\frac{1}{4Z_1} - \frac{1}{4Z_2}) < \varphi_1(\frac{p^2}{4Z_1} + E) - \varphi_2(\frac{2pd-\varphi_2 d^2}{4Z_2})$$
$$\Leftrightarrow p^2(\frac{1}{4Z_1} - \frac{1}{4Z_2}) + \varphi_2(\frac{2pd-\varphi_2 d^2}{4Z_2}) < \varphi_1(\frac{p^2}{4Z_1} + E)$$

avec E tel que $\underline{E_2} = \frac{p(2d-p)-\varphi_2 d^2}{4Z_2} < E < \underline{E_1} = \frac{p(2d-p)-\varphi_1 d^2}{4Z_1}$.

A partir de la Proposition 1, une firme procède au changement technologique en responsabilité illimitée si et seulement si :

$$\frac{(p-\varphi_1 d)^2}{4Z_1} < \frac{(p-\varphi_2 d)^2}{4Z_2}$$
$$\Leftrightarrow p^2(\frac{1}{4Z_1} - \frac{1}{4Z_2}) < d(\varphi_1(\frac{2p-\varphi_1 d}{4Z_1}) - \varphi_2(\frac{2p-\varphi_2 d}{4Z_2}))$$
$$\Leftrightarrow p^2(\frac{1}{4Z_1} - \frac{1}{4Z_2}) + \varphi_2(\frac{2pd-\varphi_2 d^2}{4Z_2}) < d\varphi_1(\frac{2p-\varphi_1 d}{4Z_1})$$

Ainsi le changement technologique, de la technologie 1 avec internalisation partielle vers la technologie 2 avec internalisation complète du risque, en responsabilité limitée, est plus fréquent que le changement technologique en responsabilité illimitée si et seulement

si :

$$\begin{aligned}
&\varphi_1(\frac{p^2}{4Z_1}+E) > d\varphi_1(\frac{2p-\varphi_1 d}{4Z_1}) \\
&\Leftrightarrow E > -\frac{(p^2-2pd+\varphi_1 d^2)}{4Z_1} \\
&\Leftrightarrow E > \frac{p(2d-p)-\varphi_1 d^2}{4Z_1} = \underline{E_1}
\end{aligned} \tag{73}$$

Cependant par hypothèse nous avons : $\underline{E_1} > E$. La condition (73) n'est jamais satisfaite. La Proposition 5 est démontrée. ♦

Preuve 7 : preuve de la Proposition 6

En remplaçant p par $(p-t_i)$ dans la première partie de la preuve de la Proposition 2, on peut conclure qu'une firme, en responsabilité limitée et pour une technologie i donnée, choisit de renoncer au bénéfice de la protection légale en cas d'accident (internalisation complète du risque) si et seulement si :

$$E > \frac{(p-t_i)(2d-(p-t_i))-\varphi_i d^2}{4Z_i} \tag{74}$$

Si $2d < (p-t_i)$, le côté droit de l'inégalité n'est jamais positif : la firme internalise toujours intégralement le risque. Ceci démontre le point (i). Concernant le point (ii), à partir de (66) et de façon similaire à ce qui a été montré dans la preuve de la Proposition 2, il est suffisant que $d > p - t_i$ pour obtenir une positivité stricte du côté droit de l'inégalité (74). Concernant le point (iii), dériver le côté droit de (74) par rapport à t_i nous donne :

$$\frac{-(2d-(p-t_i))+(p-t_i)}{4Z_i} = \frac{-2(d-(p-t_i))}{4Z_i} < 0$$

La Proposition 6 est démontrée. ♦

Preuve 8 : preuve de la Proposition 7

Le point (i) est issu de la comparaison entre (26) et :

$$\frac{(p-t_1-\varphi_1 d)^2}{Z_1} < \frac{(p-t_2-\varphi_2 d)^2}{Z_2} \tag{75}$$

qui est l'équivalent de (26) lorsque l'on considère l'introduction d'une politique de taxation (rappelons que les incitations sont identiques entre responsabilité limitée avec internalisation complète et responsabilité illimitée). Si l'internalisation complète du risque est choisie par la firme quelle que soit la technologie (1 ou 2), son progamme de maximisation est toujours similaire à celui prévalant en responsabilité illimitée. Les conditions pour lesquelles le changement technologique a lieu sont données par (26) en l'absence de taxe, et par (75) dans le cas avec taxe. A partir de (75), le changement technologique avec internalisation complète du risque a lieu si et seulement si :

$$\begin{aligned}
&\frac{(p-t_1-\varphi_1 d)^2}{Z_1} < \frac{(p-t_2-\varphi_2 d)^2}{Z_2} \\
&\Leftrightarrow \frac{p-\varphi_1 d}{\sqrt{Z_1}} - \frac{t_1}{\sqrt{Z_1}} < \frac{p-\varphi_2 d}{\sqrt{Z_2}} - \frac{t_2}{\sqrt{Z_2}} \\
&\Leftrightarrow \frac{p-\varphi_1 d}{\sqrt{Z_1}} < \frac{p-\varphi_2 d}{\sqrt{Z_2}} - \left(\frac{t_2}{\sqrt{Z_2}} - \frac{t_1}{\sqrt{Z_1}}\right)
\end{aligned}$$

Sachant que $Z_2 > Z_1$, il est suffisant que $t_2 \leq t_1$ pour conclure que $-\left(\frac{t_2}{\sqrt{Z_2}} - \frac{t_1}{\sqrt{Z_1}}\right) > 0$. A partir de là, on peut en déduire que la condition (26) implique la condition (75) lorsque $t_2 \leq t_1$. La Proposition 6 point (iii) nous enseigne que, en présence de risques de grande ampleur, à technologie donnée, l'application d'un taux de taxation (positif) accroît la possiblité d'internaliser totalement le risque (diminution de $\underline{E_i^t}$ avec t_i).
Concernant le point (ii), rappelons que le changement technologique (de 1 avec internalisation partielle vers 2 avec internalisation complète) en l'absence de taxe a lieu si :

$$4\varphi_1 E > (1-\varphi_1)\frac{p^2}{Z_1} - \frac{(p-\varphi_2 d)^2}{Z_2} \tag{76}$$

alors que dans un système avec taxation le changement technologique a lieu si :

$$4\varphi_1 E > (1-\varphi_1)\frac{(p-t_1)^2}{Z_1} - \frac{(p-t_2-\varphi_2 d)^2}{Z_2} \tag{77}$$

Il est plus vraisemblable que le changement technologique se produise dans un système avec taxe si la satisfaction de la condition (76) implique celle de la condition (77),

c'est-à-dire si :

$$(1-\varphi_1)\frac{p^2}{Z_1} - \frac{(p-\varphi_2 d)^2}{Z_2} > (1-\varphi_1)\frac{(p-t_1)^2}{Z_1} - \frac{(p-t_2-\varphi_2 d)^2}{Z_2} \tag{78}$$

$$\Leftrightarrow \frac{t_2(2(p-\varphi_2 d)-t_2)}{Z_2} < (1-\varphi_1)\frac{t_1(2p-t_1)}{Z_1} \tag{79}$$

Remarquons que nous retrouvons l'intuition suivante : sachant que la production est toujours profitable (i.e. $p - t_2 - \varphi_2 d > 0$ et $2p - t_1 > p - t_1 > 0$), le côté gauche de (79) est croissant en t_2, et le côté droit est croissant en t_1. Taxer davantage la technologie 1 que la technologie 2 accroît l'incitation au changement technologique. Nous pouvons aussi souligner le phénomène suivant : si $t_1 = t_2 = 0$, alors l'inégalité (79) devient $0 < 0$, ce qui est impossible. En revanche, en appliquant $t_2 \leq 0$ et $t_1 > 0$ cette condition est toujours satisfaite : le côté gauche de (79) est négatif tandis que le côté droit est positif. Or, appliquer $t_2 \leq 0$ accroît le niveau de $\underline{E_2^t}$: subventionner la technologie 2 accroît la vraisemblance d'une internalisation partielle du risque avec cette technologie. Par conséquent, seule une différence $(t_1 - t_2)$ suffisamment importante (satisfaisant l'inégalité (79)), avec $t_i > 0$ $(i = 1, 2)$ permet *à la fois* un accroissement des incitations au changement technologique *et* une meilleure internalisation du risque.

♦

Appendice C

Preuve 1 : preuve du Lemme 1 De façon similaire à Chemarin & Orset (2010), Lemme 1 :

Après réception d'un signal θ^h, la croyance de la firme quant à la véritable valeur de p_B est :

$$\hat{p}_B(\theta^h, \alpha) = P^U(h|\theta^h, \alpha)(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) + (1 - P^U(h|\theta^h, \alpha))(\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L)$$

Puis nous posons :

$$\begin{aligned}
&P^U(h|\theta^h, \alpha)(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) + (1 - P^U(h|\theta^h, \alpha))(\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L) - \hat{p}_B(\alpha) \\
&= \frac{P^U(h,\alpha)f}{P^U(h,\alpha)f + (1-P^U(h,\alpha))(1-f)}(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) \\
&+ \frac{(1-P^U(h,\alpha))(1-f)}{P^U(h,\alpha)f + (1-P^U(h,\alpha))(1-f)}(\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L) \\
&-[P^U(h,\alpha)(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) + (1-P^U(h,\alpha))(\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L)] \\
&\times[\frac{P^U(h,\alpha)f + (1-P^U(h,\alpha))(1-f)}{P^U(h,\alpha)f + (1-P^U(h,\alpha))(1-f)}]
\end{aligned}$$

Après quelques manipulations algébriques nous obtenons :

$$\frac{P^U(h,\alpha)(1-P^U(h,\alpha))[(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) - (\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L)](2f-1)}{P^U(h,\alpha)f + (1-P^U(h,\alpha))(1-f)} \geq 0$$

puisque $f \geq \frac{1}{2}$.

De la même manière, après réception d'un signal θ^l la croyance de la firme quant à la véritable valeur de p_B est :

$$\hat{p}_B(\theta^l, \alpha) = P^U(h|\theta^l, \alpha)(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) + (1 - P^U(h|\theta^l, \alpha)(\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L)$$

Après quelques manipulations algébriques, nous trouvons $\hat{p}_B(\theta^l, \alpha) - \hat{p}_B(\alpha)$ égal à :

$$\frac{P^U(h,\alpha)(1-P^U(h,\alpha))[(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) - (\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L)](1-2f)}{P^U(h,\alpha)(1-f) + (1-P^U(h,\alpha))f} \leq 0$$

puisque $f \geq \frac{1}{2}$.

Finalement nous obtenons : $\hat{p}_B(\theta^l, \alpha) < \hat{p}_B < \hat{p}_B(\theta^h, \alpha)$. ♦

Preuve 2 : preuve de la Proposition 1

$\alpha = \breve{\alpha}^U$ est défini de façon à obtenir $\hat{p}_B(\breve{\alpha}^U) = p_B^{TU}$, avec $\hat{p}_B(\breve{\alpha}^U) = P^U(h, \breve{\alpha}^U)[(\breve{\alpha}^U p_B^H + (1 - \breve{\alpha}^U)p_B^{TU})] + (1 - P^U(h, \breve{\alpha}^U))(\breve{\alpha}^U p_B^{TU} + (1 - \breve{\alpha}^U)p_B^L)$. Quelques manipulations permettent d'obtenir la valeur de $\breve{\alpha}^U$. A partir de la Défintion 1 et sachant que $\hat{p}_B(\breve{\alpha}^U)$ est croissant en α, la Proposition est démontrée. ♦

Preuve 3 : preuve de la Proposition 2

Le point (i) considère une firme optimiste. *Avant* la réception d'un quelconque signal, la croyance *initiale* de la firme quant à la véritable valeur de p_B est telle que : $\hat{p}_B(\alpha) < p_B^{TU}$. A partir du Lemme 1 point (i), nous savons que $\hat{p}_B(\theta^l, \alpha) < \hat{p}_B(\alpha)$. La première partie du point (i) est expliquée. Concernant la seconde partie de ce point, une firme optimiste conserve la technologie A si et seulement si $\hat{p}_B(\theta^h, \alpha) > p_B^{TU}$, c'est-à-dire :

$$
\begin{aligned}
&P^U(h|\theta^h, \alpha)[\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}] + (1 - P^U(h|\theta^h, \alpha))[\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L] > p_B^{TU} \\
&\Leftrightarrow \frac{P^U(h,\alpha)f}{P^U(h,\alpha)f + (1-P^U(h,\alpha))(1-f)}(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) \\
&+\frac{(1-P^U(h,\alpha))(1-f)}{P^U(h,\alpha)f + (1-P^U(h,\alpha))(1-f)}(\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L) > p_B^{TU}
\end{aligned}
$$

Après quelques manipulations nous trouvons : $f_{omin} = \frac{(1-\alpha)(1-P^U(h,\alpha))(p_B^{TU} - p_B^L)}{\alpha P^U(h,\alpha)(p_B^H - p_B^{TU}) + (1-\alpha)(1-P^U(h,\alpha))(p_B^{TU} - p_B^L)}$

Il est facile de vérifier que $f_{omin} = \frac{1}{2}$ lorsque $\alpha = \breve{\alpha}$, et $f_{omin} = 1$ lorsque $\alpha = 0$. Ceci complète le point (i).

Le point (ii) considère une firme pessimiste. La croyance *initiale* d'une firme pessimiste concernant la valeur de p_B est telle que : $\hat{p}_B(\alpha) > p_B^{TU}$. A partir du Lemme 1, nous savons que $\hat{p}_B(\theta^h, \alpha) > \hat{p}_B(\alpha)$. La première partie du point (ii) est expliquée. Une firme pessimiste adopte la technologie B si et seulement si $\hat{p}_B(\theta^l, \alpha) < p_B^{TU}$, c'est-à-dire :

$$
\begin{aligned}
&P^U(h|\theta^l, \alpha)[\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}] + (1 - P^U(h|\theta^l, \alpha))[\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L] < p_B^{TU} \\
&\Leftrightarrow \frac{P^U(h,\alpha)(1-f)}{P^U(h,\alpha)(1-f) + (1-P^U(h,\alpha))f}(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) \\
&+\frac{(1-P^U(h,\alpha))f}{P^U(h,\alpha)f + (1-P^U(h,\alpha))(1-f)}(\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L) < p_B^{TU}
\end{aligned}
$$

Après quelques manipulations nous trouvons : $f_{pmin} = \frac{\alpha P^U(h,\alpha)(p_B^H - p_B^{TU})}{\alpha P^U(h,\alpha)(p_B^H - p_B^{TU}) + (1-\alpha)(1-P^U(h,\alpha))(p_B^{TU} - p_B^L)}$. Il est aisé de vérifier que $f_{pmin} = 1$ lorsque $\alpha = 1$, et $f_{pmin} = \frac{1}{2}$ lorsque $\alpha = \breve{\alpha}$. Ceci complète le point (ii). ♦

Preuve 4 : preuve du Lemme 2

Partant de $W_B > W_A$, $p_B^{TL} > p_B^{TU}$ recquiert :

$$
\begin{aligned}
&1 - \frac{(1-p_A)W_A}{W_B} > \frac{W_B - W_A}{D} + p_A \\
&\Leftrightarrow (1-p_A)D - \frac{(1-p_A)D.W_A}{W_B} > W_B - W_A \\
&\Leftrightarrow (1-p_A)D(W_B - W_A) > (W_B - W_A)W_B \\
&\Leftrightarrow (1-p_A)D > W_B \Leftrightarrow D > W_B + p_A D
\end{aligned}
$$

Par hypothèse nous supposons $W_i - D < 0 \Leftrightarrow D > W_i$, $i = A, B$, de sorte que la firme est en faillite en cas d'accident. Cette condition est satisfaite si la valeur de D est suffisamment élevée.

Partant de $W_B < W_A$, $p_B^{TL} < p_B^{TU}$ recquiert :

$$
\begin{aligned}
&1 - \frac{(1-p_A)W_A}{W_B} < \frac{W_B - W_A}{D} + p_A \\
&\Leftrightarrow (1-p_A)D - \frac{(1-p_A)D.W_A}{W_B} < W_B - W_A \\
&\Leftrightarrow (1-p_A)D(W_A - W_B) > (W_A - W_B)W_B \\
&\Leftrightarrow (1-p_A)D > W_B \Leftrightarrow D > W_B + p_A D
\end{aligned}
$$

Par hypothèse nous supposons $W_i - D < 0 \Leftrightarrow D > W_i$, $i = A, B$, de sorte que la firme est en faillite en cas d'accident. Cette condition est satisfaite si la valeur de D est suffisamment élevée.

Enfin rappelons : $p_B^{TL} = 1 - \frac{(1-p_A)W_A}{W_B}$ et $p_B^{TU} = \frac{W_B - W_A}{D} + p_A$. En posant $W_B = W_A$, on vérifie aisément $p_B^{TL} = p_B^{TU} = p_A$. ♦

Appendice D

Preuve 1 : preuve du Lemme 1

Lorsque $I^* = \bar{I}$ (investissement), la valorisation de cette action par une firme optimiste est donnée par (40).

Sachant $\hat{p}_B(\theta^l, \alpha) = \frac{P^U(h,\alpha)(1-f)}{P^U(h,\alpha)(1-f)+(1-P^U(h,\alpha))f}[\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}] + \frac{(1-P^U(h,\alpha))f}{P^U(h,\alpha)(1-f)+(1-P^U(h,\alpha))f}[\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L]$ et $\hat{p}_B(\theta^h, \alpha) = \frac{P^U(h,\alpha)f}{P^U(h,\alpha)f+(1-P^U(h,\alpha))(1-f)}[\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}] + \frac{(1-P^U(h,\alpha))(1-f)}{P^U(h,\alpha)f+(1-P^U(h,\alpha))(1-f)}[\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L]$, nous pouvons réécrire (40) de la manière suivante :

$$
\begin{aligned}
&-\bar{I} + \int_{\frac{1}{2}}^{1} [(P^U(h,\alpha) + f(1-2P^U(h,\alpha)))W_B \\
&+(-D)[P^U(h,\alpha)(1-f)(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) + (1-P^U(h,\alpha))f(\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L)]]g(f)df \\
&+ \int_{f_{omin}^U}^{1} [((1-P^U(h,\alpha)) + f(2P^U(h,\alpha)-1))(W_A - p_A D)]g(f)df \\
&+ \int_{\frac{1}{2}}^{f_{omin}^U} [(1-(P^U(h,\alpha)) + f(2P^U(h,\alpha)-1))W_B \\
&+(-D)[P^U(h,\alpha)f(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) + (1-P^U(h,\alpha))(1-f)(\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L)]]g(f)df \\
&\Leftrightarrow -\bar{I} + \int_{\frac{1}{2}}^{1} [P^U(h,\alpha)R_{Bh}^U + ((1-P^U(h,\alpha))R_{Bl}^U - P^U(h,\alpha)R_{Bh}^U)f].g(f)df \\
&+ \int_{f_{omin}^U}^{1} [(1-P^U(h,\alpha))R_A^U + (P^U(h,\alpha)R_A^U - (1-P^U(h,\alpha))R_A^U)f].g(f)df \\
&+ \int_{\frac{1}{2}}^{f_{omin}^U} [(1-P^U(h,\alpha))R_{Bl}^U + (P^U(h,\alpha)R_{Bh}^U - (1-P^U(h,\alpha))R_{Bl}^U)f].g(f)df \quad (80)
\end{aligned}
$$

Une firme optimiste fournit un effort en recherche d'informations ($I^* = \bar{I}$) ssi (80) − (41) > 0. ♦

Preuve 2 : preuve de la Proposition 1

Considérons l'expression (42) du Lemme 1. Lorsque $\alpha \longrightarrow 0$, nous savons : $P^U(h,\alpha) \longrightarrow 0$, $f_{omin}^U \longrightarrow 1$. Considérant ces faits, nous pouvons voir que le côté gauche de (42) tend vers $R_{Bl}^U - R_{Bl}^U = 0$. Ceci est le point (i).

Considérons le côté gauche de (42). Sa dérivée par rapport à p_A est :

$$
\int_{f_{omin}^U}^{1} (1-P^U(h,\alpha))(-D) + [P^U(h,\alpha)(-D) - (1-P^U(h,\alpha))(-D)]f.g(f)df < 0
$$

Ainsi, une augmentation (diminution) de p_A réduit (accroît) la possibilité de choisir $I^* = \bar{I}$. Ceci est le point (ii). ♦

Preuve 3 : preuve du Lemme 2

Pour $I^* = \bar{I}$, la valorisation de cette action par une firme pessimiste est donnée par (43). Sachant $\hat{p}_B(\theta^l, \alpha) = \frac{P^U(h,\alpha)(1-f)}{P^U(h,\alpha)(1-f)+(1-P^U(h,\alpha))f}[\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}] + \frac{(1-P^U(h,\alpha))f}{P^U(h,\alpha)(1-f)+(1-P^U(h,\alpha))f}[\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L]$, nous pouvons écrire (43) de la manière suivante :

$$
\begin{aligned}
&-\bar{I} + \int_{\frac{1}{2}}^{1} [((1 - P^U(h,\alpha)) + f(2P^U(h,\alpha) - 1))(W_A - p_A D)]g(f)df \\
&+ \int_{f_{pmin}^U}^{1} [(P^U(h,\alpha) + f(1 - 2P^U(h,\alpha))W_B) \\
&+(-D)[P^U(h,\alpha)(1-f)(\alpha p_B^H + (1-\alpha)p_B^{TU}) + (1 - P^U(h,\alpha))f(\alpha p_B^{TU} + (1-\alpha)p_B^L)]]g(f)df \\
&+ \int_{\frac{1}{2}}^{f_{pmin}^U} [((P^U(h,\alpha)) + f(1 - 2P^U(h,\alpha)))(W_A - p_A D)]g(f)df \\
&\Leftrightarrow -\bar{I} + \int_{\frac{1}{2}}^{1} [(1 - P^U(h,\alpha))R_A^U + ((2P^U(h,\alpha) - 1)R_A^U)f]g(f)df \\
&+ \int_{f_{pmin}^U}^{1} [P^U(h,\alpha)R_{Bh}^U + ((1 - P^U(h,\alpha))R_{Bl}^U - P^U(h,\alpha)R_{Bh}^U)f]g(f)df \\
&+ \int_{\frac{1}{2}}^{f_{pmin}^U} [P^U(h,\alpha)R_A^U + (1 - 2P^U(h,\alpha))R_A^U f]g(f)df \qquad (81)
\end{aligned}
$$

Une firme pessimiste investit en recherche d'informations ($I^* = \bar{I}$) ssi (81) - (44) > 0. ♦

Preuve 4 : preuve de la Proposition 2

Considérons l'expression (45) du Lemme 2. Lorsque $\alpha \longrightarrow 1$, nous savons : $P^U(h,\alpha) \longrightarrow 1$, $f_{pmin}^U \to 1$. Considérant ces faits, nous pouvons voir que le côté gauche de (81) tend vers $R_A^U - R_A^U = 0$. Ceci est le point (i).

Considérons le côté gauche de (81). Sa dérivée par rapport à p_B^L est :

$$\int_{f_{pmin}^U}^{1} [(1 - P^U(h,\alpha))(1-\alpha)(-D)]f.g(f)df < 0$$

Considérons le côté gauche de (81). Sa dérivée par rapport à p_B^H est :

$$\int_{f_{pmin}^U}^{1} [P^U(h,\alpha)\alpha(-D) + (-P^U(h,\alpha))\alpha(-D))f]g(f)df < 0$$

Ceci est le point (ii). ♦

Appendice E

Preuve 1 : preuve de la Proposition 2

Point (ii) : quelle que soit la règle de responsabilité en vigueur, à l'équilibre nous avons $x_i^k = x_i^*$ (e donné, $k = SL, N$). En outre, la situation d'équilibre aboutit à innovation *et* diffusion, ou à non innovation : pour tout $\alpha < 1$, il n'existe pas de situation où I a intérêt à innover et NI à ne pas adopter la nouvelle technologie. Dès lors, le coût social peut s'écrire ($\forall e > 0$)

$$SC = 2[c_B(x_B^*, e) + p_B(x_B^*, e)D] + e \tag{82}$$

Si, $\forall e$ tel que $e < e^*$, une augmentation de e est socialement souhaitable, alors le point (ii) est démontré. Nous avons :

$$\frac{dSC}{de}|_{0<e<e^*} = \\ 2\frac{\partial c_B(x_B^*, e)}{\partial e} + 2\frac{\partial p_B(x_B^*, e)}{\partial e}D + 1 + 2\frac{dx_B^*}{de}.\frac{\partial c_B(x_B^*, e)}{\partial x} + 2\frac{dx_B^*}{de}.\frac{\partial p_B(x_B^*, e)}{\partial x}D \tag{83}$$

$$\Leftrightarrow \underbrace{2\frac{\partial c_B(x_B^*, e)}{\partial e} + 2\frac{\partial p_B(x_B^*, e)}{\partial e}D + 1}_{<0} + 2\frac{dx_B^*}{de}.\underbrace{\frac{\partial c_B(x_B^*, e)}{\partial x}}_{V:>0} + 2\frac{dx_B^*}{de}.\underbrace{\frac{\partial p_B(x_B^*, e)}{\partial x}D}_{Z:<0}$$

Concernant la négativité de la première expression sous accolade, voir l'équation (55) (en considérant $e < e^*$ et $\frac{\partial^2 p_B(x,e)}{\partial e^2} > 0$, $\frac{\partial^2 c_B(x,e)}{\partial e^2} > 0$). Ensuite, il suffit de vérifier $\frac{dx}{de} > 0$ pour assurer la négativité de $\frac{dSC^N}{de}|_{0<e<e^*}$. Cela peut être vérifié en considérant l'effet d'un accroissement de e (pour $e < e^*$) sur la condition de premier ordre de x_i^* (considérer (53) en sachant $\frac{\partial^2 p_B(x,e)}{\partial x \partial e} < 0$ et $\frac{\partial^2 c_B(x,e)}{\partial x \partial e} < 0$), ou via l'application du théorème des fonctions implicites : $\frac{dx}{de} = -\frac{\frac{\partial^2 c_i(.,.)}{\partial x \partial e}}{\frac{\partial^2 c_i(.,.)}{\partial x^2}} > 0$. Cette propriété permet alors de vérifier que l'expression notée Z est, en valeur absolue, plus importante que l'expression V en considérant (53), sachant $\frac{\partial^2 p_B(x,e)}{\partial x^2} > 0$, $\frac{\partial^2 c_B(x,e)}{\partial x^2} > 0$. Le point (ii) est démontré. ♦

Preuve 2 : preuve de la Proposition 3

Cette démonstration suit trois points (énoncés en corps de chapitre). Point 1/ : Depuis la démonstration du point (ii) de la Proposition 2, nous savons que pour tout $e > 0$ le coût social est identique pour toutes les règles de responsabilité. Nous savons que $\forall e$

tel que $e < e^*$, une augmentation de e diminue le coût social. Etant donné $e^{SL} < e^*$ dès que $\alpha > 0$, une augmentation de e au-delà de e^{SL} (le niveau qui prévaudrait en présence d'une responsabilité sans faute) est socialement souhaitable.

Point 2/ : Admettons que le Régulateur applique un standard $\bar{x}_B = x_B^{**}$ (qui serait le niveau de prévention adopté en responsabilité sans faute en l'absence de spillovers). Nous obtenons alors :

e^N tel que : $-(2-\alpha)\frac{\partial c_B(x_B^{**},e^N)}{\partial e} = 1$, et e^* tel que : $-2\frac{\partial c_B(x_B^{**},e^*)}{\partial e} - 2\frac{\partial p_B(x_B^{**},e^*)}{\partial e}D = 1$

Nous avons $e^N < e^*$ (spillovers et non prise en compte du bénéfice social en termes de diminution du coût du risque).

Comparons e^N et e^{SL}. En considérant le problème (53) avec $e = e^*$ puis avec $e = e^{SL}$ (sachant $\frac{\partial^2 p_B(x,e)}{\partial x \partial e} < 0$), nous obtenons : $x_B^{**} > x_B^{SL}$. Dès lors, sachant $\frac{\partial^2 c_B(x,e)}{\partial x \partial e} = \frac{\partial^2 c_B(x,e)}{\partial e \partial x} < 0$ il s'ensuit :

$-(2-\alpha)\frac{\partial c_B(x_B^{**},e^{SL})}{\partial e} > -(2-\alpha)\frac{\partial c_B(x_B^{SL},e^{SL})}{\partial e}$

Or nous avons à l'équilibre (respectivement en négligence et en responsabilité sans faute) :

$-(2-\alpha)\frac{\partial c_B(x_B^{**},e^N)}{\partial e} = 1$, et $-(2-\alpha)\frac{\partial c_B(x_B^{SL},e^{SL})}{\partial e} - (2-\alpha)\frac{\partial p_B(x_B^{SL},e^{SL})}{\partial e}D = 1$

Pour $\frac{\partial p_B(.,e)}{\partial e} = 0$ nous obtenons :

$-(2-\alpha)\frac{\partial c_B(x_B^{**},e^{SL})}{\partial e} > -(2-\alpha)\frac{\partial c_B(x_B^{**},e^N)}{\partial e} = -(2-\alpha)\frac{\partial c_B(x_B^{SL},e^{SL})}{\partial e} = 1$

Ainsi, lorsque $|\frac{\partial p_B(.,e)}{\partial e}|$ est suffisamment faible (innovation *essentiellement* coût), et sachant $\frac{\partial^2 c_B(x,e)}{\partial e^2} > 0$ nous obtenons $e^* > e^N > e^{SL}$.

En revanche, si l'importance relative de $|\frac{\partial p_B(.,e)}{\partial e}|$ par rapport à $|\frac{\partial c_B(.,e)}{\partial e}|$ est grande, le bénéfice marginal de la R&D en responsabilité sans faute devient sensiblement plus important que le bénéfice marginal en négligence (à x donné). Sachant $\frac{dx}{de} > 0$ nous obtenons en présence d'un Régulateur conformiste : $e^{SL} > e^N$ et $x_B^{SL} > \bar{x}_B$. Cette différence s'accroît avec l'importance relative de $|\frac{\partial p_B(.,e)}{\partial e}|$: au-delà d'un certain seuil, l'importance de l'impact-sécuritaire est tel qu'il est impossible de faire adopter un standard de prévention supérieur au niveau de prévention prévalant en responsabilité sans faute : x_B^{SL} est trop élevé, trop coûteux à atteindre (eu égard de l'avancée technologique qu'il est possible d'atteindre avec les incitations à la R&D exercées par la règle négligence). Au final, il est possible de faire adopter un standard de négligence $\bar{x}_B > x_B^{SL}$ uniquement si l'impact-sécuritaire ($|\frac{\partial p_B(.,e)}{\partial e}|$) de l'innovation est limité.

Point 3/ : Nous avons : $SC = 2[c_B(\bar{x}_B, e^N) + p_B(\bar{x}_B, e^N)D] + e^N$ Dès lors :

$$\frac{dSC}{dx} = 2\frac{\partial c_B(\bar{x}_B, e^N)}{\partial x} + 2\frac{\partial p_B(\bar{x}_B, e^N)}{\partial x}D + \frac{de^N}{dx} + 2\frac{de^N}{dx}.\frac{\partial c_B(\bar{x}_B, e^N)}{\partial e} + 2\frac{de^N}{dx}.\frac{\partial p_B(\bar{x}_B, e^N)}{\partial e}D$$

$$\Leftrightarrow \underbrace{2\left[\frac{\partial c_B(\bar{x}_B, e^N)}{\partial x} + \frac{\partial p_B(\bar{x}_B, e^N)}{\partial x}D\right]}_{(V)} + \frac{de^N}{dx}\underbrace{\left[1 + 2\frac{\partial c_B(\bar{x}_B, e^N)}{\partial e} + 2\frac{\partial p_B(\bar{x}_B, e^N)}{\partial e}D\right]}_{(Z)}$$

(V) représentant le bénéfice marginal net de la prévention, (Z) représentant le bénéfice marginal net de la R&D.

Posons $\bar{x}_B = x_B^{SL}$. Nous obtenons :

$$\underbrace{-2\left[\frac{\partial c_B(x_B^{SL}, e^N)}{\partial x} + \frac{\partial p_B(x_B^{SL}, e^N)}{\partial x}D\right]}_{V:=0} + \frac{de^N|_{\bar{x}_B = x_B^{SL}}}{dx}\underbrace{\left[1 + 2\frac{\partial c_B(x_B^{SL}, e^N)}{\partial e} + 2\frac{\partial p_B(x_B^{SL}, e^N)}{\partial e}D\right]}_{Z:<0}$$

L'expression (V) est égalisée à zéro (condition d'équilibre de x_B^*) alors que l'expression (Z) est négative (voir (63)). Par conséquent, la négativité de $\frac{dSC}{dx}|_{\bar{x}_B = x_B^{SL}}$ est assurée dès lors que : $\frac{de^N|_{\bar{x}_B = x_B^{SL}}}{dx} > 0$. Grâce au théorème des fonctions implicites nous obtenons : $\frac{de}{dx} = -\frac{\frac{\partial^2 c_B(x,e)}{\partial x \partial e}}{\frac{\partial^2 c_B(x,e)}{\partial e \partial e}} > 0$.

♦

Annexes

Annexe A

Analyse de la stratégie de choix technologique en responsabilité limitée lorsque $\bar{I}$ constitue un coût dit monétaire (réduisant le niveau de solvabilité de la firme)

Dans cette section, nous allons décrire les conséquences de l'introduction d'un coût de recherche en informations *monétairement* coûteux (réduisant le niveau de solvabilité de la firme), et déterminer la stratégie de choix technologique de la firme dans ce contexte afin de montrer que la prise en compte d'une telle hypothèse ne modifie pas la nature des résultats déterminés précédemment dans notre étude.

Dans un tel contexte la fonction de valorisation d'une firme adoptant, par exemple, la technologie A après avoir investi en recherche d'informations peut s'écrire de la manière suivante :

$$V_A^L[\bar{I}, \alpha] = (1 - p_A)[W_A - \bar{I}]$$

Dès lors, selon que la firme ait investi ou non en recherche d'informations avant d'effectuer son choix technologique, le niveau de solvabilité de la firme (et, donc, le montant des réparations à payer en cas d'accident) n'est pas le même. Par conséquent, en présence d'un régime de responsabilité limitée, nous allons montrer que le fait même d'investir en recherche d'informations supplémentaires va modifier le comportement de la firme en termes de choix technologique. En effet, lorsque la firme n'investit pas en recherche d'informations son choix technologique sera guidé par sa croyance quant à la véritable valeur de p_B, $\hat{p}_B(\alpha)$, par rapport à $p_B^{TL}(0)$, qui vérifie :

$$(1 - p_A)W_A = (1 - p_B^{TL}(0))W_B$$

soit $p_B^{TL}(0) = 1 - [\frac{(1-p_A)W_A}{W_B}]$.
En revanche, dès lors que la firme investit en recherche d'informations son choix technologique sera guidé par la valeur de sa croyance (révisée) quant au véritable p_B par

rapport à $p_B^{TL}(\bar{I})$, qui vérifie :

$$(1-p_A)[W_A-\bar{I}] = (1-p_B^{TL}(\bar{I}))[W_B-\bar{I}]$$

soit $p_B^{TL}(\bar{I}) = 1-[\frac{(1-p_A)(W_A-\bar{I})}{W_B-\bar{I}}]$.

Cette particularité est la conséquence d'un phénomène de *subvention à la dépense* tel que celui décrit par Beard (1990) dans le cadre de l'application de mesures de prévention *monétaires*, en présence d'un régime de responsabilité limitée. Etant donné la contrainte de solvabilité de la firme, le coût marginal de toute dépense est de $(1-p_i)$, $i = A, B$, au lieu de 1 puisque toute dépense réduit d'autant le montant des réparations à payer en cas d'accident. De ce fait, selon la technologie considérée [147], le coût marginal de l'investissement en recherche d'informations n'est, au final, pas le même. Par conséquent, le fait même d'investir modifie le critère de choix technologique (i.e. la probabilité-seuil) par rapport à une firme n'investissant pas.

Notons qu'en présence d'un régime de responsabilité illimitée, la présence d'un investissement *monétaire* réduit aussi la solvabilité de la firme, mais n'a cependant aucun impact sur le choix technologique puisque le phénomène de subvention à la dépense ne s'applique pas : le montant à payer en cas d'accident reste D, quel que soit le niveau de solvabilité de la firme. Une réduction du niveau de solvabilité de la firme ne fait qu'opérer un transfert du montant à payer en cas d'accident de la firme vers les actionnaires de cette dernière (qui sont supposés toujours suffisamment solvables).

Comme ce fut le cas lors de la comparaison effectuée en corps de chapitre entre responsabilité illimitée et responsabilité limitée (avec un investissement non monétaire, ne réduisant pas la solvabilité de la firme), nous trouvons ici, en responsabilité limitée, des définitions différentes des états de la Nature selon que la firme investisse ou non en recherche d'informations. Ainsi, pour une firme n'investissant pas en recherche d'informations les états de la Nature sont les suivants :

- Etat l : $p_B \in [p_B^L, p_B^{TL}(0)]$
- Etat h : $p_B \in [p_B^{TL}(0), p_B^H]$

et $P^L(h,\alpha,0)$ représente la croyance de la firme en l'occurrence de l'état h, $(1-P(h,\alpha,0))$

147. Le coût marginal d'une unité monétaire dépensée en recherche d'informations est de $(1-p_A)$ lorsque la technologie A est considérée, et de $(1-\hat{p}_B(\alpha))$ pour la technologie B, sachant que seules des croyances suffisamment faibles sont admises dans ce cas.

la croyance en l'état l.

En revanche, lorsque la firme investit en recherche d'informations les états sont définis de la manière suivante :

- Etat l : $p_B \in [p_B^L, p_B^{TL}(\bar{I})]$
- Etat h : $p_B \in [p_B^{TL}(\bar{I}), p_B^H]$

et $P^L(h, \alpha, \bar{I})$ est la croyance initiale en l'état h d'une firme *ayant investi* en recherche d'informations, mais *avant réception d'un signal d'information* (c'est cette croyance qui est ensuite révisée à l'aune de θ^j, $j = l, h$).

Par conséquent, par rapport au cas traité en corps de chapitre, ce ne sont plus deux mais trois types de firmes qui sont à considérer.

Ainsi, selon le niveau de W_B par rapport à W_A, nous pouvons montrer que :

- lorsque $W_B > W_A$, il suit $p_B^{TL}(\bar{I}) > p_B^{TL}(0)$,
- lorsque $W_B < W_A$, il suit $p_B^{TL}(\bar{I}) < p_B^{TL}(0)$,
- lorsque $W_B = W_A$, il suit $p_B^{TL}(\bar{I}) = p_B^{TL}(0)$,

puisque, considérant un accroissement de la valeur de $\bar{I}$ nous trouvons : $\frac{\partial p_B^{TL}(\bar{I})}{\partial \bar{I}} = \frac{(1-p_A)[W_B - W_A]}{(W_B - \bar{I})^2}$.

Prenant l'exemple pour lequel $W_B > W_A$, $p_B^{TL}(\bar{I}) > p_B^{TL}(0)$ peut s'expliquer de la façon suivante. Considérons le cas limite d'une firme pour laquelle, avant d'effectuer tout investissement en recherche d'informations, $\hat{p}_B(\alpha) = p_B^{TL}(0) - \epsilon$, $\epsilon \to 0$.[148] Considérons que la firme investisse en recherche d'informations. Dans l'hypothèse où le signal reçu est très peu fiable de sorte que la firme conserve sa croyance initiale ($f = \frac{1}{2}$) et adopte la technologie B, l'adoption de la technologie B rend le coût espéré de l'investissement moins élevé qu'il ne le serait si la technologie A avait été adoptée ($(1 - p_B^{TL}(0)) < (1 - p_A)$). Par conséquent, en cas d'investissement, l'exigence en termes de coût du risque pour adopter la technologie B est plus lâche qu'en cas de non investissement, conduisant à $p_B^{TL}(\bar{I}) > p_B^{TL}(0)$ (et, dans ce cas, l'adoption de B est confirmée).

Dans le cas où $W_B < W_A$, le raisonnement inverse prévaut : considérant une firme pour laquelle $\hat{p}_B(\alpha) = p_B^{TL}(0) - \epsilon$, $\epsilon \to 0$, l'investissement est plus coûteux suite à l'adoption de la technologie B que suite à l'adoption de la technologie A ($(1 - p_B^{TL}(0)) > (1 - p_A)$). Dès lors, l'exigence en termes de coût du risque pour adopter la technologie B devient

148. Il s'agit donc de la croyance la plus élevée assurant la préférence pour la technologie B lorsqu'aucun investissement n'est réalisé, en responsabilité limitée.

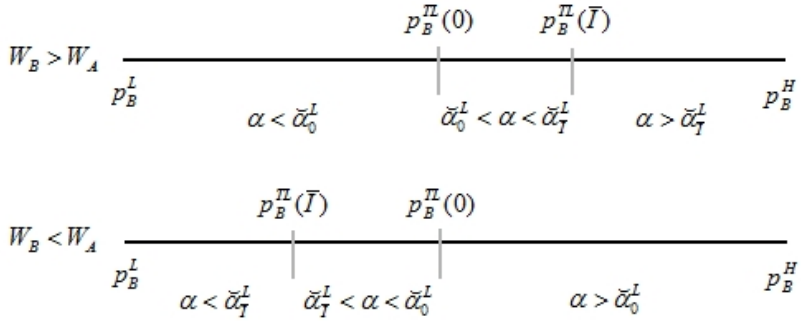
plus stricte : $p_B^{TL}(\bar{I}) < p_B^{TL}(0)$.

Définition 1 : Définissons trois types de firmes en responsabilité limitée :

- Lorsque $W_B > W_A$ ($W_B > W_A$), appelons "optimiste" une firme caractérisée par $\alpha < \check{\alpha}_0^L$ ($\alpha < \check{\alpha}_{\bar{I}}^L$)
- Lorsque $W_B > W_A$ ($W_B > W_A$), appelons "modérée" une firme caractérisée par $\check{\alpha}_0^L < \alpha < \check{\alpha}_{\bar{I}}^L$ ($\check{\alpha}_{\bar{I}}^L < \alpha < \check{\alpha}_0^L$)
- Lorsque $W_B > W_A$ ($W_B > W_A$), appelons "pessimiste" une firme caractérisée par $\alpha > \check{\alpha}_{\bar{I}}^L$ ($\alpha > \check{\alpha}_0^L$)

avec $\check{\alpha}_0^L$ tel que $\hat{p_B}(\check{\alpha}_0^L) = p_B^{TL}(0)$, $\check{\alpha}_{\bar{I}}^L$ tel que $\hat{p_B}(\check{\alpha}_{\bar{I}}^L) = p_B^{TL}(\bar{I})$.
La situation peut être représentée de la manière suivante.

Figure 1 : Les trois types de firmes en responsabilité limitée



Cette figure, tout comme la figure 2 du chapitre 3, nous permet de situer, selon la valeur de l'index de pessimisme α, la croyance de la firme par rapport aux probabilités-seuils [149]. Ces trois types de firmes adoptent les stratégies suivantes en matière de choix technologique. Si la firme est optimiste, alors :

- sans information nouvelle, elle adopte la technologie B.
- lorsqu'elle reçoit θ^l, elle adopte B quel que soit f.
- lorsqu'elle reçoit θ^h, elle adopte A si $f > f_{omin}^L$; sinon elle adopte B.

Si la firme est pessimiste, alors :

- sans information nouvelle, elle adopte la technologie A.
- lorsqu'elle reçoit θ^h, elle adopte A quel que soit f.
- lorsqu'elle reçoit θ^l, elle adopte B si $f > f_{pmin}^L$; sinon elle adopte A.

avec $f_{omin}^L = \frac{(1-\alpha)(1-P^L(h,\alpha,\bar{I}))(p_B^{TL}(\bar{I})-p_B^L)}{\alpha P^L(h,\alpha,\bar{I})(p_B^H-p_B^{TL}(\bar{I}))+(1-\alpha)(1-P^L(h,\alpha,\bar{I}))(p_B^{TL}(\bar{I})-p_B^L)}$, $f_{omin}^L \in [\frac{1}{2},1]$, f_{omin}^L décroissant en α, et $f_{pmin}^L = \frac{\alpha P^L(h,\alpha,\bar{I})(p_B^H-p_B^{TL}(\bar{I}))}{\alpha P^L(h,\alpha,\bar{I})(p_B^H-p_B^{TL}(I^*=\bar{I}))+(1-\alpha)(1-P^L(h,\alpha,\bar{I}))(p_B^{TL}(\bar{I})-p_B^L)}$, $f_{pmin}^L \in [\frac{1}{2},1]$,

149. Rappelons que la croyance de la firme ($\hat{p}_B(\alpha)$ si initiale, $\hat{p}_B(\theta^j,\alpha)$ si révisée) est croissante en α, et notamment égale à p_B^L quand $\alpha = 0$, égale à p_B^H quand $\alpha = 1$

f^L_{pmin} croissant en α.

En revanche, si la firme est modérée, il faut distinguer selon les niveaux relatifs des revenus d'activité. Lorsque $W_B > W_A$, une firme modérée adopte la stratégie suivante :

- sans information nouvelle, elle adopte la technologie A
- lorsqu'elle reçoit θ^h, elle adopte A si $f > f^L_{omin}$; sinon elle adopte B
- lorsqu'elle reçoit θ^l, elle adopte B quel que soit f.

Lorsque $W_B < W_A$, une firme modérée adopte la stratégie suivante :

- sans information nouvelle, elle adopte la technologie B
- lorsqu'elle reçoit θ^h, elle adopte A quel que soit f
- lorsqu'elle reçoit θ^l, elle adopte B si $f > f^L_{pmin}$; sinon elle adopte A.

La démonstration de ce résultat est similaire à celle des Propositions 1 et 2 du chapitre 3, f^L_{omin} étant le seuil de fiabilité f à partir duquel $\hat{p}_B(\theta^h, \alpha) > p^{TL}_B(\bar{I})$ et f^L_{pmin} étant le seuil de fiabilité f à partir duquel $\hat{p}_B(\theta^l, \alpha) < p^{TL}_B(\bar{I})$.

A présent, il convient de comparer les stratégies adoptées en responsabilité limitée à celles adoptées en responsabilité illimitée. A partir du Lemme 2 du chapitre 3 nous pouvons trouver :

- Si $W_B > (<) W_A$, alors $p^{TL}_B(\bar{I}) > (<) p^{TL}_B(0) > (<) p^{TU}_B > (<) p_A$
- Si $W_B = W_A$, alors $p^{TL}_B(\bar{I}) = p^{TL}_B(0) = p^{TU}_B = p_A$

De manière similaire à la Remarque 1 formulée dans le chapitre 3, nous obtenons :

- Si $W_B > (<) W_A$, alors $P^L(h, \alpha, \bar{I}) < (>) P^L(h, \alpha, 0) < (>) P^U(h, \alpha)$
- Si $W_B = W_A$, alors $P^L(h, \alpha, \bar{I}) = P^L(h, \alpha, 0) = P^U(h, \alpha)$

Par conséquent, pareillement au Lemme 3 du chapitre 3 nous obtenons :

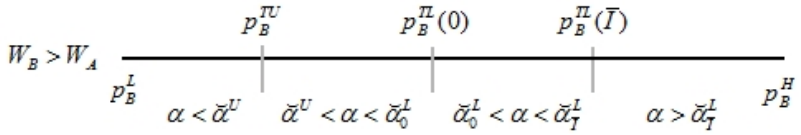
- Si $W_B > W_A$, alors :
  - $f^L_{pmin} < f^U_{pmin}$, pour un même α
  - $f^L_{omin} > f^U_{omin}$, pour un même α
- Si $W_B < W_A$, alors :
  - $f^L_{pmin} > f^U_{pmin}$, pour un même α
  - $f^L_{omin} < f^U_{omin}$, pour un même α
- Si $W_B = W_A$, alors $f^L_{pmin} = f^U_{pmin}$ (α donné) et $f^L_{omin} < f^U_{omin}$ (α donné).

Ainsi, nous pouvons retrouver le résultat principal de notre analyse selon lequel, quelle que soit l'information disponible sur le risque inhérent à la technologie "ambigüe", le

régime de responsabilité limitée favorise l'adoption de la technologie procurant le revenu d'activité le plus élevé [150].

Pour le vérifier, considérons le cas où $W_B > W_A$. Sachant $p_B^{TL}(0) > p_B^{TU}$, il est plus vraisemblable qu'une firme n'ayant pas investi en recherche d'informations adopte la technologie B en responsabilité limitée qu'en responsabilitée illimitée. Considérons à présent une firme ayant investi en recherche d'informations. Les informations énoncées ci-dessus peuvent être synthétisées de la façon suivante :

Figure 2 : Situation des probabilités-seuil, avec investissement monétaire



Pour toute valeur de α, nous pouvons montrer que le régime de responsabilité limitée favorise l'adoption de la technologie procurant le plus important revenu d'activité, B. Pour $\alpha < \breve{\alpha}^U$, la firme est considérée comme optimiste quel que soit le régime de responsabilité. En revanche, $f_{omin}^L > f_{omin}^U$ prévaut, ce qui signifie que le seuil minimal de fiabilité pour qu'un signal θ^h conduise la firme à adopter la technologie A est plus important en responsabilité limitée qu'en responsabilité illimitée. L'adoption de la technologie B est alors facilitée en responsabilité limitée.

Pour $\breve{\alpha}^U < \alpha < \breve{\alpha}_0^L$, la firme est considérée comme optimiste en responsabilité limitée mais comme pessimiste en responsabilité illimitée. Les stratégies sont alors diamétralement opposées : en responsabilité limitée la firme adopte la technologie B sauf en cas de réception d'un signal θ^h suffisamment fiable, alors qu'en responsabilité illimitée elle conserve la technologie A sauf en cas de réception d'un signal θ^l suffisamment fiable.

Pour $\breve{\alpha}_0^L < \alpha < \breve{\alpha}_{\bar{I}}^L$, la firme est toujours pessimiste en responsabilité illimitée, mais est modérée en responsabilité limitée. Dans ce cas, sans information la firme adopterait A (comme une firme pessimiste) mais, dès lors qu'elle investit en recherche d'informations, l'adoption de la technologie B est facilitée en ce sens que la conservation de la technologie A ne peut avoir lieu uniquement après réception d'un signal θ^h suffisamment fiable (comportement assez similaire aux optimistes (après investissement)).

Enfin, pour $\alpha > \breve{\alpha}_{\bar{I}}^L$, la firme est considérée comme pessimiste quel que soit le régime de responsabilité, mais $f_{pmin}^L < f_{pmin}^U$ prévaut, ce qui signifie que le seuil minimal de

150. Et, symétriquement, nous retrouvons la "force tempérante" du régime de responsabilité illimitée qui affaiblit l'attrait de la technologie procurant le revenu d'activité le plus élevé.

fiabilité pour qu'un signal θ^l conduise la firme à adopter la technologie B est plus faible en responsabilité limitée qu'en responsabilité illimitée. L'adoption de la technologie B est alors facilitée en responsabilité limitée.

Un raisonnement similaire peut être établi pour $W_B < W_A$, alors que $W_B = W_A$ entraîne une identicité des comportements de choix technologique entre les deux régimes de responsabilité. Par conséquent, l'hypothèse d'un investissement monétaire en recherche d'informations, réduisant le niveau de solvabilité de la firme, complique l'analyse en dévoilant un troisième type de firme (i.e. firme modérée) en responsabilité limitée sans pour autant remettre en question le résultat principal de notre étude.

Annexe B

Détermination du dommage potentiel maximal

Le montant de l'ensemble des dommages causé par le désastre d'AZF est estimé à environ 2 milliards d'Euros (voir le journal "Le Monde" LeMonde (2009a) et le cabinet juridique Jean-François Carlot, selon lequel le montant total des dommages est compris entre 1,5 et 2,3 milliards d'Euros (http ://www.jurisques.com/jfctoul.htm)).

Ensuite il est nécessaire de connaître l'EBE d'AZF afin de déterminer la valeur du dommage maximal relativement à l'EBE de la firme. Selon le magasine "Usine Nouvelle" UsineNouvelle (2002a), juste avant l'explosion l'activité d'AZF représentait environ 20% du chiffre d'affaires de Grande Paroisse, la maison-mère d'AZF ; ce dernier s'élevant à 723 millions d'Euros. Selon un rapport du Cefic (Conseil Europ. de l'Ind. Chimique (2004) p 9), au sein de l'industrie chimique européenne, l'EBE représente en moyenne environ 10% du chiffre d'affaires des firmes. Nous pouvons déduire que le chiffre d'affaires d'AZF s'élevait environ à 144,6 millions d'Euros, et que son EBE devait approcher 14,46 millions d'Euros. Par conséquent, concernant le désastre d'AZF, le ratio dommages/EBE s'élevait approximativement à 2000/14,46, soit plus que 138.

Notons que nous considérons ici le montant de dommage relativement à l'EBE de la firme qui est *directement* émettrice du risque. En effet notre modèle considère que la firme opérant ne dispose pas d'autres actifs qui pourraient être confisqués pour compenser les victimes, et notamment d'actifs en provenance d'éventuelle(s) maison(s)-mère. Néanmoins en réalité, dans certains cas, une telle possibilité peut exister [151], et une maison-mère peut être tenue responsable des dommages causés par ses filiales (celle-ci devant alors mobiliser ses propres actifs pour compenser les victimes). Pour information, selon UsineNouvelle (2002a), le revenu net de Grande Paroisse avant accident s'élevait à 24 millions d'Euros alors que son capital social s'élevait à 45,6 millions d'Euros (UsineNouvelle (2002b)). Si nous considérons le revenu net de Grande Paroisse, le ratio dommage/actifs disponibles s'élève à 2000/24 = 83,3. Si nous considérons la somme du revenu net et du capital social, le ratio dommage/actifs disponibles tombe alors à 2000/68,6 = 28,74.

151. Aux Etats-Unis, la loi CERCLA (*Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act*) permet d'étendre la responsabilité aux maisons-mère ou aux partenaires financiers dans le cadre de dommages issus de sites de production pollués.

Détermination des valeurs des probabilités : la matrice de criticité issue de la réglementation française sur les installations classées

Bien que la réglementation française requiert que les firmes issues de secteurs à risques entreprennent une évaluation des risques pour obtenir une autorisation d'exploitation (loi 76-663 du 19/07/1976), cette réglementation ne fournit pas de matrice de criticité visant à déterminer si un risque donné est acceptable ou non. En revanche, l'*arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation*[152] établit un cadre analytique en fournissant des échelles de probabilité et des échelles de gravité qui sont utilisées par les firmes spécialisées qui procèdent à des évaluations de risques industriels et environnementaux (notamment dans le cadre de l'élaboration de demandes administratives d'autorisation d'exploitation). La matrice de criticité que nous utilisons pour illustration dans notre étude (voir ci-dessous) a été élaborée par une firme spécialisée dans l'évalution des risques, dans le cadre d'une demande d'autorisation d'exploitation[153].

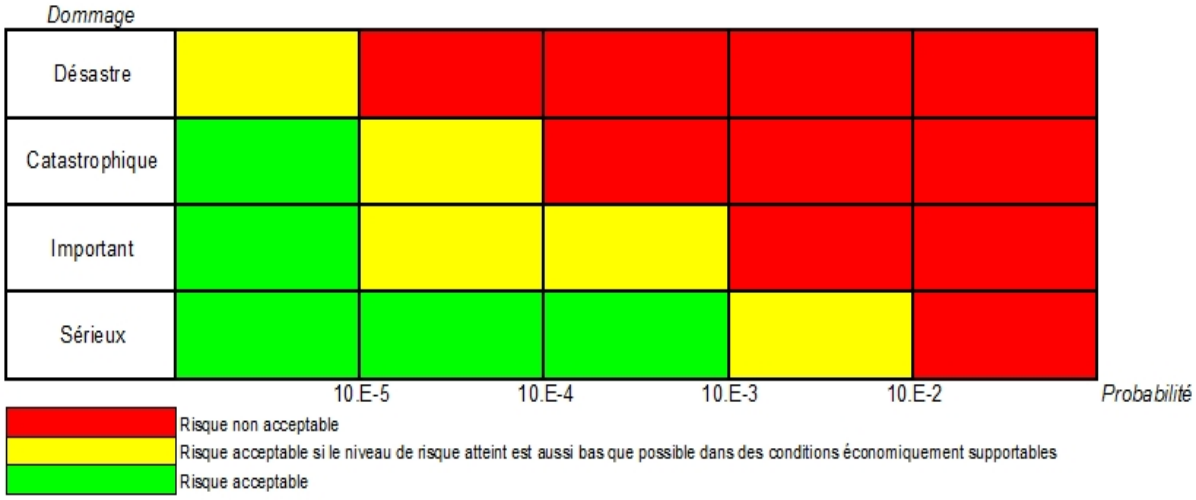
Notons aussi que depuis le désastre d'AZF, des analyses de risques des installations classées sont en cours de réalisation en vue de définir des "plans de prévention des risques technologiques" (loi 2003-699 du 30/07/2003). Ces plans ont pour but d'aider à définir une urbanisation adaptée[154] autour des sites à risque (en définissant des zones pour lesquelles les constructions doivent être, par exemple, renforcées ou interdites si le dommage potentiel est trop important).

152. Disponible en ligne sur : http ://aida.ineris.fr/aida/ ?q=consult_doc/consultation/2.250.190.28.8.1651/2.250.190.28.2.11 ; or at : http ://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do ?cidTexte=LEGITEXT000021247697

153. Cette demande concerne une firme souhaitant installer un site de recyclage de déchets chimiques. L'analyse est disponible en ligne : http ://www.haute-garonne.equipement-agriculture.gouv.fr/rubrique.php3 ?id_rubrique=1484

154. En effet, concernant AZF l'usine était historiquement située en dehors de la ville, mais l'urbanisation s'est par la suite étendue jusqu'au site industriel.

Figure 1 : matrice de criticité



Les probabilités sont des estimations quantitatives (pour chaque risque de procédé pour une période d'un an). Concernant l'échelle de gravité, l'Annexe III de l'arrêté du 29/09/2005 fournit les détails suivants. Pour chaque type de risque (sérieux, important, catastrophique et désastre), trois zones de gravité sont définies autour du site concerné ; les types de risque sont déterminés selon la gravité des dommages atteinte dans chaque zone (voir le tableau ci-dessous) :

Tableau 5 : échelle de gravité

NIVEAU DE GRAVITÉ des conséquences	ZONE DÉLIMITÉE PAR LE SEUIL des effets létaux significatifs	ZONE DÉLIMITÉE PAR LE SEUIL des effets létaux	ZONE DÉLIMITÉE PAR LE SEUIL des effets irréversibles sur la vie humaine
Désastreux.	Plus de 10 personnes exposées (1).	Plus de 100 personnes exposées.	Plus de 1 000 personnes exposées.
Catastrophique.	Moins de 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes.	Entre 100 et 1 000 personnes exposées.
Important.	Au plus 1 personne exposée.	Entre 1 et 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.
Sérieux.	Aucune personne exposée.	Au plus 1 personne exposée.	Moins de 10 personnes exposées.

Source : Arrêté du 29 septembre 2005, Annexe III

Lorsque les trois critères (pour les trois zones) ne conduisent pas à la même classe de gravité, la loi retient la classe la plus dangereuse.

Notons enfin que nous ne faisons pas de différence entre les risques "acceptables" et les risques "acceptables si le niveau de risque atteint est aussi bas que possible dans des conditions économiquement supportables". Pour simplifier, nous considérons que tous ces risques sont acceptables.

Exemple de choix technologique trivial en présence de faibles probabilités et de faibles différences en EBE

Considérons l'exemple suivant : $p_B^L = 0,0001\%$, $p_B^H = 0,001\%$, $p_A = 0,0005\%$. Avec de telles probabilités, tous les désastres sont acceptables au sens de la réglementation française. Pour un EBE de la technologie B égal à 100,001 (i.e. l'EBE avec A plus 0,001%), nous obtenons $p_B^{TL} > p_B^H$: en responsabilité limitée la technologie B est toujours choisie quel que soit p_B, et quel que soit l'indice d'optimisme/pessimisme. Le cas opposé s'applique avec un EBE égal à 99,999 : $p_B^{TL} < p_B^H$, la technologie B n'est jamais adoptée.

Détermination du ratio R&D/EBE dans l'industrie chimique européenne

A partir d'un rapport du CEFIC (Conseil Europ. de l'Ind. Chimique (2004), p9), nous savons qu'en Europe, en moyenne, l'EBE des firmes du secteur chimique représente environ 10% du montant du chiffre d'affaires. Selon le même rapport (Conseil Europ. de l'Ind. Chimique (2004), p 11) et deux autres rapports (Union des Industries Chimiques (2008), p 9 et

Minist. de l' Eco. des Finances et de l'Indu. (2005), p 23), en Europe en moyenne le ratio R&D/chiffre d'affaires est d'environ 2,2%. Par conséquent le ratio R&D/EBE atteint environ 22%.

Détermination du problème permettant de définir l'effort maximal potentiel en recherche d'informations : cas d'une firme optimiste en responsabilité (stricte et) illimitée

Cet effort maximal potentiel est le résultat de la différence entre la valorisation de l'action "investir en recherche d'informations" et de la valorisation de l'action "ne pas investir".

Nous savons que $V^U(\bar{I}, \alpha < \breve{\alpha}^U)$ peut s'écrire (cf preuve de la Proposition 1 en Appendice D) :

$$\begin{aligned}
&\int_{\frac{1}{2}}^{1} [P^U(h,\alpha)R^U_{Bh}(1-f) + (1-P^U(h,\alpha))fR^U_{Bl}].g(f)df \\
&+ \int_{f^U_{omin}}^{1} [P^U(h,\alpha)fR^U_A + (1-P^U(h,\alpha))(1-f)R^U_A].g(f)df \\
&+ \int_{\frac{1}{2}}^{f^U_{omin}} [P^U(h,\alpha)fR^U_{Bh} + (1-P^U(h,\alpha))(1-f)R^U_{Bl}].g(f)df
\end{aligned}$$

avec $R^U_A = W_A - p_A D$, $R^U_{Bh} = W_B - (\alpha p^H_B + (1-\alpha)p^{TU}_B)D$, $R^U_{Bl} = W_B - (\alpha p^{TU}_B + (1-\alpha)p^L_B)D$.

Considérant que la fiabilité du signal d'information est distribuée selon une loi uniforme entre les valeurs $[\frac{1}{2}, 1]$, nous obtenons alors : $G(f) = \frac{f-\frac{1}{2}}{1-\frac{1}{2}}$, $g(f) = \frac{1}{1-\frac{1}{2}}$. Ainsi nous obtenons :

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{1-\frac{1}{2}}[P^U(h,\alpha)(1-\frac{f^2}{2})R^U_{Bh} + (1-P^U(h,\alpha))\frac{f^2}{2}R^U_{Bl}]^1_{\frac{1}{2}} \\
&+\frac{1}{1-\frac{1}{2}}[P^U(h,\alpha)\frac{f^2}{2}R^U_A + (1-P^U(h,\alpha))fR^U_A - (1-P^U(h,\alpha))\frac{f^2}{2}R^U_A]^1_{f^U_{omin}} \\
&+\frac{1}{1-\frac{1}{2}}[P^U(h,\alpha)\frac{f^2}{2}R^U_{Bh} + (1-P^U(h,\alpha))fR^U_{Bl} - (1-P^U(h,\alpha))\frac{f^2}{2}R^U_{Bl}]^{f^U_{omin}}_{\frac{1}{2}} \\
&\Leftrightarrow \frac{1}{1-\frac{1}{2}}[\frac{1}{8}P^U(h,\alpha)R^U_{Bh} + \frac{3}{8}(1-P^U(h,\alpha))R^U_{Bl}] \\
&+\frac{1}{1-\frac{1}{2}}[(\frac{1}{2} - \frac{(f^U_{omin})^2}{2})P^U(h,\alpha)R^U_A + (\frac{1}{2} - f^U_{omin} + \frac{(f^U_{omin})^2}{2})(1-P^U(h,\alpha))R^U_A] \\
&+\frac{1}{1-\frac{1}{2}}[(\frac{(f^U_{omin})^2}{2} - \frac{1}{8})P^U(h,\alpha)R^U_{Bh} + (f^U_{omin} - \frac{(f^U_{omin})^2}{2} - \frac{3}{8})(1-P^U(h,\alpha))R^U_{Bl}]
\end{aligned}$$

Et nous avons : $V^U(0, \alpha < \breve{\alpha}^U) = W_B - \hat{p_B}(\alpha)D = (1-P^U(h,\alpha))R^U_{Bl} + P^U(h,\alpha)R^U_{Bh}$

Détermination du problème permettant de définir l'effort maximal potentiel en recherche d'informations : cas d'une firme pessimiste en responsabilité (stricte et) illimitée

Cet effort maximal potentiel résulte de la différence entre la valorisation de l'action "investir en recherche d'informations" et la valorisation de l'action "ne pas investir".
Nous savons la valorisation de l'action d'investir en recherche d'informations peut s'écrire (cf preuve de la Proposition 2 en Appendice) :

$$\int_{\frac{1}{2}}^{1}[P^U(h,\alpha)fR_A^U+(1-P^U(h,\alpha))(1-f)R_A^U]g(f)df$$
$$+\int_{f_{pmin}^U}^{1}[P^U(h,\alpha)(1-f)R_{Bh}^U+(1-P^U(h,\alpha))fR_{Bl}^U]g(f)df$$
$$+\int_{\frac{1}{2}}^{f_{pmin}^U}[P^U(h,\alpha)(1-f)R_A^U+(1-P^U(h,\alpha))fR_A^U]g(f)df$$

Sachant que f est distribué sur $[\frac{1}{2},1]$ selon une loi uniforme, nous obtenons :

$$\frac{1}{1-\frac{1}{2}}[P^U(h,\alpha)\frac{f^2}{2}R_A^U+(1-P^U(h,\alpha))fR_A^U-(1-P^U(h,\alpha))\frac{f^2}{2}R_A^U]_{\frac{1}{2}}^{1}$$
$$+\frac{1}{1-\frac{1}{2}}[P^U(h,\alpha)fR_{Bh}^U-P^U(h,\alpha)\frac{f^2}{2}R_{Bh}^U+(1-P^U(h,\alpha))\frac{f^2}{2}R_{Bl}^U]_{f_{pmin}^U}^{1}$$
$$+\frac{1}{1-\frac{1}{2}}[P^U(h,\alpha)fR_A^U-P^U(h,\alpha)\frac{f^2}{2}R_A^U+(1-P^U(h,\alpha))\frac{f^2}{2}R_A^U]_{\frac{1}{2}}^{f_{pmin}^U}$$
$$\Leftrightarrow \frac{1}{1-\frac{1}{2}}[\frac{3}{8}P^U(h,\alpha)R_A^U+\frac{1}{8}(1-P^U(h,\alpha))R_A^U]$$
$$+\frac{1}{1-\frac{1}{2}}[P^U(h,\alpha)R_{Bh}^U(\frac{1}{2}-f_{pmin}^U+\frac{(f_{pmin}^U)^2}{2})+(1-P^U(h,\alpha))R_{Bl}^U(\frac{1}{2}-\frac{(f_{pmin}^U)^2}{2})]$$
$$+\frac{1}{1-\frac{1}{2}}[P^U(h,\alpha)R_A^U(f_{pmin}^U-\frac{(f_{pmin}^U)^2}{2}-\frac{3}{8})+(1-P^U(h,\alpha))R_A^U(\frac{(f_{pmin}^U)^2}{2}-\frac{1}{8})]$$

Et nous avons : $V^U(0,\alpha>\breve{\alpha}^U)=W_A-p_AD=(1-P^U(h,\alpha))R_A^U+P(h,\alpha)R_A^U$.

Détermination du problème permettant de définir l'effort maximal potentiel en recherche d'informations : cas d'une firme optimiste en responsabilité limitée

Comme indiqué dans le corps de chapitre, nous pouvons remarquer que le raisonnement menant à la détermination de l'effort maximal potentiel en recherche d'informations est le même, pour une firme optimiste, quel que soit le régime de responsabilité. Seules les valorisations des bénéfices issus de l'activité productive diffèrent d'un régime à l'autre, amenant aussi à une modification de certains indicateurs de décisions (comme par exemple le seuil minimal de fiabilité du signal θ^h nécessaire pour amener la firme à changer sa position concernant laquelle des deux technologies est la plus profitable (f^U_{omin} en responsabilité illimitée, f^L_{omin} en responsabilité limitée), la probabilité seuil d'accident inhérente à la technologie B pour laquelle la firme est indifférente entre les deux technologies (p^{TU}_B en responsabilité illimitée, p^{TL}_B en responsabilité limitée)).
En considérant ces différences, il est possible de parvenir à une expression similaire à celle obtenue en responsabilité illimitée. C'est pourquoi nous ne détaillons pas ce calcul.

Détermination du problème permettant de définir l'effort maximal potentiel en recherche d'informations : cas d'une firme pessimiste en responsabilité limitée

Comme indiqué dans le corps de chapitre, nous pouvons remarquer que le raisonnement menant à la détermination de l'effort maximal potentiel en recherche d'informations est le même, pour une firme pessimiste, quel que soit le régime de responsabilité. Seules les valorisations des bénéfices issus de l'activité productive diffèrent d'un régime à l'autre, amenant aussi à une modification de certains indicateurs de décisions (comme par exemple le seuil minimal de fiabilité du signal θ^l nécessaire pour amener la firme à changer sa position concernant laquelle des deux technologies est la plus profitable (f^U_{pmin} en responsabilité illimitée, f^L_{pmin} en responsabilité limitée), la probabilité seuil d'accident inhérente à la technologie B pour laquelle la firme est indifférente entre les deux technologies (p^{TU}_B en responsabilité illimitée, p^{TL}_B en responsabilité limitée)).
En considérant ces différences, il est possible de parvenir à une expression similaire à celle obtenue en responsabilité illimitée. C'est pourquoi nous ne détaillons pas ce calcul.

Code-source du programme de calcul numérique de l'effort maximal potentiel des firmes optimistes, en régime de responsabilité illimitée

```
Module1 - 1

Option Base 1

Function p_h(alpha, pbtu, pbl, pbh)

p_h = alpha * (((1 - 3 * (pbtu - ((pbl + pbh) / 2))) ^ (1 / alpha)) / (1 - 3 * (pbtu - ((pbl + pbh)
 / 2))))

End Function

Function f_o_min(alpha, pbh, pbl, pbtu)

Ph = p_h(alpha, pbtu, pbl, pbh)

f_o_min = ((1 - alpha) * (1 - Ph) * (pbtu - pbl)) / (alpha * Ph * (pbh - pbtu) + (1 - alpha) * (1 -
 Ph) * (pbtu - pbl))

End Function


Sub incitation()

pbh =
pbl =
pbtu =
wa = 100
wb =
pa =
D =

borne_inf = 0.01
borne_sup =
pas = 0.01

i = 0

For alpha = borne_inf To borne_sup Step pas

  i = i + 1

  Ph = p_h(alpha, pbtu, pbl, pbh)
  fomin = f_o_min(alpha, pbh, pbl, pbtu)

  invest_max = (1 / (1 - (1 / 2))) * ((1 / 8) * Ph * (wb - (alpha * pbh + (1 - alpha) * pbtu) * D)
+ (3 / 8) * (1 - Ph) * (wb - (alpha * pbtu + (1 - alpha) * pbl) * D)) _
  + (1 / (1 - (1 / 2))) * (Ph * ((1 / 2) - ((fomin ^ (2)) / 2)) * (wa - pa * D) + (1 - Ph) * ((1 /
2) - fomin + ((fomin ^ (2)) / 2)) * (wa - pa * D)) _
  + (1 / (1 - (1 / 2))) * (Ph * (((fomin ^ (2)) / 2) - (1 / 8)) * (wb - (alpha * pbh + (1 - alpha)
* pbtu) * D) + (1 - Ph) * (fomin - ((fomin ^ (2)) / 2) - (3 / 8)) * (wb - (alpha * pbtu + (1 - alph
a) * pbl) * D)) _
  - ((1 - Ph) * (wb - (alpha * pbtu + (1 - alpha) * pbl) * D) + Ph * (wb - (alpha * pbh + (1 - alph
a) * pbtu) * D))

  Cells(i + 1, 2).Value = invest_max
  Cells(i + 1, 1).Value = alpha
  Range("A1").Value = "Alpha"
  Range("B1").Value = "U info - U sans info"

Next alpha

End Sub
```

Code-source du programme de calcul numérique de l'effort maximal potentiel des firmes pessimistes, en régime de responsabilité illimitée

```
Module1 - 1

Option Base 1


Function p_h(alpha, pbtu, pbl, pbh)

p_h = alpha * (((1 - 3 * (pbtu - ((pbl + pbh) / 2))) ^ (1 / alpha)) / (1 - 3 * (pbtu - ((pbl + pbh)
 / 2))))

End Function

Function f_p_min(alpha, pbh, pbl, pbtu)

Ph = p_h(alpha, pbtu, pbl, pbh)

f_p_min = (alpha * Ph * (pbh - pbtu)) / (alpha * Ph * (pbh - pbtu) + (1 - alpha) * (1 - Ph) * (pbtu
 - pbl))

End Function


Sub incitation()

pbh =
pbl =
pbtu =
wa = 100
wb =
pa =
D =

borne_inf =
borne_sup = 1
pas = 0.01

i = 0

For alpha = borne_inf To borne_sup Step pas

  i = i + 1

  Ph = p_h(alpha, pbtu, pbl, pbh)
  fpmin = f_p_min(alpha, pbh, pbl, pbtu)

  invest_max = (1 / (1 - (1 / 2))) * ((3 / 8) * Ph * (wa - pa * D) + (1 / 8) * (1 - Ph) * (wa - pa
* D)) _
             + (1 / (1 - (1 / 2))) * (Ph * ((1 / 2) - fpmin + (1 / 2) * (fpmin) ^ (2)) * (wb - (alph
a * pbh + (1 - alpha) * pbtu) * D) + (1 - Ph) * ((1 / 2) - (1 / 2) * (fpmin) ^ (2)) * (wb - (alpha
* pbtu + (1 - alpha) * pbl) * D)) _
             + (1 / (1 - (1 / 2))) * (Ph * (fpmin - (1 / 2) * (fpmin) ^ (2) - (3 / 8)) * (wa - pa *
D) + (1 - Ph) * ((1 / 2) * (fpmin) ^ (2) - (1 / 8)) * (wa - pa * D)) _
             - ((1 - Ph) * (wa - pa * D) + Ph * (wa - pa * D))

  Cells(i + 1, 2).Value = invest_max
  Cells(i + 1, 1).Value = alpha
  Range("A1").Value = "Alpha"
  Range("B1").Value = "U info - U sans info"

Next alpha

End Sub
```

Code-source du programme de calcul numérique de l'effort maximal potentiel des firmes optimistes, en régime de responsabilité limitée

```
Module1 - 1

Option Base 1


Function p_h(alpha, pbtl, pbl, pbh)

p_h = alpha * (((1 - 3 * (pbtl - ((pbl + pbh) / 2))) ^ (1 / alpha)) / (1 - 3 * (pbtl - ((pbl + pbh)
 / 2))))

End Function

Function fl_o_min(alpha, pbh, pbl, pbtl)

Ph = p_h(alpha, pbtl, pbl, pbh)

fl_o_min = ((1 - alpha) * (1 - Ph) * (pbtl - pbl)) / (alpha * Ph * (pbh - pbtl) + (1 - alpha) * (1
- Ph) * (pbtl - pbl))

End Function


Sub incitation()

pbh =
pbl =
pbtl =
wa = 100
wb =
pa =

borne_inf = 0.01
borne_sup =
pas = 0.01

i = 0

For alpha = borne_inf To borne_sup Step pas

  i = i + 1

  Ph = p_h(alpha, pbtl, pbl, pbh)
  flomin = fl_o_min(alpha, pbh, pbl, pbtl)

  invest_max = (1 / (1 - (1 / 2))) * ((1 / 8) * Ph * ((1 - (alpha * pbh + (1 - alpha) * pbtl)) * wb
) + (3 / 8) * (1 - Ph) * ((1 - (alpha * pbtl + (1 - alpha) * pbl)) * wb)) _
            + (1 / (1 - (1 / 2))) * (Ph * ((1 / 2) - (1 / 2) * (flomin) ^ (2)) * ((1 - pa) * wa) +
(1 - Ph) * ((1 / 2) - flomin + (1 / 2) * (flomin) ^ (2)) * ((1 - pa) * wa)) _
            + (1 / (1 - (1 / 2))) * (Ph * ((1 / 2) * (flomin) ^ (2) - (1 / 8)) * ((1 - (alpha * pbh
 + (1 - alpha) * pbtl)) * wb) + (1 - Ph) * (flomin - (1 / 2) * (flomin) ^ (2) - (3 / 8)) * ((1 - (a
lpha * pbtl + (1 - alpha) * pbl)) * wb)) _
            - ((1 - Ph) * ((1 - (alpha * pbtl + (1 - alpha) * pbl)) * wb) + Ph * ((1 - (alpha * pbh
 + (1 - alpha) * pbtl)) * wb))

  Cells(i + 1, 2).Value = invest_max
  Cells(i + 1, 1).Value = alpha
  Range("A1").Value = "Alpha"
  Range("B1").Value = "U info - U sans info"

Next alpha

End Sub
```

Code-source du programme de calcul numérique de l'effort maximal potentiel des firmes pessimistes, en régime de responsabilité limitée

```
Module1 - 1

Option Base 1


Function p_h(alpha, pbtl, pbl, pbh)

p_h = alpha * (((1 - 3 * (pbtl - ((pbl + pbh) / 2))) ^ (1 / alpha)) / (1 - 3 * (pbtl - ((pbl + pbh)
 / 2))))

End Function

Function fl_p_min(alpha, pbh, pbl, pbtl)

Ph = p_h(alpha, pbtl, pbl, pbh)

fl_p_min = (alpha * Ph * (pbh - pbtl)) / (alpha * Ph * (pbh - pbtl) + (1 - alpha) * (1 - Ph) * (pbt
l - pbl))

End Function


Sub incitation()

pbh =
pbl =
pbtl =
wa = 100
wb =
pa =

borne_inf =
borne_sup = 1
pas = 0.01

i = 0

For alpha = borne_inf To borne_sup Step pas

  i = i + 1

  Ph = p_h(alpha, pbtl, pbl, pbh)
  flpmin = fl_p_min(alpha, pbh, pbl, pbtl)

  invest_max = (1 / (1 - (1 / 2))) * ((3 / 8) * Ph * ((1 - pa) * wa) + (1 / 8) * (1 - Ph) * ((1 - p
a) * wa)) _
             + (1 / (1 - (1 / 2))) * (Ph * ((1 / 2) - flpmin + (1 / 2) * (flpmin) ^ (2)) * ((1 - (al
pha * pbh + (1 - alpha) * pbtl)) * wb) + (1 - Ph) * ((1 / 2) - (1 / 2) * (flpmin) ^ (2)) * ((1 - (a
lpha * pbtl + (1 - alpha) * pbl)) * wb)) _
             + (1 / (1 - (1 / 2))) * (Ph * (flpmin - (1 / 2) * (flpmin) ^ (2) - (3 / 8)) * ((1 - pa)
 * wa) + (1 - Ph) * ((1 / 2) * (flpmin) ^ (2) - (1 / 8)) * ((1 - pa) * wa)) _
             - ((1 - Ph) * ((1 - pa) * wa) + Ph * ((1 - pa) * wa))

  Cells(i + 1, 2).Value = invest_max
  Cells(i + 1, 1).Value = alpha
  Range("A1").Value = "Alpha"
  Range("B1").Value = "U info - U sans info"

Next alpha

End Sub
```

Références

Articles

Alexander, J.C. 1992. Unlimited shareholder liability through a procedural lens. *Harvard Law Review*, **106**, 387–445.

Anonymous. 1986. Liability of Parent Corporations for Hazardous Waste Cleanup and Damages. *Harvard Law Review*, **99**, 986–1003.

Audretsch, D.B., & Feldman, M. 1996. Knowledge Spillovers and the Geography of Innovation and Production. *American Economic Review*, **86**, 630–640.

Baumann, F., Friehe, T., & Grechenig, K. 2011. A note on the optimality of (even more) incomplete strict liability. *International Review of Law and Economics*, **31**, 77–82.

Beard, T.R. 1990. Bankruptcy and Care Choice. *Rand Journal of Economics*, **21**, 626–634.

Boyd, J., & Ingberman, D.E. 1994. Noncompensatory Damages and Potential Insolvency. *The Journal of Legal Studies*, **23**, 895–910.

Boyd, J., & Ingberman, D.E. 1996. The "Polluter Pays Principle" : Should Liability Be Extended When the Polluter Cannot Pay ? *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, **21**, 182–203.

Boyer, M., & Laffont, J.J. 1997. Environmental Risks and Bank Liability. *European Economic Review*, **41**, 1427–1459.

Brown, J.P. 1973. Towards an economic theory of liability. *The Journal of Legal Studies*, **2**, 323–349.

Cadot, O., & Sinclair-Desgagné, B. 1995. Environmental Standards and Industrial Policy. *Journal of Environmental Economics and Management*, **29**, 228–237.

Callon, M. 1999. Le réseau comme forme émergente et comme modalité de coordination : Le cas des interactions stratégiques entre firmes industrielles et laboratoires académiques. *In : Callon M., Cohendet P., Curien N., Dalle J.M., Eymard-Duverney F., Foray D., Schenk E. (eds.), Réseau et coordination, Economica, Paris*, 13–64.

Chateauneuf, A., Gajdos, T., & Jaffray, J-Y. 2010. Regular Updating. *Theory and Decision*, à paraître.

Chemarin, S., & Orset, C. 2010. Innovation and Information Acquisition under Time Inconsistency and Uncertainty. *The Geneva Risk and Insurance Review*, doi :10.1057/grir.2010.9.

Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. 1990. Absorptive capacity : a new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, **35**, 128–152.

Dari-Mattiacci, G., & De Geest, G. 2005. Judgment Proofness under Four Different Precaution Technologies. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, **161**, 38–56.

Dari-Mattiacci, G., & De Geest, G. 2006. When will judgment proof injurers take too much precaution ? *International Review of Law and Economics*, **26**, 336–354.

Dasgupta, P., & David, P. A. 1994. Toward a new economics of science. *Research Policy*, **23**, 487–521.

Dasgupta, P., & Stiglitz, J. 1980. Uncertainty, Industrial Structure, and the Speed of RD. *The Bell Journal of Economics*, **11**, 1–28.

d'Aspremont, C., & Jacquemin, A. 1988. Cooperative and Noncooperative RD in Duopoly with Spillovers. *American Economic Review*, **78**, 1133–1137.

Daughety, A.F., & Reinganum, J.F. 1995. Liability, RD, and Signaling. *American Economic Review*, **85**, 1187–1206.

David, M., & Sinclair-Desgagné, B. 2010. Pollution Abatement Subsidies and the Eco-Industry. *Environmental and Resource Economics*, **18**, 271–282.

David, M., Nimubona, A.D., & Sinclair-Desgagné, B. 2011. Emission taxes and the market for abatement goods and services. *Resource and Energy Economics*, **18**, 179–191.

Deffains, B. 2000. L'évalution des règles de droit : un bilan de l'analyse économique de la responsabilité. *Revue d'Economie Politique*, **110**, 751–785.

Deffains, B. 2001. Analyse économique de la responsabilité étendue en cas d'insolvabilité des pollueurs. *Economie Publique*, **7**, 149–169.

Deffains, B., & Demougin, D. 2008a. Customary versus technological advancement tests. *International Review of Law and Economics*, **28**, 106–112.

Deffains, B., & Demougin, D. 2008b. The Standard of Proof Revisited. *German Working Papers in Law and Economics*, paper 12.

Deffains, B., & Franckx, L. 2009. Welfare improving ignorance and negligence rule. *European Journal of Law and Economics*, **28**, 1–7.

Dempster, A.P. 1967. Upper and Lower Probabilities induced by a Multivalued Mapping. *Annals of Mathematical Statistics*, **38**, 325–339.

Depret, M.H., & Hamdouch, A. 2009. Quelles politiques de l'innovation et de l'environnement pour quelle dynamique d'innovation environmentale ? *Innovations - Cahiers d'Economie de l'Innovation*, **29**, 127–147.

Diamond, A. M. Jr. 1996. The Economics of Science. *Knowledge and Policy*, **9**, 6–49.

Dionne, G., & Spaeter, S. 2003. Environmental risk and extended liability : The case of green technologies. *Journal of Public Economics*, **87**, 1025–1060.

Downing, P.B., & White, L.J. 1986. Innovation in Pollution Control. *Journal of Environmental Economics and Management*, **13**, 18–29.

Easterbrook, F.H., & Fischel, D. R. 1985. Limited Liability and the Corporation. *The University of Chicago Law Review*, **52**, 89–117.

Eeckhoudt, L., & Jeleva, M. 2004. Décision médicale et probabilités imprécises. *Revue Economique*, **55**, 869–882.

Ellsberg, D. 1961. Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms. *Quarterly Journal of Economics*, **75**, 643–669.

Endres, A. 1991. The Economics of Accident Law : Discounted Expected Damage, Suboptimal Due Care Standards, and the Role of a "Negligence tax". *Public Finance*, **46**, 198–207.

Endres, A., & Bertram, R. 2006. The development of care technology under liability law. *International Review of Law and Economics*, **26**, 503–518.

Endres, A., & Friehe, T. 2011. Incentives to diffuse advanced abatement technology under environmental liability law. *Journal of Environmental Economics and Management*, **62**, 30–40.

Endres, A., Bertram, R., & Rundshagen, B. 2007. Environmental Liability Law and Induced Technical Change : The Role of Discounting. *Environmental and Resource Economics*, **36**, 341–366.

Endres, A., Bertram, R., & Rundshagen, B. 2008. Environmental Liability Law and Induced Technical Change : The Role of Spillovers. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, **164**, 254–279.

Etner, J., Jeleva, M., & Tallon, J.M. 2011. Decision theory under ambiguity. *Journal of Economics Surveys*, à paraître.

Fallet, G., Duval, C., Weber, P., & Simon, C. 2010. Characterization and propagation of uncertainties in complex socio-technical system risk analyses. *Paper presented in Workshop on the Theory of Belief Functions, Brest, France.*

Faure, M. 1995. Economic models of compensation for damage caused by nuclear accidents : some lessons for the revision of the Paris and Vienna Conventions. *European Journal of Law and Economics*, **2**, 21–43.

Feldman, M. 1999. The New Economics of Innovation, Spillovers and Agglomeration : A Review of Empirical Studies. *Economics of Innovation and New Technology*, **8**, 5–25.

Fischer, C., Parry, I.W.H., & Pizer, W.A. 2003. Instrument choice for environmental protection when technological innovation is endogenous. *Journal of Environmental Economics and Management*, **87**, 1025–1060.

Fluet, C. 1999. Régulation des risques et insolvabilité : le rôle de la responsabilité pour faute en information imparfaite. *L'Actualité économique*, **75**, 379–399.

Friehe, T. 2007. A note on judgment proofness and risk aversion. *European Journal of Law and Economics*, **24**, 109–118.

Gilboa, I., & Schmeidler, D. 1989. Maxmin Expected Utility with a Non-Unique Prior. *Journal of Mathematical Economics*, **18**, 141–153.

Giraud, R., & Tallon, J.M. 2009. Are Beliefs a Matter of Taste ? A case for Objective Imprecise Information. *CES Working Papers/Documents de Travail du Centre d'Economie de la Sorbonne*, **2009.86**.

Gollier, C., Koehl, P.F., & Rochet, J.C. 1997. Risk-Taking Behavior with Limited Liability and Risk Aversion. *The Journal of Risk and Insurance*, **64**, 347–370.

Gravelle, H.S.E. 1987. Accidents, Taxes, Liability Rules and Insurance. *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, **12**, 115–131.

Grundfest, J.A. 1992. The Limited Future of Unlimited Liability : A Capital Market Perspective. *The Yale Law Review*, **102**, 387–425.

Halpern, P., Trebilcock, M., & Turnbull, S. 1980. An Economic Analysis of Limited Liability in Corporation Law. *University of Toronto Law Journal*, **30**, 117–150.

Hansmann, H., & Kraakman, R. 1991. Toward Unlimited Shareholder Liability for Corporate Torts. *The Yale Law Review*, **100**, 1878–1934.

Hartwick, J. 1984. Optimal RD Levels When Firm j Benefits from Firm i's Inventive Activity. *Economic Letters*, **16**, 165–170.

Helm, C., & Schöttner, A. 2008. Subsidizing Technological Innovations in the Presence of RD Spillovers. *German Economic Review*, **9**, 339–353.

Hiriart, Y., Martimort, D., & Pouyet, J. 2004. On the Optimal Use of Ex Ante Regulation and Ex Post Liability. *Economics Letters*, **84**, 231–235.

Jaffray, J. Y. 1989a. Généralisation du critère de l'utilité espérée aux choix dans l'incertain régulier. *Recherche opérationnelle*, **23**, 237–267.

Jaffray, J. Y. 1989b. Linear Utility Theory and Belief Functions : A Discussion. *P & M Curie (Paris 6) University Discussion Paper*.

Jaffray, J. Y. 1989c. Linear Utility Theory for Belief Functions. *Operations Research Letters*, **8**, 107–112.

Jaffray, J-Y. 1992. Bayesian Updating and belief functions. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **22**, 1144–1152.

Jeleva, M. 1997. Demand for Insurance with Imprecise Probabilities. *Finance*, **18**, 101–114.

Jung, C., Krutilla, K., & Boyd, R. 1996. Incentives for advanced pollution abatement technology at the industry level : an evaluation of policy alternatives. *Journal of Environmental Economics and Management*, **30**, 95–111.

Klibanoff, P., Marinacci, M., & Mukerji, S. 2005. A smooth model of decision making under ambiguity. *Econometrica*, **73**, 1849–1892.

Langlais, E. 2011. Responsabilité civile et contrôle des activités représentant des risques mal connus. *Revue Economique*, **62**, 589–598.

Leebron, D.W. 1991. Limited liability, Tort Victims, and Creditors. *Columbia Law Review*, **91**, 1565–1650.

Loury, G.C. 1979. Market Structure and Innovation. *Quarterly Journal of Economics*, **93**, 395–410.

Magat, W.A. 1978. Pollution Control and Technological Advance : A Dynamic Model of the Firm. *Journal of Environmental Economics and Management*, **5**, 1–25.

Magat, W.A. 1979. The effects of environmental regulation on innovation. *Law and Contemporary Problems*, **43**, 3–25.

Martimort, D., & Hiriart, Y. 2006. The Benefits of Extended Liability. *Rand Journal of Economics*, **37**, 562–582.

Martin, S. 2002. Spillovers, Appropriability, and RD. *Journal of Economics*, **75**, 1–32.

McCardle, K. F. 1985. Information Acquisition and the Adoption of New Technology. *Management Science*, **31)**, 1372–1389.

Miceli, T.J., & Segerson, K. 2003. A note on optimal care by wealth-constrained injurers. *International Review of Law and Economics*, **23**, 273–284.

Milliman, S.R., & Prince, R. 1989. Firm incentives to promote technological change in pollution control. *Journal of Environmental Economics and Management*, **17**, 247–265.

Nussim, J., & Tabbach, A. D. 2009. A Revised Model of Unilateral Accidents. *International Review of Law and Economics*, **29**, 169–177.

Orset, C. 2010. Irreversible investment and information acquisition under uncertainty. *INRA-AgroParisTech, Joint Research Unit in Public Economics, Working Papers*, **2010/01**.

Parry, I.W.H. 1994. Environmental policy and innovation. *Economic Research Service, US Department of Agriculture, Washington, DC.*

Parry, I.W.H. 1995. Optimal pollution taxes and endogenous technological progress. *Resource and Energy Economics*, **17**, 69–85.

Parry, I.W.H. 1998. Pollution Regulation and the Efficiency Gains from Technological Innovation. *Journal of Regulatory Economics*, **14**, 229–254.

Parry, I.W.H. 2001. On the Implications of Technological Innovation for Environmental Policy. *Resources For The Future, Discussion Paper*, **01-44**.

Pitchford, R. 1995. How liable should a lender be ? The case of judgment-proof firms and environmental risks. *American Economic Review*, **85**, 1171–1186.

Requate, T. 1998. Incentives to innovate under emission taxes and tradeable permits. *European Journal of Political Economy*, **14**, 139–165.

Requate, T. 2005. Timing and Commitment of Environmental Policy, Adoption of New Technology, and Repercussions on R&D. *Environmental and Resource Economics*, **31**, 175–199.

Requate, T., & Unold, W. 2003. Environmental policy incentives to adopt advanced abatement technology : Will the true ranking please stand up ? *European Economic Review*, **47**, 125–146.

Ringleb, A.H., & Wiggins, S.N. 1990. Liability and Large Scale, Long-Term Hazards. *Journal of Political Economics*, **98**, 574–595.

Roberts, K., & Weitzman, M. L. 1981. Funding Criteria for Research, Development, and Exploration Projects. *Econometrica*, **49**, 1261–1288.

Rolland, B. 2003. MetalEurop : le feuilleton. *Journal des Accidents et des Catastrophes, laboratoire CERDACC, Université de Haute-Alsace*, **37**.

Rolland, B. 2004. MetalEurop : la suite du feuilleton. *Journal des Accidents et des Catastrophes, laboratoire CERDACC, Université de Haute-Alsace*, **42**.

Rolland, B. 2005. MetalEurop : épilogue ? *Journal des Accidents et des Catastrophes, laboratoire CERDACC, Université de Haute-Alsace*, **51**.

Schmitt, A., & Spaeter, S. 2007. Risque nucléaire civil et responsabilité optimale de l'opérateur. *Revue Economique*, **58**, 1331–1351.

Schwartz, A. 1985. Products Liability, Corporate Structure and Banckruptcy : Toxic Substances and the Remote Risk Relationship. *The Journal of Legal Studies*, **14**, 689–736.

Shavell, S. 1980. Strict Liability Versus Negligence. *The Journal of Legal Studies*, **9**, 1–25.

Shavell, S. 1984. A model of the optimal use of liability and safety regulation. *Rand Journal of Economics*, **15**, 271–280.

Shavell, S. 1986. The Judgment Proof Problem. *International Review of Law and Economics*, **6**, 45–58.

Shavell, S. 1992. Liability and the Incentive to Obtain Information about Risk. *The Journal of Legal Studies*, **21**, 259–270.

Shavell, S. 2005. Minimum asset requirements and compulsory liability insurance as solutions to the judgment-proof problem. *RAND Journal of Economics*, **36**, 63–77.

Simon, C., & Weber, P. 2008. Analyse de la fiabilité imprécise des systèmes par les réseaux de fonctions de croyance. *Document HAL-INRIA, hal-00281395, publié lors des 4ème Journées Francophones sur les Réseaux Bayésiens, Lyon, France.*

Solow, R.M. 1956. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, **70**, 65–94.

Summers, J. 1983. The Case of the Disappearing Defendant : An Economic Analysis. *University of Pennsylvania Law Review*, **132**, 145–185.

Teitelbaum, J.C. 2007. A Unilateral Accident Model under Ambiguity. *The Journal of Legal Studies*, **36**, 431–477.

Viscusi, W.K., & Moore, M.J. 1993. Product Liability, Research and Development, and Innovation. *Journal of Political Economy*, **101**, 161–184.

Weitzman, M. 1974. Prices *vs.* Quantities. *Review of Economic Studies*, **41**, 477–491.

White, M.J., & Wittman, D. 1983. A Comparison of Taxes, Regulation, and Liability Rules under Imperfect Information. *The Journal of Legal Studies*, **12**, 413–425.

Wright, B.D. 1983. The Economics of Invention Incentives : Patents, Prizes, and Research Contracts. *American Economic Review*, **73**, 691–707.

Zerbe, R.O. 1970. Theoretical Efficiency in Pollution Control. *Western. Economic Journal*, **8**, 364–376.

Livres, Rapports, Thèses

Arrow, K. 1962. *Economic Welfare and the Allocation of Resources for Innovation, dans : The Rate and Direction of Inventive Activity : Economic and Social Factors.* National Bureau of Economic Research.

Arrow, K., & Hurwicz, L. 1972. *An optimality criterion for decision-making under ignorance, dans : Uncertainty and Expectations in Economics.* Carter, C.F. & Ford, J.L. (éds), Oxford, England : Basil Blackwell & Mott Ltd.

Baumol, W.J., & Oates, W.E. 1988. *The Theory of Environmental Policy.* Cambridge University Press, Cambridge MA, USA.

Calabresi, G. 1970. *The Cost of Accidents, a Legal and Economic Analysis.* Yale University Press.

Conseil Europ. de l'Ind. Chimique, (Cefic). 2004. *Horizon 2015 : Perspectives for the European Chemical Industry.*

Gollier, C. 2001. *The Economics of Risk and Time.* The MIT Press, Cambridge, MA, USA.

Hicks, J.R. 1932. *The Theory of Wages.* Macmillan, Londres.

Jaffe, A.B., Newell, R.N., & Stavins, R.G. *Technological change and the environment, dans : Handbook of Environmental Economics.* K.-G. Mäler, J. Vincent (éds), North-Holland/Elsevier Science, Amsterdam.

Kneese, A., & Schultze, C. 1975. *Pollution, Price and Public Policy.* Brookings Institutions, Whashington, DC.

Landes, W.M., & Posner, R.A. 1987. *The Economic Structure of Tort Law.* Harvard University Press.

Lefèvre, E. 2001. *Fusion adaptée d'informations conflictuelles dans le cadre de la théorie de l'évidence. Application au diagnostic médical.* Ph.D. thesis, Institut National des Sciences Appliquées de Rouen.

Magne, L., & Vasseur, D. 2006. Risques industriels. Complexité, incertitude et décision : une approche interdisciplinaire.

Minist. de l' Eco. des Finances et de l'Indu., MINEFI. 2005. *Avenir de l'industrie chimique en France à l'horizon 2015.*

Org. pour la Coop. et le Dév. Eco., (OCDE). 1997. *La mesure des activités scientifiques et technologiques - Principes directeurs proposés pour le receuil et l'interprétation des données sur l'innovation technologique - Manuel d'Oslo - 2me édition.* OCDE Publications, Paris.

Org. pour la Coop. et le Dév. Eco., (OCDE). 2002. *Frascati Manual 2002 : Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development.* OCDE Publications, Paris.

Savage, L.J. 1954. *The Foundations of Statistics.* Wiley, New-York, USA.

Sinclair-Desgagné, B., & Vachon, C. 2000. *Dealing with Major Technological Risks, dans : Principles of Environmental and Resource Economics. A Guide for Students and Decision Makers.* H. Folmer, H.L. Gabel, éditions Edward Elgar.

Union des Industries Chimiques, (UIC). 2008. *La chimie en France en bref,.* édition 2008.

Articles de presse

LeMonde. 2009a. *Relaxe générale au procès AZF.* Le Monde, édition du 19 novembre 2009. Disponible en ligne : http ://www.lemonde.fr/societe/article/2009/11/19/relaxe-general-au-proces-azf_1269539_3224.html.

UsineNouvelle. 2002a. *Grande Paroisse amputée d'AZF.* Usine Nouvelle, édition du 18 avril 2002. Disponible en ligne : http ://www.usinenouvelle.com/article/chimiegrande-paroisse-amputee-d-azfla-decision-qui-accentue-encore-le-repli-du-numero-1-francais-des-engrais-azotes-enlise-depuis-deja-plusieurs-annees.N105932.

UsineNouvelle. 2002b. *Grande Paroisse dévalorise son capital social.* Usine Nouvelle, édition du 7 février 2002. Disponible en ligne : http ://www.usinenouvelle.com/article/chimie-grande-paroisse-devalorise-son-capital-social.N105070.

Table des matières

Introduction générale **14**

Chapitre 1 - La responsabilité civile, outil initiateur d'une analyse économique de la prévention des risques **29**

1 La genèse : comparaison de règles, inefficience d'un régime **31**

1.1 Règles de responsabilité et prévention des risques : premières analyses comparatives 31

1.1.1 Une règle de négligence sous optimale en présence d'un risque multiplicatif 32

1.1.2 La négligence réhabilitée en présence de prévention durable ou non observable 34

1.2 Le régime de responsabilité limitée, ou la difficulté de concilier activité et prévention 36

1.2.1 Responsabilité limitée et insolvabilité : des incitations insuffisantes à prévenir le risque 37

1.2.2 Responsabilité limitée et insolvabilité : la possibilité d'efforts trop importants en prévention en présence de mesures *monétaires* . . . 39

1.3 L'insolvabilité, un choix stratégique 41

1.3.1 Plafonnement de responsabilité et réduction des dommages potentiels 42

1.3.2 Une insolvabilité choisie, au profit de dommages moins fréquents . 43

2 Applicabilité de la responsabilité civile : des difficultés liées aux imperfections et imprécisions de l'information **48**

2.1 La responsabilité étendue aux partenaires : une tentative de réponse aux inefficiences de la responsabilité limitée 49

2.1.1 Responsabilité étendue et arbitrages entre efficacité et équité . . . 49

2.1.2 Responsabilité étendue et arbitrage entre activités productives et activités préventives 54

2.2 Responsabilité et vision imparfaite du Régulateur et/ou Tribunal 57

2.2.1 Négligence et preuves de qualité imparfaite 57
2.2.2 Coupler régulation *ex ante* et régulation *ex post* pour palier aux problèmes informationnels 61
2.3 Règles de responsabilité civile et risques imparfaitement connus 62
2.3.1 Les analyses pionnières : processus déterministe et signal parfait . 62
2.3.2 Investissement en recherche d'informations et possibilité de recevoir des signaux imparfaitement fiables 67

3 La responsabilité, un moteur des innovations et du changement technologique 70
3.1 Une inspiration venue de l'économie de l'environnement 72
3.1.1 Une préfèrence pour les outils *market-based* 73
3.1.2 Instruments de politique environnementale et incitations à l'innovation : de multiples pistes de réflexion 75
3.2 Identification des spécificités du marché de la R&D 78
3.2.1 Innovateur *vs* non-innovateurs : la politique environnementale et industrielle face aux spillovers 78
3.2.2 Concilier les impératifs environnementaux et la volonté d'innover : vers une nouvelle définition de la taxe pigouvienne ? 81
3.3 La responsabilité, un outil (presque) oublié 85
3.3.1 Introduction d'une "double dimension" : prévention et innovation . 86
3.3.2 Règles de responsabilité et spillovers 90

Chapitre 2 - Responsabilité et choix technologique en situation risquée 97

1 Introduction 98

2 Régimes de responsabilité et choix technologique des firmes 103
2.1 Hypothèses de base 103
2.2 Choix technologique en responsabilité illimitée 104
2.3 Choix technologique en responsabilité limitée 106

3 Inefficiences du régime de responsabilité limitée : la taxation comme palliatif ? 113

4 Discussion et conclusion 119

Chapitre 3 - Responsabilité en situation ambigüe : impact sur le choix technologique 123

1 Introduction 124

2 Un modèle de choix technologique en présence d'un risque *imprécis* 129

2.1 Hypothèses de base 129

2.2 La modélisation de l'ambiguïté 131

3 Régimes de responsabilité et définition des stratégies de choix technologique 135

3.1 Comportements de choix technologique en présence d'une responsabilité illimitée 135

3.2 Comportements de choix technologique en responsabilité limitée 140

4 Impact du régime de responsabilité sur le choix technologique : une analyse comparative 143

5 Discussion et Conclusion 153

Chapitre 4 - Responsabilité en situation ambigüe : incitations à rechercher davantage d'informations 158

1 Introduction 159

2 Analyse théorique des incitations à investir en recherche d'informations 161

2.1 Détermination des incitations à investir en responsabilité illimitée 163

2.2 Détermination des incitations à investir en responsabilité limitée 169

3 Calculs numériques 172

3.1 Calibrage du modèle 172
3.2 Résultats 180

4 Discussion et conclusion 191

Chapitre 5 - Responsabilité et innovation : à propos de l'importance de la nature de l'innovation et du rôle du Régulateur 196

1 Introduction 197

2 Un modèle d'innovation à double impact 200
2.1 Hypothèses de base 200
2.2 Calendrier des décisions 202
2.3 Le comportement socialement souhaitable 203
2.3.1 Détermination du niveau optimal de prévention 203
2.3.2 Choix technologique optimal 204
2.3.3 Investissement optimal en R&D 205

3 Comportements en présence d'une règle de responsabilité sans faute 205
3.1 Comportements en matière de prévention 205
3.2 Choix technologique 207
3.3 Investissement en R&D 209

4 Efficience relative de la négligence et rôle du Régulateur 210
4.1 Comportements en matière de prévention 212
4.2 Choix technologique 212
4.3 Investissement en R&D 214
4.4 Négligence et Régulateur "proactif" 216

5 Discussion et Conclusion 219

Conclusion générale 223

Appendices 230

Appendice A **231**

Appendice B **234**

Appendice C **242**

Appendice D **245**

Appendice E **248**

Annexes 251

Annexe A **252**

Annexe B **259**

Références 270