



Les nudges dans la régulation environnementale : alternative ou complément aux instruments monétaires ?

Benjamin Ouvrard

► To cite this version:

Benjamin Ouvrard. Les nudges dans la régulation environnementale : alternative ou complément aux instruments monétaires ?. Economies et finances. Université de Strasbourg, 2016. Français. NNT : 2016STRAB011 . tel-01484394

HAL Id: tel-01484394

<https://theses.hal.science/tel-01484394>

Submitted on 7 Mar 2017

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.

ÉCOLE DOCTORALE AUGUSTIN COURNOT

UMR 7522

THÈSE présentée par :

Benjamin OUVRARD

soutenue le 30 Novembre 2016

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'Université de Strasbourg**

Discipline/ Spécialité : Sciences Économiques

**Les *nudges* dans la régulation
environnementale : alternative ou
complément aux instruments monétaires ?**

THÈSE dirigée par :

Mme SPAETER-LOEHRER Sandrine

Professeure, Université de Strasbourg

RAPPORTEURS :

Mme ETNER Johanna

Mme IBANEZ Lisette

Professeure, Université Paris Ouest-Nanterre la Défense
Chargée de recherche INRA-HDR

AUTRES MEMBRES DU JURY :

Mme ROZAN Anne

Professeure, ENGEEES

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

École Doctorale Augustin Cournot

**LES *nudges* DANS LA RÉGULATION
ENVIRONNEMENTALE : ALTERNATIVE
OU COMPLÉMENT AUX INSTRUMENTS
MONÉTAIRES ?**

THÈSE

pour l'obtention du Grade de

Docteur en Sciences Économiques

Présentée et soutenue publiquement par :

Benjamin OUVRARD

Le 30 Novembre 2016

à l'Université de Strasbourg

Membres du jury

Johanna ETNER

Professeure, Université Paris Ouest-Nanterre la Défense

Rapporteur

Lisette IBANEZ

Chargée de recherche INRA-HDR

Rapporteur

Anne ROZAN

Professeure, ENGEEES

Sandrine SPAETER-LOEHRER

Professeure, Université de Strasbourg

Directrice de thèse

Remerciements

Mes premiers remerciements iront à la professeure Sandrine Spaeter-Loehrer. Ses conseils, ses relectures, la qualité de ses corrections, son soutien financier, et surtout sa patience pendant ces trois années m'ont permis d'arriver au terme de cette thèse.

Je remercie les professeures Johanna Etner et Anne Rozan, ainsi que la chargée de recherche Lisette Ibanez d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse. Par ailleurs, je suis reconnaissant à Anne Rozan pour son soutien financier pour les expériences qui ont été menées au laboratoire.

Ces expériences n'auraient pas été possibles sans l'aide de Kene Boun My, que je remercie sincèrement pour tout le temps qu'il a consacré à leur programmation.

Merci également à Mathieu Lefebvre et Phu Nguyen Van pour leurs conseils économétriques pour l'analyse des données.

Au cours de ces trois années de thèse, j'ai eu la chance de partager le bureau 154 avec de très bons collègues et amis. Merci donc à Anh, Lucie, Marine, aux deux Nicolas et à Thierry pour ces moments (la Plume, les enquêtes surréalistes, le thème de la danse, de la poésie,...). Je remercie également tous les autres doctorants pour les moments passés avec eux, ainsi que pour leurs différents conseils. J'ai une pensée particulière pour Bruno Rodrigues qui a été un pilier essentiel durant ces trois années.

Je tiens également à remercier Anne Stenger pour l'ensemble de ces relectures et conseils, mais aussi pour tous les moments passés autour d'un café. J'espère que nos projets aboutiront, et j'ai hâte que nous les poursuivions. Merci à Gisèle Umbhauer pour ses relectures, ses nombreux conseils et sa gentillesse.

Je remercie également les membres du BETA et de la faculté pour leur accueil et leur soutien financier. Merci à Géraldine, Jane et Virginie pour leur aide et leur sourire. Depuis 2013, j'ai également eu la chance de rencontrer Danielle Génévé, avec qui j'ai pu partager beaucoup de très bons moments. Merci à toi d'être toujours là pour nous.

Enfin, je remercie nos directeurs de l'école doctorale : Jocelyn Donze et Christophe Godlewski, ainsi que Régis Blazy.

Au-delà de ce monde académique, je remercie également Mickaël et Farah, deux membres importants de ma famille. Merci à Jean-François Griffoul de m'avoir donné l'envie d'enseigner, et à Michel Piteau de m'avoir donné le goût de l'économie. Merci aussi à Claude Marchandot pour toutes ses relectures.

Mes parents occupent également une place très importante : vous m'avez toujours soutenu durant mes études, et encouragé à faire ce qui me plaisait. Merci à vous, ce travail n'aurait jamais été possible sans cette aide précieuse, et sans les relectures de ma mère. Je vous dédie cette thèse.

Merci enfin à toi, Solène, pour m'avoir accompagné pendant ces trois années, mais aussi pour tes relectures. Cette thèse a demandé beaucoup de travail, et tu as su rester patiente alors que je n'étais pas très présent. Je te dois énormément, et j'espère que tu le sais.

Merci également à toutes les personnes que j'ai pu oublier.

Table des matières

Introduction générale	1
1 Les instruments incitatifs pour la régulation environnementale	15
1.1 Les instruments de marché : des instruments efficaces mais contestés	16
1.1.1 Taxes (et subventions) : l’approche pigouvienne de la régulation en- vironnementale	16
1.1.2 Les droits à polluer et les permis d’émission négociables	20
1.1.3 Efficacité et acceptabilité de la taxe pigouvienne et des permis d’émis- sion	22
1.2 Du paternalisme libéral au concept de <i>nudge</i>	26
1.2.1 Le paternalisme libéral, principe fondateur des <i>nudges</i>	27
1.2.2 Définitions et exemples de <i>nudges</i>	29
1.2.3 Adoption des <i>nudges</i> par les gouvernements	37
1.3 Des expériences de terrain à la modélisation économique de la mise en place des <i>nudges</i>	39
1.3.1 Les principaux résultats des <i>nudges</i> sur le terrain	40
1.3.2 La modélisation des <i>nudges</i> relevant d’une information	47
1.3.3 La modélisation de la mise en place d’options par défaut	51
1.4 <i>Quid</i> des <i>nudges</i> : un instrument idéal ?	54
1.4.1 Les <i>nudges</i> entre manipulation et paternalisme	54
1.4.2 La nécessité d’un cadre juridique	59
1.4.3 De l’hétérogénéité des préférences à l’hétérogénéité des perceptions des <i>nudges</i>	60
1.5 Conclusion	62
2 Les incitations environnementales : <i>nudge</i> ou taxe ?	65
2.1 Les modèles de contributions volontaires à la qualité environnementale . . .	67

2.2	Prédictions théoriques avec mise en place d'incitations monétaires	70
2.2.1	Modèle de base avec distorsion des probabilités	70
2.2.2	Mise en place d'une taxe	76
2.3	Mise en place du <i>nudge</i>	78
2.3.1	Modélisation de la réaction au <i>nudge</i>	78
2.3.2	Optima privés	80
2.4	Exemples paramétrés	83
2.4.1	Modèle de base	83
2.4.2	Incitations	84
2.5	Conclusion	85

3 Incitations environnementales et sensibilité environnementale : une approche expérimentale 93

3.1	Un modèle simplifié de contribution volontaire pour la qualité environnementale	94
3.1.1	Hypothèses de base	95
3.1.2	Programme du régulateur	96
3.1.3	Modèle avec taxe	97
3.1.4	Modèle avec <i>nudge</i>	98
3.2	Protocole expérimental	100
3.2.1	Cadre général de l'expérience	100
3.2.2	Paramètres de l'expérience	103
3.2.3	Hypothèses comportementales	104
3.2.4	Relation avec les expériences similaires	105
3.3	Résultats	108
3.3.1	Mesures psychologiques	108
3.3.2	Analyse des contributions moyennes par groupe	110
3.3.3	Analyse des décisions individuelles	112
3.4	Analyse de l'efficacité des instruments	116
3.4.1	Efficacité des instruments	116
3.4.2	Robustesse des instruments	121
3.5	Discussion des résultats	127
3.6	Conclusion	129

4	Étude de la persistance des effets d'une taxe et d'un <i>nudge</i>	149
4.1	Un modèle théorique simplifié de contributions volontaires à un bien public	152
4.1.1	Hypothèses de base	153
4.1.2	Mise en place d'instruments incitatifs	154
4.2	Protocole expérimental et procédure	160
4.2.1	Cadre général de l'expérience	160
4.2.2	Hypothèses comportementales	163
4.2.3	Relation avec les expériences similaires	165
4.3	Résultats	166
4.3.1	Analyse des contributions moyennes par groupe	166
4.3.2	Analyse de la persistance des effets des instruments incitatifs	170
4.3.3	Analyse des décisions individuelles	171
4.4	Analyse de l'efficacité des instruments	175
4.4.1	Taux d'efficacité	175
4.4.2	Robustesse	179
4.5	Discussion des résultats	185
4.6	Conclusion	188
5	Un modèle de mise en place d'un <i>nudge</i> dans des réseaux	201
5.1	Les modèles de contributions volontaires à un bien public en réseau	204
5.1.1	Les modèles de contributions à un bien public local avec effets de débordements	204
5.1.2	Les modèles de contributions volontaires sans retombées	205
5.2	Modèle théorique	206
5.2.1	Hypothèses de base	206
5.2.2	Optimum social	210
5.3	Mise en place d'un <i>nudge</i> en situation d'information complète	211
5.4	Mise en place du <i>nudge</i> en situation d'information incomplète	216
5.4.1	Mise en place du <i>nudge</i> dans le réseau en cercle	216
5.4.2	Ciblage des individus à la périphérie	217
5.4.3	Ciblage de l'individu au centre	218
5.5	Conclusion	219
	Conclusion générale	227

Table des figures

3.1	Contributions moyennes par groupe et par période (<i>Joueurs A</i>)	111
3.2	Contributions moyennes par groupe et par période (<i>Joueurs B</i>)	111
3.3	Efficacité moyenne par groupe et par période selon le traitement (<i>Joueurs A</i>)	118
3.4	Efficacité moyenne par groupe et par période selon le traitement (<i>Joueurs B</i>)	118
4.1	Contributions moyennes par groupe et par période (Groupes de <i>Partenaires</i>)	167
4.2	Contributions moyennes par groupe et par période (Groupes d' <i>Étrangers</i>) .	168
4.3	Efficacité moyenne par groupe et par période selon le traitement (Groupes de <i>Partenaires</i>)	176
5.1	Équilibres de Nash dans un réseau en étoile	209
5.2	Équilibres de Nash dans un réseau en cercle	209

Liste des tableaux

1.1	Classement des <i>nudges</i> selon le Système et la transparence	56
3.1	Optima privés et sociaux	104
3.2	Moyenne des contributions individuelles par profil (écart-type entre parenthèses) - Groupe de contrôle.	109
3.3	Moyenne des contributions par groupe (écart-type entre parenthèses). . . .	110
3.4	Régression Tobit.	115
3.5	Moyenne des taux d'efficacité par groupe et par traitement (en %) et taux d'efficacité asymptotiques (en gras)	119
3.6	Estimation des taux d'efficacité asymptotiques.	120
3.7	<i>p-values</i> des tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique (Groupes de <i>Joueurs A</i>).	120
3.8	<i>p-values</i> des tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique (Groupes de <i>Joueurs B</i>).	120
3.9	Variabilité moyenne inter-périodes (en %) des contributions par groupe selon le traitement.	123
3.10	Variabilité moyenne inter-groupes (en %) des contributions par groupe selon le traitement.	123
3.11	Estimation de la variabilité de l'efficacité asymptotique entre périodes. . . .	124
3.12	<i>p-values</i> des tests de comparaison des coefficients de la variabilité de l'efficacité asymptotique entre périodes (Groupes de <i>Joueurs A</i>).	124
3.13	<i>p-values</i> des tests de comparaison des coefficients de la variabilité de l'efficacité asymptotique entre périodes (Groupes de <i>Joueurs B</i>).	124
3.14	Variabilité de l'efficacité moyenne entre période (en %) par groupe selon le traitement.	125
3.15	<i>p-values</i> des tests de comparaison des coefficients de la variabilité l'efficacité moyenne inter-périodes (Groupes de <i>Joueurs A</i>).	125

3.16	<i>p-values</i> des tests de comparaison des coefficients de la variabilité l'efficacité moyenne inter-périodes (Groupes de <i>Joueurs B</i>).	125
3.17	Estimation de la variabilité de l'efficacité asymptotique inter-groupes. . . .	126
3.18	<i>p-values</i> des tests de comparaison des coefficients de la variabilité de l'efficacité asymptotique inter-groupes (Groupes de <i>Joueurs A</i>).	126
3.19	<i>p-values</i> des tests de comparaison des coefficients de la variabilité de l'efficacité asymptotique inter-groupes (Groupes de <i>Joueurs B</i>).	126
4.1	Résumé des traitements	163
4.2	Moyenne des contributions par groupe (écart-type entre parenthèses).	167
4.3	Test de comparaison de moyennes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral)	168
4.4	Test d'égalité des variances (Kligner-Killeen)	169
4.5	Test de comparaison de moyennes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral)	170
4.6	Régression Tobit.	172
4.7	Moyenne des taux d'efficacité par groupe et par traitement (en %) et taux d'efficacité asymptotique (en gras)	177
4.8	<i>p-values</i> des tests de comparaison des taux d'efficacité (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 1 à 10	177
4.9	<i>p-values</i> des tests de comparaison des taux d'efficacité (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 11 à 20	177
4.10	Estimation des taux d'efficacité asymptotique.	178
4.11	Variabilité moyenne des contributions entre périodes (en %) par groupe selon le traitement.	180
4.12	<i>p-value</i> des tests de comparaison des variabilités des contributions entre périodes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 1 à 10	180
4.13	<i>p-value</i> des tests de comparaison des variabilités des contributions entre périodes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 11 à 20	180
4.14	Variabilité moyenne entre groupes (en %) des contributions par groupe selon le traitement.	180
4.15	<i>p-value</i> des tests de comparaison des variabilités des contributions entre groupes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 1 à 10	181
4.16	<i>p-value</i> des tests de comparaison des variabilités des contributions entre groupes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 11 à 20	181
4.17	Estimation des taux d'efficacité asymptotiques entre périodes.	182

4.18 Tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique entre périodes (périodes 1 à 10)	182
4.19 Tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique entre périodes (périodes 11 à 20)	182
4.20 Variabilité moyenne de l'efficacité entre périodes (en %) selon le traitement.	183
4.21 <i>p-value</i> des tests de comparaison des variabilités de l'efficacité entre périodes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 1 à 10	183
4.22 <i>p-value</i> des tests de comparaison des variabilités de l'efficacité entre périodes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 11 à 20	183
4.23 Estimation des taux d'efficacité asymptotiques entre groupes.	184
4.24 Tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique entre groupes (périodes 1 à 10)	184
4.25 Tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique entre groupes (périodes 11 à 20)	184

Introduction générale

Lutter contre le changement climatique est aujourd'hui une nécessité, comme en témoigne le rapport du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2016), qui dresse les principales conséquences du changement climatique : augmentation de la température moyenne à la surface du globe (+0,57 degrés par rapport à la normale calculée sur la période 1961-1990), élévation du niveau des mers (en moyenne 1,7mm/an entre 1901 et 2010), fonte glaciaire, etc. Pour les auteurs du cinquième rapport du GIEC (2013), depuis la moitié du XX^{ème} siècle, l'activité humaine est principalement la cause du changement climatique.¹ Le rapport détaille également que les principaux gaz à effets de serre responsables du changement climatique sont le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O) et les halocarbures.

En sciences économiques, la pollution est considérée comme une *externalité négative* : elle diminue le bien-être des individus. C'est notamment le cas lorsqu'un pollueur, une firme par exemple, émet des émissions polluantes qui affectent les individus vivant à proximité.² Cette pollution a des conséquences monétaires pour la société. Pour illustrer nos propos, nous pouvons considérer le cas de l'agriculture et de l'utilisation des pesticides. Bourguet et Guillemaud (2016) ont proposé une étude des coûts et des bénéfices liés à leur utilisation. En plus du coût environnemental (estimé à près de 8 milliards de dollars aux États-Unis en 1992), les auteurs ont identifié trois autres coûts différents pour la société : les coûts de régulation (estimés, pour les années 2000 aux États-Unis, entre 4 et 22 milliards de dollars - si toutes les régulations devaient être respectées), de santé (estimés, en 2005 aux États-Unis, entre 1.5 et 15 milliards de dollars - en tenant compte des morts dues aux expositions chroniques à la pollution) et les dépenses défensives pour réparer les dommages causés par

1. "Human influence on the climate system is clear. This is evident from the increasing greenhouse gas concentrations in the atmosphere, positive radiative forcing, observed warming, and understanding of the climate system" (GIEC (2013), p.15).

2. Dans son acception courante, la pollution désigne ce qui peut dégrader l'environnement. La pollution peut également désigner des nuisances sonores (comme les bruits de voisinage) ou visuelles (à l'instar des panneaux publicitaires). Dans cette thèse, nous considérons la pollution dans son acception courante.

l'utilisation des pesticides (estimées à plus de 6.4 milliards de dollars en 2012 à l'échelle mondiale).

Afin de réduire le niveau de pollution, différents instruments ont été mis en place par les décideurs publics. Un premier ensemble d'instruments concerne les lois et les normes. Il s'agit de l'approche du *command and control*. Le régulateur fixe un niveau maximal de pollution pour un pollueur (*command*), puis vérifie si ce niveau est respecté (*control*). Un exemple est la directive européenne 2001/81/CE de 2001, selon laquelle chaque pays membre de l'Union européenne devait définir des limites nationales concernant les émissions de dioxyde de soufre, des oxydes d'azote, de l'ammoniac et des composés organiques volatils.³ Un autre exemple concerne la directive européenne 2010/75/UE, qui fixe des limites pour les rejets des émissions industrielles dans le sol, les eaux et l'air, et qui prévoit des contrôles pour vérifier le respect des normes de rejet. Un inconvénient de ce type d'instruments est qu'ils sont demandeurs en informations. De plus, l'autorité qui contrôle doit être suffisamment crédible pour que les pollueurs aient effectivement intérêt à réduire leurs niveaux d'émission.

Le deuxième ensemble concerne les instruments de marché comme les taxes (Pigou (1920), Plott (1966), Baumol (1972)) et les subventions, ainsi que les permis d'émission (Coase (1960), Montgomery (1972)). Les taxes et les subventions sont des instruments agissant sur les *prix* (en modifiant les coûts de production d'une firme par exemple), alors que les permis d'émission sont des instruments agissant sur les *quantités* (en restreignant la quantité de polluant, et par extension les quantités produites si le pollueur est une firme). Un exemple d'application concerne les taxes sur le carbone, principalement mises en place au sein des pays européens (Finlande, Norvège, Suède, Danemark, Irlande et Royaume-Uni).⁴ Concernant les permis d'émission, ils ont principalement été mis en place aux États-Unis (pour le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote notamment) et à partir de 2005 en Europe (*Emission Trading System* pour les émissions de carbone).

Enfin, un dernier ensemble concerne la mise à disposition d'information, et la participation volontaire des pollueurs à des programmes de réduction du niveau de pollution. Pour Tietenberg (1998), ce dernier ensemble correspond aux instruments de troisième génération, l'approche par le *command and control* et les instruments de marché correspondant respectivement aux première et deuxième phases de régulation. Le dernier ensemble se

3. En 2012, la Commission européenne a évalué les efforts fournis par les États membres de l'Union européenne, et a conclu à une amélioration de la qualité de l'air. Cependant les seuils à atteindre ne l'étaient pas encore.

4. Dans cette thèse, nous discutons également le cas de la France, avec la mise en place de cette taxe sous la forme d'une Taxe Intérieure de Consommation sur les Produits Énergétiques. Nous verrons également les difficultés connues par le gouvernement français pour mettre en place une taxe carbone.

distingue des deux précédents dans son approche qui est principalement volontaire de la part des pollueurs. La publication de listes de pollueurs par les agences environnementales (comme l'*Environmental Protection Agency* aux États-Unis) en est un exemple (Hamilton (1995), Konar et Cohen (1997), Lanoie et *al.* (1998) parmi d'autres). La mise en place de labels écologiques informant les consommateurs du caractère respectueux de l'environnement d'un bien, en est un autre exemple (Meyer (2001), Ibanez et Grolleau (2008), Thøgersen et *al.* (2010)).

Pour Singler (2015a), l'ensemble de ces instruments est nécessaire, et les décideurs publics doivent poursuivre leur mise en place. Dans le même temps, les régulateurs doivent en développer d'autres dans le même esprit. L'auteur suggère également la mise en avant de nouveaux instruments incitatifs, à l'instar des *nudges*. Ce concept, que nous pouvons traduire par "coup de coude", a été proposé par Thaler et Sunstein (2009). Un *nudge* désigne une action simple (provision d'information textuelle ou visuelle, mise en place d'une option directement pré-sélectionnée - ou par défaut -, présentation particulière des options, etc.), peu coûteuse et non contraignante, dont l'objectif est d'orienter le comportement des agents économiques. De par leur nature, et le fait que ce sont des instruments non contraignants, il semble que les *nudges* s'inscrivent dans la même lignée que les instruments de la troisième phase.

Les psychologues (dont Schultz et *al.* (2007), Nolan et *al.* (2008), Goldstein et *al.* (2008)) et les économistes (Allcott (2011), Ayres et *al.* (2013), Costa et Kahn (2013), Ferraro et Price (2013), Löfgren et *al.* (2013), Egebark et Ekström (2016) entre autres) ont testé leur mise en place sur le terrain. Bien que les résultats de ces études soient encourageants, peu de modélisations théoriques de la mise en place des *nudges* ont été proposées, principalement autour de la provision d'informations (Farhi et Gabaix (2015), Harding et Hsiaw (2014)) et la mise en place d'options par défaut (Carroll et *al.* (2009), Berhneim et *al.* (2015), Goldin et Lawson (2016)).

Les contributions volontaires à la qualité environnementale

Les différents instruments que nous venons d'aborder jusqu'à présent sont mis en place pour corriger une externalité négative causée par les pollueurs. Nous pouvons également considérer le rôle des consommateurs concernant la qualité environnementale. Cependant, ces derniers peuvent diverger du régulateur dans leur appréciation de la nécessité de protéger l'environnement.

En particulier, leur perception du risque de pollution peut être différente de celle du régulateur, ou de ses experts (Slovic *et al.* (1980), Slovic (1987), Kraus *et al.* (1992)). Dans cette thèse nous considérons la possibilité que cette divergence dans la perception des risques soit due à un manque de confiance dans les informations fournies par le régulateur concernant le risque de pollution (Siegrist et Cvetkovitch (2000), Slovic (2003), Wachinger *et al.* (2013)). Ainsi, les agents peuvent être plus ou moins optimistes concernant le risque de pollution, dans le sens où ils sous-estiment les probabilités de fortes pertes, et sur-estiment celles de faibles pertes.

En économie, différents auteurs ont pris en compte cette divergence dans la perception du risque de pollution entre les individus et le régulateur (Etner *et al.* (2007, 2009), Salanié et Treich (2009), Jeleva et Rossignol (2009)). L'approche que nous adoptons dans cette thèse rejoint en particulier les modèles d'Etner *et al.* (2007, 2009), car nous modélisons également la divergence dans la perception du risque à l'aide d'une fonction de transformation des probabilités.

La prise en compte de la sensibilité environnementale

Par ailleurs, nous nous distinguons de ces travaux en incluant également la sensibilité environnementale des individus. Nous la définissons comme l'ensemble des convictions d'un individu par rapport à l'environnement, ou comme sa vulnérabilité physique par rapport à la pollution. En effet, la pollution atmosphérique, par exemple, peut avoir une incidence sur la santé des individus (problèmes respiratoires, cancer, etc.). De ce fait, certains individus tolèrent moins bien que d'autres la pollution. De plus, la sensibilité environnementale d'un individu peut notamment être façonnée par son éducation (Kumar *et al.* (2003), Alix-Garcia (2007)). Plus précisément, certains individus peuvent avoir été éduqués de façon à considérer l'impact de leurs actions sur l'environnement.

Plusieurs travaux d'économistes ont mis en avant le fait que le "profil environnemental" pouvait être un déterminant des actions des individus (dont Kahn (2007) et Kotchen et Moore (2008)).

Ainsi, dans cette thèse nous tenons compte de cette double hétérogénéité des individus (optimisme et sensibilité environnementale) pour expliquer le comportement des agents économiques par rapport à la qualité environnementale. Nous proposons une modélisation de la mise en place d'une taxe et d'un *nudge*, et nous analysons comment ces instruments incitatifs peuvent être construits en tenant compte de ces caractéristiques intrinsèques.

Objectifs de la thèse et méthodologie

L'objectif de cette thèse est de contribuer à la littérature portant sur les conséquences de la mise en place d'un *nudge* dans l'aide à la décision des agents économiques. Plus précisément, nous consacrons une attention toute particulière aux deux points suivants :

i) Obtenir des prédictions théoriques concernant la mise en place d'un instrument est essentiel afin de cibler les individus, et pour le calibrer correctement. Dans le cas d'un *nudge*, il semble difficile de paramétrer un calibrage optimal. En effet, lorsqu'un agent économique fait face à une taxe, les coûts monétaires liés à cette dernière sont pris en compte dans sa contrainte budgétaire, et nous pouvons évaluer sa réaction. En revanche, lorsqu'un *nudge* est mis en place, la réaction des individus ne va pas être monétaire mais psychologique. Dans ce contexte, quelles sont les conditions sur les préférences des agents économiques pour qu'un *nudge* (relevant de la provision d'une information) soit efficace ?

ii) Par ailleurs, il peut être intéressant de s'interroger sur la possible complémentarité d'un *nudge* (relevant de la provision d'une information) et des instruments monétaires (Farhi et Gabaix (2015)). En effet, si nous considérons le cas des taxes, celles-ci peuvent être difficiles à mettre en place du point de vue leur acceptabilité sociale (Kallbekken *et al.* (2011), Godard (2015)). L'objectif est alors de savoir si le *nudge* que nous considérons peut être une alternative aux instruments monétaires, ou au contraire un complément (en participant à améliorer l'acceptabilité sociale d'une taxe). Ainsi, nous nous proposons de trancher entre ces deux hypothèses.

Afin d'apporter une réponse à ces deux points, nous adoptons une démarche théorique et expérimentale. À travers la démarche théorique, nous proposons une modélisation de la réaction à un *nudge* prenant la forme de l'annonce de la contribution socialement optimale, dans le cadre d'un modèle de contributions volontaires pour améliorer la qualité environnementale. Nous mettons en perspective ce *nudge* par rapport à une taxe. Plus précisément, les agents économiques sont taxés sur la différence entre la contribution socialement optimale et leur niveau de contribution. Ainsi, la taxe indique aux agents un niveau à atteindre, tout comme notre *nudge*. La différence entre ces deux instruments réside dans le fait que la taxe "corrige" en pénalisant financièrement une déviation par rapport à l'optimum social, alors que le *nudge* s'appuie sur une prise de conscience de la part des individus, en pénalisant par un coût moral (plus ou moins élevé selon les agents) cette même déviation. Par ailleurs, la taxe peut apparaître plus transparente qu'un *nudge* de par son mécanisme,

alors que ce dernier peut sembler moins éthique de par sa nature. Nous discuterons de l'éthique de ces instruments dans le premier chapitre.

Enfin, une dernière différence concerne l'acceptabilité sociale relative à chacun de ces instruments. Il peut être difficile de mettre en place une taxe dans le contexte social et politique actuel (Kallbekken *et al.* (2011), Godard (2015)). La mise en place d'un *nudge* dans ce même contexte peut être, *a priori*, plus facile, car aucune pénalité financière n'est imposée aux agents. Un *nudge* peut toutefois être difficilement accepté si l'on considère les aspects de liberté de choix des individus (Jung et Mellers (2016), Reisch et Sunstein (2016)).

À travers l'approche expérimentale, nous nous proposons de tester les prédictions théoriques obtenues. En effet, une expérience en laboratoire nous permet de proposer un environnement contrôlé, dans lequel nous faisons varier la nature des instruments, sans changer les autres paramètres.

Contenu de la thèse

L'ensemble de cette méthodologie est développé à travers cinq chapitres, que nous détaillons dans les paragraphes suivants.

Dans le **premier chapitre**, nous tentons de mettre en perspective les instruments traditionnels de régulation environnementale, avec les *nudges*. Dans cette thèse, nous ne développerons pas les instruments juridiques relevant de l'approche du *command and control*, car nous nous focalisons sur les instruments économiques. Dans la première section, nous analysons l'efficacité des taxes (et des subventions) ainsi que des permis d'émission. Nous étudions également comment ces instruments ont été mis en place par les décideurs publics, puis nous discutons en quoi ces instruments peuvent être difficiles à mettre en place. Cette analyse nous permettra de comprendre les différences avec la mise en place d'un *nudge*.

Dans la deuxième section, nous proposons une analyse du concept de *nudge*. Nous repartons de l'idée originelle de Thaler et Sunstein : le paternalisme libéral (Thaler et Sunstein (2003)). Nous étudions ensuite plusieurs définitions qui ont été proposées pour décrire un *nudge* (Barton et Gruïne-Yanoff (2015), Hansen (2016), Allcott et Taubinsky (2015), Hagman *et al.* (2015)), à partir desquelles nous formulons notre propre définition :

Un nudge est une action simple, peu coûteuse, et non contraignante dont le but est d'orienter la décision des individus afin qu'ils prennent des décisions améliorant leur bien-être ou, plus généralement, celui de la société dans son ensemble. Cette action peut relever

de l'utilisation des biais psychologiques (présentation particulière des différentes options, option par défaut, etc.) ou peut revêtir la forme d'une information donnée aux individus pour déclencher une prise de conscience.

Nous discutons ensuite de l'adoption de ces instruments par les décideurs publics.

La troisième section complète la précédente par une présentation des principaux résultats des études de terrain (Allcott (2011), Ayres *et al.* (2013), Costa et Kahn (2013), Ferraro et Price (2013), Löfgren *et al.* (2012), Egebark et Ekström (2016)). Nous analysons ensuite quelques modèles qui prennent en compte la mise en place d'un *nudge* relevant de la provision d'une information (Farhi et Gabaix (2015), Harding et Hsiaw (2014)) ou d'une option par défaut (Carroll *et al.* (2009), Berhneim *et al.* (2015), Goldin et Lawson (2016)).

Dans la dernière section, nous discutons de l'éthique des *nudges*. Nous expliquons en quoi cette approche peut relever de la manipulation (Hausman et Welch (2010), Goodwin (2012), Vallgarda (2012) et Wilkinson (2013)), mais qu'il est nécessaire d'établir une distinction entre les différents *nudges* (provision d'information visuelle ou textuelle, option par défaut, etc.), car tous ne manipulent pas avec la même intensité (Hansen et Jespersen (2013)). Le paternalisme libéral est également discuté, avec pour principal contre-argument la liberté des agents économiques qui est remise en cause (Mitchell (2005)). Ces limites nous amènent également à discuter l'absence de cadre juridique entourant la mise en place des *nudges* (Lepenies et Malecka (2015), van Aaken (2015)). Enfin, nous analysons le fait qu'un *nudge* peut réduire le bien-être de certains individus du fait de l'hétérogénéité des préférences (Barton et Grüne-Yanoff (2015), Heilmann (2014)), ce qui peut également conduire à une hétérogénéité dans l'acceptation sociale des *nudges* (Jung et Mellers (2016), Reisch et Sunstein (2016)).

Le concept de *nudge* étant présenté, nous proposons une modélisation de la réaction d'un agent économique à un tel instrument dans le **deuxième chapitre**. Le modèle que nous présentons est basé sur Etner *et al.* (2007, 2009), et présente également des similarités avec les modèles de Salanié et Treich (2009) et Jeleva et Rossignol (2009). Ces chercheurs considèrent des individus dont les perceptions du risque de pollution diffèrent de celles du régulateur. Nous présentons rapidement ces modèles dans la première section.

Dans la deuxième section, nous détaillons notre modèle, dans lequel nous intégrons cette divergence dans la perception du risque entre le régulateur et les agents économiques. Nous considérons en particulier des agents plus ou moins optimistes concernant le risque de pollution, car ce sont ceux, *a priori*, qui contribuent le moins à la qualité environnementale. L'optimisme est modélisé à l'aide d'un modèle d'utilité dépendant du rang (Quiggin

(1982)). Nous considérons également une hétérogénéité des individus concernant leur sensibilité environnementale (faible ou élevée). Comme pour Etner *et al.* (2007, 2009), nous obtenons que tous les individus sous-contribuent par rapport à l'optimum social. Cependant, contrairement à ces auteurs, nous montrons que les individus les plus optimistes ne sont pas nécessairement ceux qui contribuent le moins pour améliorer la qualité environnementale. En effet, si un individu est très optimiste concernant le risque de pollution, mais également très sensible à l'environnement, alors cet individu pourrait contribuer davantage qu'un individu moins optimiste mais également moins sensible à l'environnement : la différence dans la sensibilité environnementale pourrait compenser davantage la divergence dans la perception du risque.

Afin de vérifier s'il est possible d'améliorer le bien-être social des individus, nous considérons la mise en place d'une taxe. Plus précisément, les individus sont taxés sur la différence entre la contribution socialement optimale et leur niveau de contribution. Sous l'hypothèse que les agents sont non prudents, ou imprudents, par rapport à la pollution (au sens de Kimball (1990), Menezes *et al.* (1980), Crainich et Eeckhoudt (2005, 2008)), nous montrons qu'il n'est pas possible de faire dépendre la taxe de la sensibilité environnementale.

La mise en place d'un *nudge* est considérée dans la troisième section. Celui-ci prend la forme de l'annonce de la contribution socialement optimale. L'un des apports majeurs de cette thèse est de proposer une modélisation de la réaction à ce *nudge*.⁵ Cette réaction, qui prend la forme d'une fonction de coût moral dès lors que l'individu contribue moins que l'annonce, est similaire aux fonctions de conformité du statut social (Bernheim (1994), Akerlof (1997)) mais également à la fonction de coût moral de Figuières *et al.* (2013), lorsque les agents s'éloignent de leur objectif moral. Nous montrons que la mise en place du *nudge* peut induire une augmentation du niveau des contributions individuelles, comme pour la taxe. Cependant, contrairement à cette dernière, il est possible de faire dépendre le *nudge* de la sensibilité environnementale.

Dans la dernière section, nous illustrons nos résultats à l'aide d'exemples paramétrés.

Nous testons la majorité des prédictions théoriques obtenues dans le **troisième chapitre** avec une expérience en laboratoire.

Dans la première section, nous commençons par présenter un modèle simplifié par rapport à celui que nous avons présenté dans le chapitre précédent. L'objectif est de pouvoir

5. De manière générale, cette modélisation tient pour tout *nudge* relevant de la provision d'une information.

s'adapter aux conditions expérimentales, en particulier pour pouvoir faciliter la compréhension des sujets. De ce fait, bien que similaire aux modèles d'Etner et *al.* (2007, 2009), ce modèle s'approche davantage de celui proposé par Salanié et Treich (2009).

Le protocole expérimental est détaillé dans la deuxième section. L'expérience proposée consiste en un jeu de bien public dans lequel les sujets peuvent répartir leur dotation entre leur consommation privée, et un compte public servant à améliorer la qualité environnementale. L'un des apports de notre expérience est d'administrer un questionnaire psychologique pour mesurer la sensibilité environnementale des sujets avant le début du jeu : le *General Ecological Behavior scale* (Kaiser (1998)). En répondant aux questions, les sujets ne savaient pas qu'ils allaient être classés en deux types de joueur : les joueurs sensibles à l'environnement, et ceux qui ne le sont pas. Durant le jeu de bien public, les sujets ont soit été placés dans le groupe de contrôle, soit dans le traitement avec taxe ou avec *nudge* (annonce de la contribution socialement optimale calculée selon la sensibilité et avec les croyances du régulateur).⁶ Enfin, nous avons déterminé l'optimisme des sujets à l'aide d'un deuxième questionnaire psychologique : le *Life Orientation Test* (Scheier et Carver (1985), Scheier *et al.* (1994)).

Nous présentons les résultats dans la troisième section. Nous obtenons des différences claires entre la mise en place de la taxe et du *nudge*. La taxe induit une augmentation significative du niveau des contributions individuelles, par rapport au groupe de contrôle, durant toute sa période de mise en place ; et ce quelle que soit la sensibilité des joueurs. Concernant le *nudge*, nous observons une augmentation significative du niveau des contributions individuelles, par rapport au groupe de contrôle, seulement pour les groupes de joueurs sensibles à l'environnement et durant les sept premières périodes (sur les quinze périodes de jeu). Aucune différence significative n'est observée, par rapport au groupe de contrôle, pour les groupes de joueurs peu sensibles à l'environnement. L'analyse économétrique confirme que la réaction au *nudge* semble dépendre de la sensibilité environnementale. De manière générale, l'optimisme des sujets ne semble pas être un déterminant de la décision de contribuer pour améliorer la qualité environnementale.

Enfin, dans une dernière section, nous conduisons une analyse de l'efficacité relative des instruments de régulation considérés. Cette analyse nous permet d'affiner nos résultats en termes de bien-être des groupes. Comme nous pouvions nous y attendre à partir de l'analyse menée dans la section précédente, la taxe est l'instrument induisant le bien-être

6. Dans ce chapitre, nous expliquons que pour des raisons pratiques nous ne pouvions pas calculer l'optimum social selon la sensibilité et l'optimisme des sujets. En effet, nous aurions dû regrouper les sujets partageant exactement les mêmes caractéristiques intrinsèques dans un même groupe, ce qui nous aurait demandé beaucoup de répétitions de l'expérience pour avoir suffisamment de données indépendantes.

le plus élevé (quel que soit le type des joueurs). En revanche, cette analyse nous permet également de mettre en avant que le *nudge* induit un effet d'éviction sur le bien-être des joueurs les moins sensibles à l'environnement. De plus, pour ces mêmes joueurs, l'analyse de la robustesse semble indiquer que la taxe est un instrument plus robuste que le *nudge*. Pour les joueurs les plus sensibles, aucun instrument ne semble plus robuste que l'autre.

Dans le **quatrième chapitre**, nous poursuivons notre comparaison entre le *nudge* et la taxe. Plus précisément, nous nous proposons d'analyser la persistance des effets de ces instruments, une fois leur mise en place arrêtée. Cette expérience est directement fondée sur les travaux de Bruttel et Friehe (2014) et de Lefebvre et Stenger (2016). En plus de leurs travaux, nous considérons la mise en place d'un instrument mixte (taxe et *nudge*) pour vérifier s'il est possible de faire prendre conscience aux sujets que s'ils sont taxés, c'est parce que leur comportement n'est pas socialement optimal (à l'aide du *nudge*). Par ailleurs, nous souhaitons également vérifier s'il est possible de combiner les avantages respectifs de chacun des instruments. En effet, les incitations monétaires peuvent induire un effet d'éviction sur la motivation à participer à une tâche (Deci (1971, 1972), Kruglanski *et al.* (1971), Deci *et al.* (1999), Bénabou et Tirole (2003, 2006), Gneezy et Rustichini (2000)). En revanche, cet effet ne semble pas présent après l'arrêt de la mise en place d'un *nudge* (Ferraro *et al.* (2011), Allcott et Rogers (2014), Bernedo *et al.* (2014)). Contrairement à Bruttel et Friehe (2014) et Lefebvre et Stenger (2016), nous considérons une analyse de l'efficacité des instruments comme dans le chapitre précédent.

Dans la première section, nous commençons par présenter un modèle simplifié de contribution volontaire à un bien public dans le même esprit que ceux proposés par Bergstrom *et al.* (1986) et Figuières *et al.* (2013). Contrairement aux deux chapitres précédents, nous considérons une analyse décontextualisée. Nous souhaitons ainsi vérifier si la réaction à notre *nudge* dépend d'une caractéristique intrinsèque des individus (comme la sensibilité environnementale dans les chapitres précédents). Par ailleurs, contrairement à Bruttel et Friehe (2014) et Lefebvre et Stenger (2016), nous ne considérons pas une fonction linéaire pour les gains, mais quadratique dans le bénéfice lié au bien public. En effet, une fonction linéaire ne permet pas d'expliquer pourquoi les individus contribuent au bien public, alors qu'à l'équilibre de Nash ils ne devraient pas contribuer.

Dans la deuxième section, nous présentons le protocole expérimental (basé sur celui de Bruttel et Friehe (2014) et Lefebvre et Stenger (2016)). Les sujets ont participé à un jeu de bien public s'étalant sur deux séries de 10 périodes. Dans la première série, les sujets ont été placés de manière aléatoire dans le groupe de contrôle, ou dans un des traitements

(taxe, *nudge* ou instrument mixte). Dans la seconde série, tous les sujets ont joué le jeu de bien public sans la mise en place d'incitations externes (afin de vérifier les effets de persistance). Contrairement à Bruttel et Friehe (2014) et Lefebvre et Stenger (2016), nous considérons également l'effet de la dynamique des groupes sur la réaction aux instruments incitatifs. De ce fait, nous considérons chaque traitement avec des groupes de *Partenaires* (les sujets restent dans le même groupe tout au long de l'expérience) et avec des groupes d'*Étrangers* (les sujets changent de groupe à la fin de chaque période) pour tester l'effet de la dynamique des groupes (Andreoni (1988), Palfrey et Prisbrey (1996), Croson (1996), Sonnemans *et al.* (1999), Fehr et Gächter (2000), Keser et van Winden (2000)).

Les résultats de l'expérience sont détaillés dans la troisième section. Nous montrons que seul l'instrument mixte induit une augmentation significative du niveau des contributions, par rapport au groupe de contrôle. Cependant, nous ne pouvons pas exclure que la taxe induit une augmentation marginalement significative du niveau des contributions par rapport au groupe de contrôle (selon un test d'hypothèse unilatéral). Ce résultat semble ainsi indiquer que pour qu'un *nudge* soit efficace, il faut s'appuyer sur une caractéristique intrinsèque des individus (à l'instar de leur intérêt dans la tâche).

Pour les groupes de *Partenaires*, nous ne trouvons pas d'effet de persistance des instruments. L'analyse économétrique nous permet également de mettre en évidence un effet de relâchement au niveau des contributions pour les groupes ayant reçu la taxe, contrairement aux sujets ayant reçu l'instrument mixte. Ce résultat semble indiquer que le fait de compléter la taxe par un *nudge* permettrait de contrôler cet effet de relâchement sur le niveau des contributions. Pour les groupes d'*Étrangers*, nous montrons à l'aide de l'analyse économétrique que tous les instruments, à l'exception du *nudge*, induisent une augmentation significative du niveau des contributions durant la période de traitement. Une fois les instruments incitatifs retirés, nous observons une persistance des effets pour les groupes ayant reçu la taxe et l'instrument mixte, avec un effet plus fort pour les groupes ayant reçu ce dernier instrument. Par ailleurs, nous trouvons également un effet de persistance pour les groupes ayant reçu le *nudge*. Ainsi, nous ne pouvons exclure la possibilité que les sujets aient appris de la mise en place du *nudge*.

Enfin, dans la quatrième section nous conduisons une analyse de l'efficacité relative de chaque instrument pour les groupes de *Partenaires*.⁷ Nous montrons que l'instrument mixte est l'instrument qui induit le bien-être le plus grand par rapport aux autres instruments et au groupe de contrôle. La taxe induit également un bien-être significativement

7. Dans ce chapitre, nous expliquons que nous ne pouvons pas mener cette analyse pour les groupes d'*Étrangers*, car nous ne possédons pas suffisamment d'observations indépendantes.

plus grand que celui observé dans le groupe de contrôle. Nous pouvions nous attendre à ces résultats d’après ceux obtenus dans la section précédente. L’analyse de la robustesse des instruments nous permet de désigner l’instrument mixte comme étant l’instrument le plus robuste durant la période de traitement. Cependant, la variabilité des contributions entre groupes semble indiquer que l’instrument mixte est le moins robuste une fois les instruments retirés. Les autres mesures de la robustesse ne confirment pas ce résultat. D’autres expériences permettraient d’affiner ce résultat ambigu.

Jusqu’à présent, nous avons considéré que la contribution d’un individu au bien public bénéficiait à l’ensemble des autres individus appartenant à l’économie. Ceci n’est plus vrai lorsque le bien public est local (Tiebout (1956), Berglas et Pines (1981), Scotchmer (2002)). Un jardin public, une école publique, etc., sont des exemples de biens publics locaux. La qualité environnementale peut également être locale. Ainsi, dans le **cinquième chapitre**, nous relâchons l’hypothèse que la contribution d’un individu à un bien public profite à l’ensemble des membres de l’économie, en considérant un modèle de contributions à un bien public local.

L’aspect local d’un bien public peut être appréhendé par les modèles de contributions en réseaux. Ce terme désigne l’ensemble des liens (géographiques ou sociaux) qui relient les agents économiques les uns aux autres. Dans la littérature, plusieurs études ont montré la nécessité de considérer l’influence du réseau dans les décisions pro-environnementales d’un individu (Kurz *et al.* (2007), McCallum *et al.* (2007), Videras *et al.* (2012)). Dans la première section, nous présentons les principaux modèles existant qui intègrent la notion de réseau (Allouch (2015), Bloch et Zenginobuz (2007), Bramoullé et Kranton (2007), Bramoullé *et al.* (2014), Sanditov et Arora (2016)).

Dans la deuxième section, nous présentons notre modèle, qui est basé sur celui de Bramoullé et Kranton (2007). Dans leur papier, ces auteurs ont adopté une approche positive en s’intéressant aux équilibres de Nash. Ils accordent également une partie au calcul de l’optimum social. Nous suivons leur démarche, et nous nous intéressons en particulier à l’étude des équilibres dans un réseau en cercle et un en étoile. Dans le premier type de réseau, tous les individus ont le même nombre de *voisins directs*.⁸ En revanche, dans le réseau en étoile un individu est central et a tous les autres individus comme voisins directs. Ces derniers n’ont que l’individu du centre comme voisin direct. Nous souhaitons ainsi comparer deux structures s’opposant dans leur configuration. La nature des équilibres obtenus dépend de la position des individus dans le réseau, ainsi que du nombre de leurs

8. Le voisin direct de l’individu i désigne un individu qui profite des contributions de l’individu i , et inversement. Ceux sont des individus qui sont directement liés entre eux.

voisins directs. De ce fait, différents équilibres de Nash sont possibles, ce qui peut conduire à une situation d'incertitude stratégique (Van Huyck *et al.* (1990), Tallon (2006)) : les individus ne savent pas sur quel équilibre se coordonner.

Par rapport à Bramoullé et Kranton (2007), nous adoptons une démarche normative, et nous nous intéressons à la mise en place du même *nudge* que précédemment afin d'induire une augmentation du niveau agrégé des contributions. Nous souhaitons également vérifier si cet instrument peut réduire l'incertitude stratégique observée dans la section précédente. Dans la troisième section, nous considérons un régulateur en situation d'information complète, qui a une parfaite connaissance de la structure du réseau, ainsi que de la place occupée par chacun des individus. Dans ce contexte, le régulateur peut indiquer à chaque individu, de manière ciblée, quelle est la contribution socialement optimale qu'il devrait fournir.⁹ Nous montrons, dans les deux réseaux, que l'incertitude stratégique n'est réduite que si la sensibilité au *nudge* est faible. Nous illustrons les différents résultats obtenus à l'aide d'exemples paramétrés.

Dans la section suivante, nous relâchons l'hypothèse d'un régulateur parfaitement informé. Ce dernier a connaissance de la forme du réseau, mais pas de la position exacte de chaque individu à l'intérieur de celui-ci. Le régulateur ne peut plus mettre en place de *nudge* ciblé (le contenu du message ne peut plus être adapté selon la position). De ce fait, le message mis en place est le même pour tous. Dans le réseau en cercle, étant donné que tous les individus ont le même nombre de voisins directs, le message ne diffère pas de celui en situation d'information complète, et nous obtenons le même résultat qu'en situation d'information complète. Dans le réseau en étoile, deux stratégies sont possibles : le régulateur annonce à tout le monde le niveau de contribution socialement optimal des individus à la périphérie, ou celui de l'individu du centre. Dans ce dernier cas, l'incertitude stratégique n'est pas réduite, mais il est possible de tendre vers l'équilibre socialement optimal (sans l'atteindre pour autant si la vraie valeur est annoncée). Dans le premier cas, l'incertitude stratégique n'est pas réduite, et le niveau agrégé des contributions n'augmente pas nécessairement par rapport à l'équilibre de Nash. Ces résultats semblent ainsi aller dans la même direction que ceux du troisième chapitre : lorsqu'un *nudge* est mis en place, il semble que les décideurs publics devraient correctement cibler les individus.

9. Dans le réseau en étoile, les individus sont hétérogènes dans le nombre de leurs voisins directs. Sunstein (2013) propose la mise en place de *nudges* ciblés en présence d'hétérogénéité des agents.

Chapitre 1

Les instruments incitatifs pour la régulation environnementale¹

Dans ce chapitre, nous nous proposons de mettre en perspective les instruments économiques traditionnels (taxes/subventions et permis d'émission) avec les *nudges*. Ce terme désigne une action simple, peu coûteuse, et non contraignante dont le but est d'orienter la décision des individus afin qu'ils prennent des décisions améliorant leur bien-être ou, plus généralement, celui de la société dans son ensemble. Cette action peut relever de l'utilisation des biais psychologiques (présentation particulière des différentes options, option par défaut, etc.) ou peut revêtir la forme d'une information donnée aux individus pour déclencher une prise de conscience.

L'objectif de ce chapitre est de présenter l'ensemble de ces instruments, et d'étudier comment ils sont mis en place. Nous souhaitons également proposer une analyse de leurs inconvénients. En effet, bien que les *nudges* semblent présenter des avantages par rapport aux instruments économiques traditionnels, leur éthique peut soulever des interrogations (alors que ce n'est pas le cas pour les instruments de marché). Ce travail nous permettra de situer la présente thèse, par rapport aux travaux de recherche qui ont déjà été effectués.

Nous présentons les instruments économiques traditionnels (taxes/subventions et permis d'émission) d'un point de vue théorique et empirique dans la section 1. Nous discutons également les raisons pour lesquelles ces instruments peuvent se révéler difficiles à mettre en place. Dans la section 2, nous présentons le concept de *nudge*. Nous commençons par détailler le paternalisme libéral qui est à l'origine du concept de *nudge*, puis nous analysons les différentes définitions qui ont été proposées. À partir de ces définitions, nous établirons

1. Ce chapitre a donné lieu au chapitre publié Ouvrard et Spaeter (2015).

une définition que nous adopterons dans le reste de cette thèse. Après l'étude du concept de *nudge*, nous étudierons les principales expériences de terrain qui ont été menées dans le domaine de l'environnement dans la section 3. Nous analyserons également les modèles théoriques qui ont été proposés. Dans la section 4, après avoir étudié les résultats encourageants des *nudges*, nous nous poserons la question de savoir s'ils constituent un instrument idéal, tant d'un point de vue des décideurs publics (par rapport à l'acceptabilité sociale) que par rapport aux individus sujets à cet instrument. En particulier, nous verrons que ces instruments ne permettent pas nécessairement de résoudre le problème de l'hétérogénéité des préférences. De même, la question de leur éthique mérite d'être posée car certains *nudges* relèvent de la manipulation. De ce fait, un cadre juridique entourant leur mise en place semble nécessaire. La section 5 conclut ce chapitre.

1.1 Les instruments de marché : des instruments efficaces mais contestés

Pour reprendre les termes de Tietenberg (1998), nous nous concentrons dans cette thèse sur les instruments de régulation des deuxième et troisième phases, à savoir, respectivement, les instruments de marché (taxes et permis essentiellement) et la régulation dite douce, fondée sur la provision d'informations et la participation volontaire des différents pollueurs (Croson et Treich (2014)).² La première phase de régulation environnementale concerne la mise en place de lois et de normes, avec des institutions pour vérifier le respect de ces dernières (*command and control*).³ L'objectif est de comparer leur mise en place, ainsi que les avantages et les inconvénients relatifs à chaque instrument.

Dans un premier temps, nous présentons les taxes, qui représentent l'instrument économique le plus ancien mis en place. Nous analyserons ensuite les permis d'émission.

1.1.1 Taxes (et subventions) : l'approche pigouvienne de la régulation environnementale

L'économiste anglais Pigou (1920) a été le premier à formaliser en économie l'idée selon laquelle un individu causant un dommage à autrui devrait le compenser pour le dommage causé (principe du pollueur-payeur). Dans son ouvrage de 1920, Pigou suggère la mise en

2. Croson et Treich (2014) expliquent en particulier le concept de Responsabilité Environnementale des Entreprises (*Corporate Environmental Responsibility*). Sachant que certains consommateurs prennent en compte l'impact sur l'environnement des produits qu'ils achètent, des firmes peuvent leur fournir des biens respectueux de l'environnement. Ce principe s'organise selon une démarche volontaire de la part des firmes.

3. En France, l'Agence de l'Eau est un exemple d'organisme public assurant ce rôle de contrôle.

application de ce principe par le biais d'une taxe. Nous proposons un exemple formalisé pour illustrer le mécanisme de la taxe pigouvienne. Par ailleurs, cet exemple nous permettra également de voir la différence dans la prise en compte de la réaction au *nudge* que nous proposons dans le chapitre suivant.

Analyse formelle de la taxe pigouvienne

Bien que le principe du pollueur-payeur ait été proposé en 1920, il n'a été formalisé mathématiquement que bien plus tard (voir en particulier Plott (1966) et Baumol (1972)).

Nous proposons un exemple pour illustrer nos propos.⁴ Considérons une firme k produisant un ensemble de biens donnés par le vecteur $q_k = (q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk})$. Supposons qu'avec la production de ces biens, un polluant est émis en quantité E_k .⁵ Notons également $F^k(q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk}, E_k)$ la fonction de production de la firme k . Sous l'hypothèse d'un marché compétitif, la firme k est preneuse de prix (*price-taker*) : le prix du bien i est p_i .

La pollution affecte les consommateurs. En particulier, chaque individu j souffre des niveaux d'émission de chaque firme k . Notons E_j l'externalité (négative) subie par l'individu j , avec $E_j = \alpha_j \sum_k E_k$. α_j désigne la proportion du niveau total d'émission subie par l'individu j , avec $\sum_j \alpha_j = 1$. Enfin, notons c_{ij} la consommation du bien i par l'individu j , et $U^j(c_{ij}, E_j)$ la fonction d'utilité (concave) de l'individu j .

L'optimum social pour l'individu 1, en posant la contrainte que les autres individus ne perdent pas en bien-être (l'utilité des autres individus j est fixée à $\bar{U}^j$), est ainsi donné par :

$$\begin{aligned} & \max U^1(c_{11}, \dots, c_{m1}, E_1) \\ & \text{s.c.} = \begin{cases} U^j(c_{1j}, \dots, c_{mj}, E_j) = \bar{U}^j & \forall j \quad (\lambda_j) \\ F^k(q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk}, E_k) = 0 & \forall k \quad (\lambda_k) \\ \sum_j c_{ij} - \sum_k q_{ik} \leq r_i & \forall i \quad (\mu_i) \\ E_j = \alpha_j \sum_k E_k \end{cases} \end{aligned} \quad (1.1)$$

avec λ_j , λ_k et μ_i les multiplicateurs de Lagrange.

En notant $\mathcal{L}$ le Lagrangien, les conditions de premier ordre sont données par :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial c_{ij}} = \lambda_j \frac{\partial U^j}{\partial c_{ij}} - \mu_i = 0 \quad (1.2)$$

4. Adapté de Schubert et Zagamé (1998), pp 15-18.

5. Nous pouvons penser en particulier au dioxyde de carbone (CO_2), au dioxyde de sulfure (SO_2), ou encore l'oxyde d'azote (NO_x).

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_{ik}} = -\lambda_k \frac{\partial F^k}{\partial q_{ik}} + \mu_i = 0 \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial E_k} = \sum_j \lambda_j \alpha_j \frac{\partial U^j}{\partial E_j} - \lambda_k \frac{\partial F^k}{\partial E_k} = 0 \quad (1.4)$$

À l'optimum social, le taux marginal de substitution, obtenu dans l'équation (1.2), doit être égal au taux marginal de transformation, obtenu dans l'équation (1.3). La condition (1.4) est celle qui nous intéresse dans cette analyse : le coût marginal pour réduire le niveau d'émission d'une unité doit être égal au dommage marginal causé par une unité de pollution.

Considérons maintenant la mise en place d'une taxe par unité de pollution. Notons t_k la taxe imposée à la firme k . Cette firme va maximiser son profit :

$$\max_{(q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk}, E_k)} \Pi^k(q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk}, E_k) = \sum_{i=1}^m p_i q_{ik} - t_k E_k \quad (1.5)$$

$$s.c. \quad F^k(q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk}, E_k) = 0 \quad (\nu_k)$$

avec ν_k le multiplicateur de Lagrange. En notant $\mathcal{L}$ le Lagrangien, les conditions de premier ordre sont données par :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_{ik}} = p_i - \nu_k \frac{\partial F^k}{\partial q_{ik}} = 0 \quad (1.6)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial E_k} = -t_k - \nu_k \frac{\partial F^k}{\partial E_k} = 0 \quad (1.7)$$

La condition (1.6) spécifie qu'à l'équilibre, le prix du bien i doit être égal à son coût marginal. La condition (1.7) spécifie quant à elle le niveau de la taxe. D'après la condition (1.4), l'optimalité est restaurée si et seulement $t_k^* = \sum_j \lambda_j \alpha_j \frac{\partial U^j}{\partial E_j}$, c'est-à-dire si le taux de taxation optimal (t_k^*) est égal à la somme des dommages marginaux imposés par la firme k . Il s'agit de la taxe pigouvienne.

Dans ce modèle, si l'on note s_k la subvention par unité de pollution réduite, alors le nouveau programme de la firme k devient :

$$\max_{(q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk}, E_k)} \Pi^k(q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk}, E_k) = \sum_{i=1}^m p_i q_{ik} + s_k E_k \quad (1.8)$$

$$s.c. \quad F^k(q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk}, E_k) = 0 \quad (\nu_k)$$

et en suivant les mêmes étapes, nous trouvons que la subvention optimale s_k^* est telle que $s_k^* = -t_k^* = -\sum_j \lambda_j \alpha_j \frac{\partial U^j}{\partial E_j}$. Autrement dit, la subvention optimale est égale à la somme des bénéfices marginaux liés à la dépollution.

Dans cette thèse, nous considérerons également la mise en place d'une taxe pour induire des comportements optimaux (dans les chapitres 2, 3 et 4). La différence, par rapport à l'analyse que nous venons de présenter, est que nous ne taxerons pas des émissions polluantes, mais une absence de participation à la provision d'un bien public. Plus précisément, en l'absence de régulation, les agents auront la possibilité de contribuer à un bien public (la qualité environnementale dans les chapitres 2 et 3). Pour augmenter le niveau des contributions, nous analyserons la mise en place d'une taxe individuelle sur la différence entre la contribution socialement optimale et la contribution privée.

Les mises en application de la taxe pigouvienne

La taxe pigouvienne a principalement été mise en place au sein des pays européens, en particulier à travers la taxe carbone (taxe sur les émissions de dioxyde de carbone CO_2). En Finlande, Norvège, Suède et au Danemark, ce type de régulation a été mis en place dès les années 1990. L'Irlande et le Royaume-Uni l'ont mise en place à partir des années 2010. Le cas de la France est différent car il n'y a pas de taxe carbone à proprement parler, mais plutôt une Taxe Intérieure de Consommation sur les Produits Énergétiques (TICPE), c'est-à-dire une taxe portant sur la consommation d'énergies fossiles.

Dans le reste du monde, l'Afrique du Sud, la Colombie-Britannique, le Chili, le Costa Rica, l'Islande, le Japon, le Mexique et la Suisse ont également mis en place une taxe sur le carbone⁶.

Cependant, il n'y a pas de consensus sur le prix par tonne de carbone entre ces différents pays. En France, le prix de la tonne de carbone était de 7 euros en 2014, et de 22 euros en 2016. Selon la loi de transition énergétique, l'objectif est d'atteindre le prix de 56 euros la tonne en 2020.⁷ Selon le rapport du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (2016), le prix par tonne de carbone en 2015 allait de 1.8 euros en Estonie, à 123 euros en Suède.

Fin 2015, durant la Conférence des Parties à Paris (COP21), une Coalition pour la tarification du carbone (*Carbon Pricing Leadership Coalition*) a vu le jour.⁸ Un des objectifs est d'établir des règles communes entre pays, en particulier concernant la nécessité

6. Voir Kennedy *et al.* (2015).

7. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-fiscalite-des-produits,11221.html>

8. <http://www.carbonpricingleadership.org>

de mettre en place un prix sur le carbone. 25 pays et localités (dont la France), ainsi que 100 entreprises font actuellement partie de cette coalition.

1.1.2 Les droits à polluer et les permis d'émission négociables

En opposition à Pigou, l'économiste anglais Coase (1960) n'était pas en faveur d'une intervention gouvernementale. Son argument était qu'en allouant correctement les droits de propriété aux agents économiques, puis en les laissant échanger ces droits entre eux, il était alors possible de restaurer l'optimum social. Dans le contexte de la pollution environnementale, cette idée a donné lieu aux droits à polluer, également appelés permis d'émission négociables.⁹

Le régulateur définit une limite quant au niveau de pollution autorisé (par exemple, en tonnes de CO_2) dans une aire géographique donnée (un pays, un continent, etc), attribue les permis aux acteurs concernés (une firme, un pays, etc) et les laisse se les échanger entre eux. Pour attribuer les permis, deux méthodes existent. Selon le principe du *grandfathering*, le régulateur alloue les permis selon les niveaux passés d'émission. Ainsi, ceux polluant le plus reçoivent le plus de permis¹⁰. Selon la seconde méthode, les permis peuvent être obtenus par les acteurs à travers des *enchères*. Les acteurs ayant enchéri le plus pour un nombre donné de permis gagnent l'enchère¹¹.

Analyse formelle des permis

Considérons un nouvel exemple avec les mêmes notations que pour l'exemple de la taxe pigouvienne.¹² À nouveau, la firme k émet un polluant en quantité E^k avec la production des biens $(q_{1k}, \dots, q_{mk})$, qui affecte le consommateur j . Dans cet exemple simplifié, nous faisons l'hypothèse que ce consommateur est en possession de droits sur l'environnement et qu'il peut vendre des permis d'émission à la firme k . Chaque permis acheté par la firme k au consommateur j lui permet d'émettre une unité de pollution. Soit z le prix d'un permis.

Le nouveau programme de la firme k s'écrit :

$$\begin{aligned} \max_{(q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk}, E_k)} \Pi^k(q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk}, E_k) &= \sum_{i=1}^m p_i q_{ik} - z E_k \\ \text{s.c. } F^k(q_{1k}, q_{2k}, \dots, q_{mk}, E_k) &= 0 \quad (\nu_k) \end{aligned} \quad (1.9)$$

9. Voir en particulier les travaux de Montgomery (1972).

10. Ce type d'allocation a été adopté par les pays ayant ratifié le protocole de Kyoto (1997), et durant sa première étape de fonctionnement.

11. L'équité de ces méthodes est discutée dans la sous-section suivante.

12. Adapté de Schubert et Zagamé (1998), pp 27-29.

En notant $\mathcal{L}$ le Lagrangien, les conditions de premier ordre sont données par :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_{ik}} = p_i - \nu_k \frac{\partial F^k}{\partial q_{ik}} = 0 \quad (1.10)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial E_k} = -z - \nu_k \frac{\partial F^k}{\partial E_k} = 0 \quad (1.11)$$

La condition (1.10) est identique à la condition (1.6). La condition (1.11) est similaire à la condition (1.7), et nous voyons à nouveau que l'optimalité est restaurée si le prix unitaire des permis est tel que $z = \sum_j \lambda_j \alpha_j \frac{\partial U^j}{\partial E_j}$.

Ce type de régulation diffère de la taxe pigouvienne sur plusieurs points. Dans un premier temps, il n'y a pas d'intervention du gouvernement une fois les permis alloués aux différents acteurs. Chaque acteur ayant, ou recherchant des permis, interagit directement avec les autres acteurs présents sur le marché. Ensuite, le système des permis d'émission est une régulation agissant sur les quantités : en définissant un niveau de pollution autorisé (inférieur au niveau actuel, par principe), le régulateur force les acteurs à polluer moins. Ainsi, le régulateur pousse les acteurs à produire moins, et donc, à réduire les quantités sur le court terme¹³.

Avant d'analyser les différents marchés de permis d'émission existants, nous pouvons souligner que nous ne considérerons pas la mise en place de cet instrument de marché dans le reste de cette thèse. En effet, comme nous l'avons précisé après avoir présenté la taxe pigouvienne, nous nous intéressons à l'amélioration de la qualité environnementale de la part des consommateurs. Les permis d'émission sont adaptés pour des firmes.

Les mises en application des permis

Avec l'adoption du *Clean Water Act* en 1972, les États-Unis ont mis en place un système de permis d'émission pour la pollution sur la *Fox River* dans l'état du Wisconsin. Plus tard, le *Clean Air Act Amendment* en 1990 a permis la mise en place d'un tel système pour le dioxyde de soufre (SO_2) et pour les oxydes d'azote (NO_X) qui sont des émissions à l'origine de pluies acides. Pour l'année 2010, l'objectif recherché en termes d'émissions de SO_2 était de 8,95 millions de tonnes (soit la moitié du niveau d'émissions observé en 1980). Plus récemment, le programme *Regional Greenhouse Gas Initiative* (2009) a été mis

13. Sur le long terme, les firmes peuvent investir dans des technologies moins polluantes. Elles peuvent alors nécessiter moins de permis, et donc en revendre sur le marché. La firme passe ainsi d'une position d'acheteur à une position de vendeur sur le marché. Une telle stratégie dépend également de l'évolution anticipée du prix des permis.

en place. Ce fut le premier système de permis pour les émissions de dioxyde de carbone aux États-Unis. Dans la première étape, les permis furent alloués à travers des enchères. En 2014, le régulateur a fixé un objectif de réduction des émissions de CO_2 de l'ordre de 82.8 millions de tonnes.

Un programme similaire a été mis en place en Europe dès 2005 (*Emission Trading System* (ETS)) pour les émissions de CO_2 . Ce programme inclut plus de 11000 industries de production d'énergie et des industries manufacturières. L'objectif est de réduire le niveau d'émission de CO_2 de l'année 2005 de 20% d'ici 2020.

1.1.3 Efficacité et acceptabilité de la taxe pigouvienne et des permis d'émission

Nous discutons dans le dernier paragraphe de cette section la différence dans l'approche des deux instruments que nous venons d'étudier. Nous analysons ensuite les raisons pour lesquelles ces outils économiques sont parfois contestés, rendant ainsi difficile leur mise en place.

Un même objectif mais deux approches différentes

Les deux outils abordés jusqu'ici présentent le même objectif : réduire le niveau de pollution. Nous pouvons néanmoins distinguer ces deux outils par leur approche.

D'un côté, la taxe pigouvienne est une régulation par "les prix" : elle a un impact direct sur les coûts des entreprises pour chaque unité supplémentaire produite. Par conséquent, la taxe pigouvienne a un impact indirect sur les quantités : une diminution de la profitabilité devrait induire une diminution dans les quantités produites.

D'un autre côté, les permis d'émission représentent une régulation par "les quantités". En effet, comme évoqué plus haut, les permis restreignent directement les quantités produites qu'une firme peut produire en fixant un niveau total d'émission. Les firmes doivent se soumettre à cet objectif : elles n'ont pas la possibilité de payer une taxe pour continuer à produire à leur niveau en l'absence de régulation. Elles doivent soit réduire leur niveau de production, soit changer de technologie pour en adopter une moins polluante.

Comme nous l'avons illustré dans les deux exemples analytiques, ces deux outils sont efficaces s'ils sont correctement calibrés. Les agents économiques adoptent le même niveau d'émission que celui qui serait adopté par un régulateur dont le but est de maximiser le bien-être de la société. En d'autres termes, il est possible de revenir à une situation dans laquelle l'externalité négative (la pollution dans notre cas) est réduite à un niveau optimal

pour la société¹⁴.

Par ailleurs, nous ne discutons pas les conditions déterminant le choix de l'instrument (entre les taxes/subventions et les permis) à mettre en place pour que la politique de réduction des émissions soit la plus efficace. Ces conditions ont été discutées par Weitzman (1974) lorsque les coûts d'abattement relèvent de l'information privée, et par Ambec et Corria (2013) lorsque les émissions polluantes sont des compléments (la réduction d'un polluant donné entraîne la réduction d'autres polluants) ou des substituts (la réduction d'un polluant donné entraîne l'émission d'autres polluants).

Des outils contestés

Bien que théoriquement efficaces, ces deux instruments ont tout de même des inconvénients.

Si nous considérons les taxes, un problème important dans les années 1960-1970 résidait dans la nécessité pour le régulateur d'obtenir des informations concernant les technologies employées par les pollueurs. Cette information est directement en lien avec leur coût marginal d'abattement de la pollution, et donc du taux marginal optimal de la taxe qui devrait être mis en place. Tant que les législations environnementales ne forcent pas les pollueurs à révéler ce type d'informations, la structure de coût relève de l'information privée. Ceci peut en partie expliquer pourquoi, à un certain moment, des pays (dont les États-Unis mais pas seulement) ont préféré les permis d'émission à la taxe pigouvienne. Cependant, du fait de législations de plus en plus contraignantes, les pollueurs doivent désormais communiquer concernant leur technologie employée, ainsi que les risques liés à leur activité. De ce fait, la taxe pigouvienne peut être mise en place plus efficacement dans certains secteurs. En Europe, et plus particulièrement en Finlande, Suède, Danemark, Norvège, Allemagne, Royaume-Uni, Irlande, ainsi qu'en Suisse, des taxes carbone ont été adoptées.

Néanmoins, malgré la volonté des politiques de vouloir mettre en place de telles taxes, le problème de l'acceptabilité sociale demeure. Le cas de l'éco-taxe en France en est un exemple. Une taxe poids lourd devait voir le jour en Bretagne. Des manifestations s'y sont opposées à partir de 2013. En octobre 2014, le gouvernement français a reporté le dispositif *sine die*. Dans un contexte de crise économique et de chômage élevé, les agents économiques sont opposés à la mise en place de telles mesures. Godard (2015) rappelle que trois autres projets de taxe carbone ont également échoué en France : durant la période 1990-1992

14. Notons que cela ne veut pas dire qu'il faut éliminer totalement l'externalité. Diminuer davantage le niveau de l'externalité négative peut se révéler trop coûteux pour la société.

(concernant un projet de taxes nationales sur le carbone qui devaient être harmonisées au niveau européen), durant la période 1999-2000 (portant sur un projet d'extension de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP) sur les consommations intermédiaires d'énergie) et durant la période 2009-2010 (concernant le projet de contribution climat-énergie, suite au Grenelle de l'Environnement de 2007). Pour Chiroleu-Assouline (2015), les taxes environnementales mises en place en France ne le sont pas dans l'objectif de corriger le comportement des pollueurs, mais davantage dans un objectif de rendement fiscal. Ceci pourrait contribuer à expliquer leur rejet.

À l'aide d'une expérience en laboratoire portant sur la mise en place d'une taxe pigouvienne, Kallbekken *et al.* (2011) ont montré qu'une raison expliquant le rejet des taxes environnementales vient du fait que les individus ont du mal à percevoir la différence entre une taxe pigouvienne (dont l'objectif est de corriger une externalité), et une taxe à la Ramsey (dont l'objectif est de récolter des revenus).

En l'absence d'informations concernant les coûts d'abattement, Segerson (1988), ou encore Xepapadeas (1991) ont proposé de taxer les pollueurs selon le niveau *agrégé* de pollution (qui est observable). Il s'agit de la *taxe ambiante*. Cette taxe est calculée selon le niveau total de pollution observé pour un groupe de pollueurs. Chaque pollueur paie le même niveau de taxe. Il est également possible de restaurer l'efficacité à l'aide de cette taxe. De plus, contrairement à la mise en place d'une taxe pigouvienne, cette taxe est plus facile à mettre en place car elle nécessite moins d'informations (il n'y a pas besoin de connaître les coûts d'abattement). Cependant, son principal défaut est qu'il s'agit d'un instrument qui est encore moins accepté, d'un point de vue social, que la taxe pigouvienne. Ceci en particulier car le montant à payer peut se révéler bien plus grand qu'avec une taxe pigouvienne : les pollueurs sont taxés par rapport au niveau agrégé de pollution. Cochard et Rozan (2010) ont proposé une expérience en laboratoire avec des agriculteurs pour tester la mise en place d'une taxe ambiante. Si cette dernière s'est révélée efficace, les auteurs montrent que les réponses au questionnaire sociologique exhibent un rejet de cette taxe. Par ailleurs, de par le montant à payer, cette taxe est également un instrument moins égalitaire : un agent économique qui réduit fortement son niveau de pollution paiera le même montant de taxe qu'un agent économique ne réduisant pas son niveau de pollution.

L'équité peut également être un problème avec les permis d'émission, en particulier dans la manière dont ils sont alloués (Hahn (1984)). Montero (2009) rappelle qu'aux États-Unis durant la période 1995-1999, 43% des permis d'émission du marché du soufre ont été alloués à 4 firmes. Tant avec une répartition à la "*grandfathering*" qu'à travers des

enchères, si un pollueur obtient plus de permis que les autres, alors il possède en quelque sorte un pouvoir de marché. Plus précisément, il peut décider de garder les permis dont il n'a pas besoin pour restreindre le marché, et ainsi avoir un impact sur les prix des permis. Cette situation a été anticipée lorsque la Russie a ratifié le protocole de Kyoto en 2005. Son allocation de permis d'émission, basée sur son activité industrielle de 1990, était plus importante que nécessaire. La Russie pouvait alors adopter la stratégie évoquée plus haut. Pour éviter cette situation, la possibilité de garder ses permis non utilisés (*banking* en anglais) d'une période à l'autre lui a été retirée.

Il faut aussi considérer le problème de la liquidité inhérente à tout marché. En effet, un marché est dit liquide tant que les transactions s'effectuent de manière assez fluide. Une condition nécessaire est qu'il y ait assez de vendeurs et d'acheteurs qui se rencontrent sur le marché. Ce n'est plus le cas si trop, ou pas assez, de permis sont initialement alloués sur le marché. Si trop de permis sont alloués, alors cela peut provoquer une absence de demande de permis. Dans le cas contraire, cela peut provoquer une absence d'offre de permis. Cette situation peut également être due à une position dominante sur le marché comme décrit plus haut.

Une autre critique régulièrement formulée à l'encontre des permis d'émission concerne les coûts de transaction. Coase lui-même écrivait dans son article de 1960 que ces coûts ne devraient pas être trop élevés afin d'atteindre des négociations efficaces entre les différentes parties. Dans notre cas, la mise en pratique a montré que les lourdeurs administratives peuvent être un frein. A titre illustratif, nous allons considérer trois exemples de coûts de transaction.

Premièrement, nous pouvons analyser le système de permis d'émission mis en place pour la *Fox River*, avec lequel les pollueurs ont fait face à une lourdeur administrative. Cet exemple est présenté par Hahn et Hester (1989). Les auteurs détaillent les différentes barrières pouvant rendre difficile l'existence d'un tel système d'échange durant les années 1980 aux États-Unis. En particulier, pour qu'un échange ait lieu entre deux pollueurs, une autorisation devait être obtenue auprès de l'administration locale. Les pollueurs devaient également justifier leurs achats de permis. Ces raisons peuvent expliquer la seule transaction qui a eu lieu après 6 années de mise en place du système d'échange. Il s'agissait d'un échange entre une papeterie et une station d'épuration municipale.

Ensuite, les rapports d'échanges (*trading ratios*) peuvent aussi être à l'origine de restrictions.¹⁵ Hahn et Hester (1989) proposent une autre étude de cas illustrant la difficulté

15. Nous pouvons les définir comme étant le nombre de crédits d'émission dont un acheteur a besoin

à échanger due aux rapports d'échanges. Ce cas concerne les rejets de phosphore dans l'eau du *Dillon Reservoir* (dans le Colorado). Le rapport d'échange était 2 : 1. Cela signifie que les *sources ponctuelles* de pollution¹⁶ devaient obtenir le droit à déverser pour deux livres d'une *source diffuse* de pollution¹⁷, afin de déverser une livre supplémentaire de phosphore.

Enfin, le régulateur avait la possibilité de "confisquer" les droits à polluer échangés en imposant de nouvelles normes de réduction de pollution. Dans ce cas, cela peut pousser des acheteurs potentiels à ne pas échanger.

Il est possible de passer outre le système des permis d'émission pour des nouveaux entrants sur le marché, par le biais d'un système de compensation (*netting* en anglais) : le pollueur compense l'augmentation de ses émissions de pollution provenant d'une nouvelle source, par la réduction de ses émissions de pollution d'une source plus ancienne (par exemple, grâce à l'adoption d'une technologie moins polluante). Prenons l'exemple d'une firme produisant des bouteilles en plastique. Supposons de plus que cette firme commence une nouvelle activité de production de canettes en aluminium. La production de telles canettes requiert la transformation de bauxite en alumine. Dans ce cas, l'adoption d'une technologie plus propre dans la production des bouteilles en plastique peut permettre une réduction des émissions de pollution dues à cette activité, ce qui peut compenser les nouvelles émissions de pollution dues à la production de canettes en aluminium. De ce fait, aucun permis supplémentaire n'est requis.

En dépit du fait que la taxe pigouvienne et les permis d'émission sont théoriquement efficaces pour induire une réduction des niveaux de pollution (et donc pour préserver l'environnement), les coûts financiers et psychologiques (pour la taxe) dus à la mise en place de ces instruments peuvent se révéler élevés. Dans la partie suivante, l'ensemble des instruments incitatifs est complété par un instrument non monétaire récent : les *nudges* (que nous pouvons traduire par "coups de coude").

1.2 Du paternalisme libéral au concept de *nudge*

Dans cette partie, le concept de *nudge* est détaillé. Nous pouvons caractériser ces derniers comme étant des incitations non monétaires. Lorsqu'ils sont mis en place, il n'y a pas de restriction sur les quantités, ou de pénalité financière. L'idée est d'être suggestif, sans

pour augmenter son niveau d'émission d'une unité.

16. Nous parlons de source ponctuelle lorsqu'il est possible d'identifier l'origine de la pollution. Dans notre cas, il est possible d'identifier l'origine de la pollution de l'eau.

17. Au contraire, une source est dite diffuse lorsqu'il n'est pas possible d'identifier la source de la pollution.

contraindre. Dans la première sous-partie, la genèse des *nudges* à travers le paternalisme libéral est expliquée. Nous considérons ensuite différentes définitions qui ont été formulées pour décrire un *nudge*, et nous en proposons une que nous utiliserons dans le reste de la thèse. Nous illustrerons cette définition avec plusieurs exemples. Enfin, nous aborderons l'adoption par les gouvernements de cet outil non monétaire.

1.2.1 Le paternalisme libéral, principe fondateur des *nudges*

Pour saisir le concept de *nudge*, il convient de revenir à l'idée originelle de Thaler et Sunstein (à qui nous devons ce concept) : le paternalisme libéral. Ce détour nous permettra par la suite de pouvoir définir la notion de *nudge*.

Thaler et Sunstein (2003) partent du principe que les choix des agents économiques ne sont pas rationnels, contrairement aux hypothèses traditionnelles en économie. Ainsi, selon la manière dont leur sont présentées les différentes options qu'ils peuvent choisir, les individus peuvent être biaisés dans leur prise de décision, ce qui ne serait pas le cas pour un agent parfaitement rationnel. De ce fait, le recours au paternalisme est inévitable afin d'aider les individus à prendre de meilleures décisions en restructurant la présentation des options (ce point de vue est également partagé par Camerer *et al.* (2003)). Les auteurs proposent ainsi le principe du paternalisme libéral (ou *paternalisme asymétrique*¹⁸ chez Camerer *et al.* (2003)) :

"If no coercion is involved, we think that some types of paternalism should be acceptable to even the most ardent libertarian. We call such actions libertarian paternalism." (p.175)

Leur approche est "paternaliste" dans le sens où le régulateur essaie d'influencer les agents économiques afin qu'ils agissent dans une direction donnée, améliorant leur bien-être. Mais cela reste une approche "libérale" car les individus ne sont ni forcés d'agir dans la direction recommandée, ni pénalisés s'ils n'agissent pas comme indiqué. Les individus sont libres d'agir comme ils le souhaitent.

Ce principe du paternalisme libéral est devenu la base des travaux de Thaler et Sunstein (2009). Dans leur ouvrage, les auteurs proposent le concept d'*Humains*, par opposition à l'*Homo Economicus*, pour désigner le fait que les individus commettent souvent des erreurs lorsqu'ils prennent des décisions dans leur vie quotidienne. Plus précisément, Thaler et Sunstein s'appuient sur les travaux de Kahneman (2003), qui distingue le *Système 1* du *Système 2*. Ces deux systèmes guident les individus dans leurs prises de décision. Le *Système*

18. "A regulation is asymmetrically paternalistic if it creates large benefits for those who make errors, while imposing little or no harm on those who are fully rational" (Camerer *et al.* (2003), p. 1212).

1 est dit intuitif et automatique, alors que le Système 2 est réflexif et rationnel. Par ailleurs, le Système 1 est celui qui est sujet aux biais psychologiques. Ainsi, les individus sont des *Humains* car ils se servent principalement de leur Système 1.

Pour illustrer nos propos, nous considérons quelques exemples de biais mis en avant par les travaux des psychologues. Un fait stylisé bien connu est le biais d'optimisme (Weinstein (1980), Weinstein et al. (1988)). Les individus considèrent généralement que le meilleur va leur arriver, par comparaison avec ce qui peut arriver aux autres individus. Ce biais peut avoir des conséquences dans les choix des individus, et en particulier ceux concernant la qualité environnementale. L'étude de Hatfield et Soames Job (2001) met en évidence que le biais d'optimisme peut inhiber les comportements pro-environnementaux. Une raison est que les individus considèrent généralement les problèmes environnementaux globaux (tels que le changement climatique). Si de tels problèmes ne se manifestent pas de manière locale, alors ils sont moins enclins à y remédier. Gifford (2011) étudie les barrières psychologiques qui conduisent à l'inaction des individus par rapport aux problèmes environnementaux. Parmi ces barrières se trouvent les biais psychologiques, comme le biais d'optimisme qui explique pourquoi les individus n'entreprennent pas d'actions en faveur de l'environnement car les changements climatiques n'apparaîtront que des années plus tard.

Un autre fait stylisé concerne le biais de *statu quo* (Samuelson et Zeckhauser (1988), Kahneman *et al.* (1991)) : les individus préfèrent rester avec ce qu'ils ont plutôt que d'entreprendre une action pour obtenir autre chose. Samuelson et Zeckhauser (1988) expliquent que l'aversion à la perte peut expliquer ce biais : entreprendre une action, afin d'obtenir autre chose, laisse la possibilité d'obtenir quelque chose de moins bien (et donc de perdre en bien-être). Tout comme pour le biais d'optimisme, ce biais peut conduire à une inaction des individus concernant la protection de l'environnement. Pour Johnson et Levin (2009), une raison pour expliquer ce biais de *statu quo* concernant les décisions environnementales est que les individus sont soumis à différents types de solutions, notamment de la part de plusieurs partis politiques, chacune allant dans le sens préféré du parti. Ainsi, les individus peuvent être amenés à penser qu'il n'est pas nécessaire de mettre en place ces solutions tant que le danger n'est pas présent.

Enfin, les individus sont sensibles aux informations qu'ils reçoivent, et en particulier aux valeurs qui peuvent leur servir de point de référence. Il s'agit du biais d'ancrage mis en évidence par Tversky et Kahneman (1974). L'étude de Viscusi et Hamilton (1999) montre que le niveau de risque initial peut amener les régulateurs à tolérer un risque final plus élevé concernant le nettoyage des déchets dangereux (déchets amiantés, pesticides, etc.),

ce qui, par extension, peut avoir des conséquences sur la santé des individus. Dans les chapitres suivants, le *nudge* que nous proposons sera basé sur l'utilisation de ce biais.

D'autres biais psychologiques ont été documentés dans la littérature (Rabin (1998), Nofsinger (2014), Singler (2015a, 2015b)), que nous ne développons pas ici.¹⁹

Bien que la notion de biais psychologiques n'apparaisse pas dans la définition précédente, c'est pourtant à partir de leur prise en compte que Thaler et Sunstein ont proposé le principe du paternalisme libéral. Depuis, le concept s'est développé, et Rebonato (2014) a notamment proposé une définition plus complète :

"Libertarian paternalism is the set of interventions aimed at overcoming the unavoidable cognitive biases and decisional inadequacies of an individual by exploiting them in such a way as to influence her decisions (in an easily reversible manner) towards choices that she herself would make if she had at her disposal analytic abilities of a rational decision-maker (more precisely, of Homo Economicus)." (p.359)

Dans cette définition, le concept de biais apparaît clairement, à nouveau, par opposition à l'*Homo Economicus*. De plus, comme nous allons le voir dans le paragraphe suivant, cette définition pose également les bases du concept de *nudge* dans sa version réduite : nous y percevons la notion d'intervention qui influence les décisions des individus, mais de manière facilement "réversible", c'est-à-dire, non coercitive.

1.2.2 Définitions et exemples de *nudges*

Maintenant que le principe fondateur des *nudges* a été défini, nous pouvons tenter de donner une définition claire de ce terme. Depuis la publication de l'ouvrage de Thaler et Sunstein (2009), et la définition des *nudges* que les auteurs ont proposée, plusieurs auteurs ont à leur tour défini ou redéfini le concept (Barton et Grüne-Yanoff (2015), Hansen (2016), Allcott et Taubinsky (2015), Hagman *et al.* (2015)). Grâce à l'étude de leurs définitions, nous en proposons une à la fin de cette section, puis nous l'illustrons à l'aide de plusieurs exemples de *nudges*.

19. Nous pouvons citer le biais de projection (Loewenstein *et al.* (2003) qui caractérise le fait que les individus n'arrivent pas à projeter correctement leurs préférences dans le futur. Par exemple, un individu qui ne fume pas mais qui décide d'essayer, n'anticipe pas nécessairement l'addiction que le tabac va créer chez lui à moyen terme. Dans le même esprit, O'Donoghue et Rabin (1999) expliquent que les individus peuvent exhiber des préférences biaisées pour le présent. Plus précisément, les individus ont tendance à reporter des coûts immédiats dans le futur, lorsqu'ils auraient intérêt à les supporter aujourd'hui (ils *procrastinent*). De même, les individus ont tendance à accepter des bénéfices aujourd'hui, lorsqu'ils auraient intérêt à les recevoir plus tard (ils se *précipitent*).

Élaboration d'une définition du concept de *nudge*

En anglais, le nom commun *nudge* désigne une action pour alerter un autre individu en utilisant, en particulier, le coude (d'où la traduction de "coup de coude").²⁰ Ce terme a été utilisé la première fois, comme le rappelle Safire (2008), par Thomas Hobbes en 1675 : "*I nudg'd Ulysses, who did next me lie*".

Contrairement à l'idée que nous pourrions nous faire, le terme *nudge* n'est donc pas récent. En revanche, l'innovation réside dans le sens nouveau apporté à ce terme dans l'ouvrage de Thaler et Sunstein (2009). Les auteurs emploient le terme *nudge* dans le sens d'instrument incitatif. Ils définissent un *nudge* ainsi :

"A nudge, as we will use the term, is any aspect of the choice architecture that alters people's behavior in a predictable way without forbidding any options or significantly changing their economic incentives. To count as a mere nudge, the intervention must be easy and cheap to avoid. Nudges are not mandates. Putting the fruit at eye level counts as a nudge. Banning junk food does not." (p. 6).

Dans cette définition, l'architecture du choix désigne la manière dont les choix sont arrangés. Nous pouvons retenir qu'un *nudge* est un instrument non coercitif. L'ensemble des actions possibles pour un agent ne devrait pas être modifié. Un individu qui pollue beaucoup devrait toujours être en mesure de polluer au même niveau après la mise en place du *nudge*, et ce au même coût. Barton et Grüne-Yanoff (2015) proposent une définition similaire²¹, et situent les *nudges* entre la persuasion rationnelle (c'est-à-dire persuader un individu à l'aide d'arguments faisant appel à sa rationalité, en utilisant des faits précis par exemple), qui laisse un contrôle total sur les décisions des individus, et la coercition, qui impose une décision aux individus.

Cependant, le désavantage de cette définition réside dans le fait que les auteurs ne donnent pas d'exemples concrets (de tels exemples se trouvent dans la lecture de l'ouvrage). Hansen (2016) propose une définition plus complète qui intègre notamment différents éléments pouvant relever du *nudge* :

"A nudge is a function of (I) any attempt at influencing people's judgement, choice or behaviour in a predictable way, that is (1) made possible because of cognitive bounda-

20. Safire (2008) donne la définition suivante : "an action, often of the elbow to another's ribs and frequently accompanied by a wink or a leer". It refers to an action to "alert, remind, or mildly warn another".

21. "A nudge is defined here as an intervention on the choice architecture that is predictably behaviour-steering, but preserves the choice-set and is (at least) substantially non-controlling, and does not significantly change the economic incentives" (Barton et Grüne-Yanoff (2015), p. 343).

ries, biases routines, and habits in individual and social decision-making posing barriers for people to perform rationally in their own self-declared interests, and which (2) works by making use of those boundaries, biases, routines, and habits as integral parts of such attempts.

Thus a nudge among other things works independently of :

- (i) forbidding or adding any rationally relevant choice options,*
- (ii) changing incentives, whether regarded in terms of time, trouble, social sanctions, economic and so forth, or*
- (iii) the provision of factual information and rational argumentation."*

Nous voyons ainsi que l'utilisation des limites et des biais cognitifs, des habitudes et routines peuvent relever du *nudge*. Par ailleurs, pour Hansen un tel instrument ne doit pas seulement être peu coûteux monétairement, mais également d'un point de vue psychologique. De plus, la condition (I) signifie qu'il y a un caractère intentionnel derrière la mise en place du *nudge*, autrement dit, il y a une volonté d'influencer la décision.

Par ailleurs, d'après le point iii) de cette définition, la délivrance d'une information factuelle ne relève pas d'un *nudge*. De fait, Hansen justifie qu'une information factuelle pourrait être un *nudge* car sa diffusion n'entraîne pas, *a priori*, une restriction de l'ensemble des possibilités des individus, ni de changement de leurs incitations. Cependant, pour l'auteur une information factuelle n'est pas un *nudge* parce que son utilisation n'intervient pas à cause des limites et des biais cognitifs, des habitudes et des routines, mais plutôt car les individus auraient des *connaissances limitées*. Autrement dit, la provision d'une information factuelle n'appuierait pas sur un levier relevant de l'approche du *nudge*.

L'auteur n'est ainsi que partiellement en accord avec Barton et Grüne-Yanoff (2015), pour qui trois types de *nudges* existent : ceux fondés sur l'utilisation des biais psychologiques pour orienter les décisions (positionnement particulier des différentes options, option par défaut, etc.), ceux dont le but est d'empêcher l'utilisation abusive de ces biais pour faire prendre de mauvaises décisions aux individus (à l'instar des périodes de réflexion avant la finalisation d'un achat), et ceux relevant de l'information et qui n'ont pas de lien avec les biais psychologiques (comme l'utilisation d'un GPS).

Hansen (2016) est également en désaccord avec Allcott et Taubinsky (2015), qui ont proposé une autre définition. Dans leur article, les auteurs s'intéressent au marché des ampoules et, plus précisément, à la raison pour laquelle les usagers achètent peu d'ampoules à économie d'énergie (malgré les gains monétaires associés à leur utilisation). Allcott et Taubinsky distinguent ceux qui sont informés de ces gains de ceux qui ne le sont pas, à

cause notamment d'une capacité cognitive limitée (Anderson et Claxton (1982), Reddy (1991)). Les auteurs proposent ainsi le concept de *nudge pur* :

"*It informs all previously uninformed consumers and draws full attention to energy costs, with no other effects.*" (p. 2503)

De ce fait, l'information délivrée jouerait pleinement son rôle auprès d'individus à qui il manquerait une connaissance spécifique, ni plus ni moins. Dans cet exemple, l'objectif du *nudge* est de créer une prise de conscience auprès des individus. Dans la section suivante, nous étudierons d'autres exemples de diffusion d'informations (sur la consommation d'énergie) dont le but était également de créer une telle prise de conscience auprès de ceux consommant le plus d'énergie (Allcott (2011), Ayres *et al.* (2013), Costa et Kahn (2013), Ferraro et Price (2013) entre autres).

Jusqu'à présent, nous nous sommes concentrés sur ce qui fait un *nudge*. Nous pouvons également nous intéresser davantage aux conséquences de celui-ci. En particulier, nous avons vu que l'intention est d'influencer la décision des individus. La question est alors de savoir quel est l'objectif poursuivi par ce changement de décision. Pour Hagman *et al.* (2015), il est possible de distinguer les *nudges* pro-sociaux (dont le but est d'améliorer le bien-être de la société) des *nudges* pro-individuels (dont l'objectif est d'améliorer le bien-être des individus). Les *nudges* favorisant le don d'organe (Johnson et Goldstein (2003)), ou dont le but est de diminuer la consommation d'énergie (Schultz *et al.* (2007), Nolan *et al.* (2008), Goldstein *et al.* (2008), Allcott (2011), Ayres *et al.* (2013), Costa et Kahn (2013), Ferraro et Price (2013)) sont considérés par Hagman *et al.* comme des *nudges* pro-sociaux car le résultat profite à l'ensemble de la société. Ceux dont le but est d'aider les individus à arrêter de fumer (comme les images sur les paquets de cigarette) ou pour manger sainement (comme la mise à disposition des informations nutritionnelles sur les emballages alimentaires) sont, quant à eux, considérés comme des *nudges* pro-individuels car ils visent à aider les individus personnellement.

Nous pourrions ainsi penser que les *nudges* pro-sociaux sont ceux dont l'objectif est notamment d'aider à la provision de biens publics (comme la santé et la qualité environnementale). Cependant, nous pouvons entrevoir une limite dans la distinction établie par Hagman et ses co-auteurs. En effet, aider les individus à arrêter de fumer à l'aide de *nudges* pro-individuels, leur permet de préserver leur santé et, par extension, prévient les coûts éventuels liés aux soins qu'il faudrait leur fournir en cas de cancer du poumon, par exemple. Dans ce cas, les coûts évités profitent à l'ensemble de la société.

En conclusion, et à partir des définitions que nous venons d'étudier (Thaler et Sunstein (2009), Barton et Grüne-Yanoff (2015), Hansen (2016), Allcott et Taubinsky (2015), Hagman *et al.* (2015)), nous proposons de considérer la définition suivante pour le reste de cette thèse :

Un nudge est une action simple, peu coûteuse, et non contraignante dont le but est d'orienter la décision des individus afin qu'ils prennent des décisions améliorant leur bien-être ou, plus généralement, celui de la société dans son ensemble. Cette action peut relever de l'utilisation des biais psychologiques (présentation particulière des différentes options, option par défaut, etc.) ou peut revêtir la forme d'une information donnée aux individus pour déclencher une prise de conscience.

Pour illustrer nos propos, nous détaillons plusieurs *nudges* dans le paragraphe suivant.

Quelques exemples de *nudges*

Sachant que les individus ont une préférence pour le *statu quo*, les politiques publiques peuvent exploiter cette préférence en utilisant des *options par défaut*, c'est-à-dire des options qui sont directement pré-sélectionnées pour les individus. Plus précisément, Sunstein et Reisch (2014) expliquent qu'il y a trois raisons pour lesquelles un individu peut adhérer à ces options. La première, comme évoqué un peu plus haut, vient de l'inertie des individus (ou parfois de leur procrastination). Les individus restent avec l'option par défaut car cela demande un effort de changer d'alternative. La deuxième raison vient du fait qu'une option par défaut va suggérer quel est le bon comportement à adopter (et donc induire une prise de conscience). En faisant face à une telle option, les individus peuvent l'interpréter comme une recommandation implicite. Enfin, comme décrit plus haut, les agents économiques peuvent être averses aux pertes. L'option proposée par défaut peut être perçue comme étant le point de référence. Les agents économiques comparent alors les autres alternatives avec ce point de référence. Si les individus estiment perdre en choisissant une autre alternative que l'option par défaut, alors ils restent avec cette dernière.

Aujourd'hui, la plupart des banques n'envoient plus d'extraits de compte en version papier. Il s'agit de l'option par défaut. En revanche, les clients des banques peuvent toujours demander à les recevoir par courrier s'ils se manifestent. Madrian et Shea (2001) ont étudié l'utilisation des options par défaut afin que les employés d'une grande firme américaine (dans le secteur de la santé et de l'assurance) augmentent leur épargne retraite. Avant le 1^{er} avril 1998, les nouveaux employés devaient eux-mêmes faire la demande pour

souscrire à un plan épargne retraite (le plan 401(k)). Après cette date, les nouveaux employés souscrivaient automatiquement à ce plan (option par défaut). En comparant les taux de participation des nouveaux employés entre le 1^{er} avril 1997 et le 31 mars 1998 (cohorte "WINDOW"), avec ceux des employés embauchés entre le 1^{er} avril 1998 et le 31 mars 1999 (cohorte "NEW"), les auteurs montrent qu'après 15 mois de mise en place de l'option par défaut, le taux de participation dans le plan d'épargne retraite était de 86% pour la deuxième cohorte ("NEW"), contre 37% pour la première cohorte ("WINDOW"). Autrement dit, les nouveaux employés sont devenus des "épargneurs passifs".

Ensuite, sachant que les individus sont sensibles aux informations qu'ils reçoivent, et à la manière dont elles sont présentées, il est possible de leur faire changer de comportement en leur présentant des informations sur le comportement des autres individus. En procédant ainsi, les politiques publiques s'attendent à ce que les individus se comparent les uns aux autres : il s'agit de *comparaisons sociales*. Dans le cadre de la protection environnementale, celles-ci peuvent prendre la forme de l'annonce de la consommation d'électricité de voisins similaires (d'un point de vue de caractéristiques socio-démographiques), en comparaison avec la propre consommation de l'individu. L'objectif des comparaisons sociales est de faire en sorte que les normes sociales soient respectées. Pour Cialdini *et al.* (1990), les normes sociales se définissent à travers les normes descriptives et les normes injonctives. Les normes descriptives sont des normes indiquant le comportement qui est observé au sein de la population.²² L'annonce de la consommation moyenne d'électricité est donc une norme descriptive. Les normes injonctives définissent ce qui est moralement accepté du point de vue de la société²³. Livet (2012) rejoint le concept de Cialdini *et al.* (1990) en définissant les normes sociales comme des règles de conduite.²⁴

Un dernier exemple de *nudge* est l'*amorçage*²⁵, qui agit comme un déclencheur de l'action souhaitée. Cela correspond à un stimulus inconscient qui pousse un individu à agir dans une direction donnée. Thaler et Sunstein (2009) prennent l'exemple du vote : si les politiques souhaitent que les individus aillent voter, une solution serait de leur poser la question s'ils ont l'intention d'aller voter pour une élection donnée. Inconsciemment, cela leur rappellerait qu'ils ont la possibilité d'aller voter. Cette simple question agirait ainsi

22. Dans leur article nous pouvons lire qu'une norme descriptive "describes what is typical or *normal*. It is what most people do, and it motivates by providing evidence as to what will likely be effective and adaptive action." A vérifier pour italique sur *normal*.

23. Dans leur article, nous pouvons lire que les normes injonctives "refers to rules or beliefs as to what constitutes morally approved and disapproved conduct".

24. "Les normes sociales, [...], sont d'abord des signaux, soit qui indiquent quelle est la bonne pratique, soit quelle est la règle de la nouvelle pratique" (Livet (2012), p.55).

25. "Prime" en anglais, voir Thaler et Sunstein (2009) pp 75-78.

comme un déclencheur. Dans le reste de ce chapitre, seuls les *nudges* ayant un rapport avec l'économie environnementale seront considérés.

Dans cette thèse nous nous intéressons en particulier aux *nudges*. Comme nous l'avons souligné au début de ce chapitre, ces instruments s'inscrivent dans la même lignée que les instruments dits de troisième phase. Cependant, des points de divergence existent entre ces instruments et les *nudges*. À l'aide de deux exemples, nous illustrons les différences entre ces deux approches.

Le premier exemple concerne la diffusion d'informations sur les pollueurs, ayant ainsi un effet sur leur réputation. Aux États-Unis, l'Agence de la Protection Environnementale (*Environmental Protection Agency* (EPA)) a mis en place un Inventaire des Rejets Toxiques (*Toxic Release Inventory* (TRI)) concernant les firmes les plus polluantes. Hamilton (1995) a utilisé les données de 1989 pour évaluer l'impact sur les rendements des firmes concernant le fait de figurer sur cette liste. L'auteur montre que la publication de cette liste, et en particulier le fait d'y figurer, a un impact négatif sur les rendements des firmes. En effet, l'apparition sur la liste agit comme une mauvaise nouvelle pour les investisseurs, ou comme un signal que le processus de production n'est pas efficace. En moyenne, ces rendements négatifs ont induit une perte de 4.1 millions de dollars dans la valeur des actions. Dans leur étude, Konar et Cohen (1997) obtiennent des résultats similaires.

Dans le même esprit, le Ministère de l'Environnement en Colombie Britannique (au Canada) publie depuis 1990 une liste des pollueurs. Ces derniers sont classés selon deux catégories. La première catégorie concerne ceux qui ne sont pas en règle par rapport aux règles environnementales, ou au nombre de permis alloués. La deuxième catégorie concerne les pollueurs considérés comme préoccupants par le Ministère par rapport à leur niveau de pollution. Lanoie *et al.* (1998) étudient économétriquement l'impact de ces informations sur les marchés de capitaux. Les auteurs parviennent à montrer que les investisseurs réagissent aux publications des listes de pollueurs. En particulier, les plus gros pollueurs sont davantage affectés que les firmes polluant le moins.

L'étude de Dasgupta *et al.* (2006) nous permet d'illustrer un dernier exemple, avec le cas de la Corée du Sud qui a mis en place des Rapports Mensuels de Violations (*Monthly Violations Reports* (MVR)) depuis 1984 concernant les industries ne respectant pas les réglementations environnementales. Les résultats de Dasgupta *et al.* rejoignent ceux des papiers cités précédemment : les investisseurs des marchés boursiers coréens réagissent fortement à la diffusion des rapports mensuels. Plus précisément, les auteurs montrent que la réaction est d'autant plus forte que les médias couvrent cette diffusion.

À travers ces études, nous voyons une différence claire par rapport aux *nudges* : la méthode de diffusion des listes des pollueurs ne satisfaisant pas les règles environnementales est non monétaire en elle-même. Cependant, la diffusion de ces listes a des conséquences monétaires pour les industries polluantes, ce qui est en contradiction avec le concept de *nudge*. Nous venons ainsi de montrer qu'il est nécessaire de différencier les incitations non monétaires par rapport à leurs conséquences : toutes ne relèvent pas des *nudges*.

Le deuxième exemple concerne les labels écologiques (ou éco-labels). Ces derniers renseignent les consommateurs sur le caractère écologique des biens qu'ils achètent (Meyer (2001), Ibanez et Grolleau (2008), Grolleau *et al.* (2011), Thøgersen *et al.* (2010)). Par exemple, aujourd'hui de tels labels sont présents sur les appareils électroménagers, afin de signaler aux consommateurs leur classe énergétique. Pour Thøgersen *et al.* (2010), ces labels présentent cependant le désavantage de demander un "effort élevé" de la part des consommateurs. En effet, les auteurs expliquent que quatre étapes sont nécessaires pour assurer leur succès : les consommateurs doivent *comprendre* le label, *l'inférer*, *essayer* le produit concerné, et poursuivre son *adoption dans le temps*. Grolleau *et al.* (2011) expliquent que la réussite des programmes d'écotabellisation dépend aussi de la prise en compte, de la part des décideurs publics, du caractère privé ou public des bénéfices du produit, ainsi que du type de consommateur concerné (altruiste, c'est-à-dire qui cherche à améliorer la qualité environnementale tout en cherchant à ce que celle-ci profite au plus grand nombre, ou égoïste, c'est-à-dire cherchant à obtenir des bénéfices privés). En particulier, les auteurs expliquent que les altruistes peuvent empêcher, malgré eux, les égoïstes d'acheter des produits écotabellisés, si leur degré d'altruisme est très élevé. En effet, les altruistes sont prêts à payer plus cher pour de tels produits. Ainsi, les produits écotabellisés peuvent être vendus au montant que sont prêts à payer les altruistes, montant pour lequel les égoïstes n'achètent pas le bien. Au final, la qualité environnementale souhaitée n'est pas atteinte.

De leur côté, Ibanez et Grolleau (2008) mettent en avant les coûts supportés par les firmes concernant la mise en place des éco-labels. Plus précisément, ces coûts sont divers : frais de mise en place des labels, coûts de certification (c'est-à-dire de validation de la part d'une instance indépendante du caractère conforme du produit par rapport au label), coûts de transaction liés au changement éventuel de sous-traitant pour respecter les conditions pour la certification, etc.

Ainsi, si ces coûts sont trop importants, les éco-labels ne peuvent pas être considérés comme des *nudges*. En effet, une propriété de ces derniers est d'être peu ou pas coûteux. Cependant, le rôle des éco-labels s'approche de celui des *nudges* relevant de la mise à

disposition d'une information, car de tels labels visent à aider les consommateurs à choisir des produits respectueux de l'environnement (ils envoient le message que le bien satisfait cette caractéristique). Par ailleurs, tout comme pour les *nudges*, la mise en place des éco-labels ne réduit pas l'ensemble des possibilités des agents : ils peuvent toujours choisir d'autres biens.

1.2.3 Adoption des *nudges* par les gouvernements

Nous allons maintenant discuter de l'utilisation des *nudges* dans les politiques publiques. En particulier, nous allons nous intéresser à la manière dont les politiques les ont mis en place, ou prévoient de le faire.

Commençons par rappeler que les *nudges* ne causent pas de pénalités financières, ni même de restrictions sur les quantités produites. De ce fait, nous pourrions penser que ces instruments pourraient être acceptés plus facilement d'un point de vue social, contrairement aux instruments de marché évoqués dans la partie précédente. De plus, les *nudges* sont des instruments non coercitifs. Si les agents économiques souhaitent continuer à agir en polluant, alors ils ne seront pas pénalisés pour un tel comportement. Au contraire, une taxe correspond à un montant d'argent dont les pollueurs devront s'affranchir s'ils décident de polluer au delà du seuil autorisé. Dans le cas des permis d'émission, les pollueurs doivent supporter une contrainte supplémentaire sur le niveau agrégé d'émissions.

Ces avantages sur les instruments de marché ont poussé les régulateurs publics à s'y intéresser de plus près. Ainsi, le président des États-Unis Barack Obama a montré sa volonté d'inclure ces outils incitatifs au sein des politiques publiques en nommant Cass Sunstein à la tête de l'autorité des régulations (*Office of Information and Regulatory Affairs* (OIRA)) entre 2009 et 2012. Le Premier ministre anglais, David Cameron, a quant à lui mis en place la *Behavioural Insight Team* en 2010. La mission de cette équipe consiste à utiliser les avancées (en psychologie et économie comportementale), et en particulier celles sur les incitations non monétaires comme les *nudges*, pour mettre au point de nouvelles politiques publiques.

À partir des expériences de Schultz *et al.* (2007) et Allcott (2011) décrites dans la section suivante, le rapport de 2011 de la *Behavioural Insight Team* discute, par exemple, de la possibilité d'utiliser les normes sociales et les options par défaut afin que les individus adoptent des comportements plus responsables envers l'environnement. En particulier, les auteurs suggèrent de s'aider d'individus "éco-responsables" afin qu'ils encouragent leurs voisins à agir comme eux en achetant des produits plus économes en énergie. De ce fait, le

réseau social est ici mobilisé. Les individus "éco-responsables" pourraient être récompensés en bénéficiant de réductions lorsqu'ils achètent leurs propres produits économes en énergie. Le rapport suggère également l'utilisation de rapports (à l'instar de ceux envoyés par l'entreprise OPOWER) pour mieux informer les individus sur leur consommation d'énergie.

La *Behavioural Insight Team* s'est également intéressée à la mise en place de ces instruments non monétaires, et en particulier des messages normatifs²⁶, dans le domaine de la prévention de la santé (rapport de 2010) et du don d'organe (rapport de 2013). Le rapport de 2010 mentionne la possibilité de réduire la consommation d'alcool des étudiants des universités par l'utilisation de normes descriptives adaptées. En effet, le Département de la Santé a estimé qu'en 2010, les coûts de santé liés à l'alcool étaient de 2.7 milliards de Livres. Dans le rapport de 2013, différentes stratégies ont été testées sur le site GOV.UK afin d'inciter les visiteurs de la page à devenir des donneurs d'organe : norme descriptive (précisant le nombre de visiteurs devenus donneurs d'organe), formulation négative (indiquant le nombre de décès dus à une absence de donneurs), formulation positive (indiquant le nombre de vies sauvées grâce aux donneurs), message faisant appel à la réciprocité, et message pour motiver les individus à aligner leurs actions avec leurs intentions (au moment du rapport, les auteurs précisent que le don d'organe était approuvé par 9 personnes sur 10 au Royaume-Uni, mais un tiers de ces individus étaient enregistrés sur les listes des donneurs d'organe). Près d'un million d'individus ont consulté ces différents messages. Le message le plus efficace a été celui appelant à la réciprocité. Les auteurs ont estimé que la mise en place de ce dernier sur une période d'un an pourrait pousser 96 000 individus à s'inscrire sur les listes des donneurs d'organe.

Dans le domaine de la protection environnementale, le rapport français de 2011 du Centre d'Analyse Stratégique (CAS (2011)) et celui de 2012 de l'OCDE (OCDE (2012)) illustrent la volonté des pays européens de mettre en place ces instruments non monétaires au sein de leurs politiques publiques. Le rapport de l'OCDE suggère la mise en place d'options par défaut dans le domaine de l'environnement. Un exemple est la proposition de la généralisation de "taxis verts". Il s'agit de véhicules hybrides utilisant moins de carburant, et ainsi polluant moins. De tels taxis ont été mis en place dans la ville de Madison (dans l'état du Wisconsin, aux États-Unis). En France, le CAS (2011) recommande l'utilisation des technologies dites "intelligentes"²⁷ afin d'aider les individus à mieux contrôler leur consommation d'énergie. En particulier, le rapport préconise l'adoption des compteurs

26. Un message normatif est un message véhiculant une norme sociale, c'est-à-dire le comportement qui est attendu d'un point de vue de la société.

27. *Smart technologies* en anglais.

Linky développés par ERDF qui indiquent en temps réel la consommation des foyers.²⁸ Récemment, des compteurs *Gazpar* ont été mis au point (GRDF).²⁹ Ceux-ci fonctionnent sur le même principe que les compteurs *Linky* afin de permettre une plus grande maîtrise de la consommation de gaz. Dans le même esprit, les entreprises Fiat et Microsoft ont développé dès 2008 le programme "Eco :Drive Blue&Me". Celui-ci consiste en une clé USB qui doit être branchée sur la voiture afin de recevoir des informations sur les émissions de CO_2 , ou sur la consommation de carburant.

Enfin, le rapport de la Fabrique écologique (2016) donne également l'exemple de la ville d'Édimbourg (Écosse) qui a modifié le système de collecte des déchets de certains quartiers de la ville. Le bac d'ordures ménagères a été réduit, passant de 240 à 140 litres. Le volume des ordures ménagères a baissé de 40% quatre mois après cette modification. Par ailleurs, suite à cette modification, l'ancien bac initialement réservé pour les ordures ménagères (avec un plus grand volume) est utilisé pour le tri. Ainsi, le volume des déchets triés a augmenté, passant de 3.5 kg à 2 kg/foyer avant la modification.

De manière générale, le rapport de la Commission européenne (2016) détaille les différents *nudges* qui ont été testés au sein des pays de l'Union. Dans le domaine de la conservation d'énergie, on apprend ainsi que l'Estonie a mis en place un processus de simplification des informations présentes sur les factures d'énergie afin que les usagers puissent facilement adapter leur comportement. De même, l'Italie teste actuellement l'impact des effets de formulation sur les factures d'énergie afin de réduire la consommation.

Dans cette section, nous avons détaillé le concept de *nudge*, en commençant par expliquer le principe de paternalisme libéral. Nous avons terminé en montrant que cet instrument non monétaire a rapidement intéressé les décideurs publics. Nous pouvons maintenant considérer les principaux résultats des *nudges* dans le domaine de l'environnement. Nous abordons ensuite quelques modèles théoriques qui incluent la mise en place de tels instruments.

1.3 Des expériences de terrain à la modélisation économique de la mise en place des *nudges*

Les *nudges* ont très rapidement constitué un objet d'intérêt pour les économistes et les psychologues. Ces derniers ont été les premiers à conduire des expériences de terrain dans le

28. <http://www.erdf.fr/linky-le-compteur-communicant-derdf>

29. http://www.lemonde.fr/entreprises/article/2016/03/09/sur-le-modele-de-linky-grdf-lance-ses-compteurs-d-4879384_1656994.html

domaine de la conservation d'énergie. En particulier, ces études ont confirmé l'importance des messages normatifs afin de renforcer les comportements écologiques. Plus tard, elles sont devenues la base des études économiques. Nous présentons les principaux résultats dans le domaine de l'environnement. Nous étudions ensuite comment les économistes ont modélisé leur mise en place.

1.3.1 Les principaux résultats des *nudges* sur le terrain

Les expériences de terrain dans le domaine de la protection de l'environnement ont principalement testé deux types de *nudges* : les messages normatifs et les options par défaut. Nous détaillons leurs principaux résultats, et nous distinguons les résultats sur le court terme de ceux sur le long terme. Cette classification nous sera utile dans le reste de cette thèse, en particulier pour les expériences détaillées dans les chapitres 3 et 4.

Des résultats de court terme...

Les *nudges* basés sur les comparaisons sociales se sont montrés efficaces afin d'aider à réduire la consommation d'énergie des individus. Pour tester les effets de telles comparaisons, les psychologues Schultz *et al.* (2007) ont mis en place une étude de terrain en 2004 à San Marcos (en Californie). L'objectif était de réduire la consommation d'énergie d'un ensemble de 290 foyers, à l'aide de messages normatifs véhiculant une comparaison sociale. La moitié de ces foyers (premier traitement) ont reçu un retour (ou *feedback*), par les assistants de recherche, concernant leur propre consommation d'énergie (exprimée en kWh/jour) durant les semaines précédentes, ainsi que la moyenne de consommation des voisins (traitement "Norme descriptive seulement").³⁰ Dans ce traitement, les foyers ont reçu cinq retours : les trois premiers ont été espacés de deux semaines. Le quatrième a eu lieu une semaine après le précédent. Le dernier retour a été effectué trois semaines après le quatrième. Ces retours contenaient également des suggestions pour réduire la consommation d'énergie. Dans cette étude, la moyenne de consommation d'énergie est la norme descriptive : elle signale aux foyers de combien leur propre consommation s'éloigne de la moyenne. Aucun autre commentaire n'est formulé. L'information est ainsi purement descriptive.

Dans le second traitement, les foyers ont reçu la même information avec l'utilisation d'un émoticône (traitement "Information descriptive et injonctive").³¹ Si le foyer consommait moins (plus) que la moyenne, l'émoticône était souriant (triste). L'utilisation des

30. Dans leur article, il s'agit du traitement "Descriptive-norm-only".

31. Dans leur article, il s'agit du traitement "Descriptive-plus-injunctive-information".

émoticônes constitue la partie injonctive du retour : elle signale aux foyers si leur comportement actuel est (ou non) plus en accord avec l'environnement que le comportement moyen et, dans la plupart des cas, plus proche (ou non) de l'optimum social.³²

Pour les consommateurs du traitement "Norme descriptive seulement" étant au-dessus de la moyenne, les auteurs observent une diminution significative de la consommation sur le court terme de l'ordre de 1.22 kWh/jour, par comparaison avec la période initiale. Il s'agit de ce que les auteurs ont appelé l'aspect "constructeur" de la norme sociale. Autrement dit, puisque les consommateurs se rendent compte qu'ils consomment plus que la moyenne des autres voisins, ils diminuent leur propre consommation pour se rapprocher de cette moyenne. Les auteurs notent également, en ce qui concerne le traitement "Norme descriptive seulement", que les individus initialement en-dessous de la moyenne ont augmenté leur consommation d'électricité de +0.89 kWh/jour, par comparaison avec la période initiale. Les auteurs ont qualifié cet effet de "destructeur" : ceux découvrant qu'ils consomment moins que la moyenne augmentent leur consommation d'énergie. Il s'agit d'un effet "boomerang". Cependant, cet effet boomerang n'était pas présent dans le second traitement. Cela est dû à l'utilisation de la norme injonctive (les émoticônes). Ceux consommant moins que la moyenne n'augmentent pas leur consommation d'énergie : il s'agit de l'effet "reconstructeur" des normes sociales. De plus, les efforts fournis par les deux types de consommateurs (ceux consommant peu et beaucoup) sont maintenus sur le long terme.

D'autres expériences ont été menées dans le même esprit que celle de Schultz *et al.* (2007), tant par les psychologues (Nolan *et al.* (2008), Goldstein *et al.* (2008)) que les économistes (Allcott (2011), Ayres *et al.* (2013), Costa et Kahn (2013), Ferraro et Price (2013)). Nous allons nous intéresser en particulier à l'expérience de terrain menée par Allcott (2011) qui a servi de base aux études en économie qui ont suivi.

Contrairement à Schultz *et al.* (2007), Allcott a considéré un plus grand nombre d'individus dans son étude : 600 000 foyers ont été inclus, provenant de six fournisseurs d'électricité de l'État de Californie et six autres de l'État de Washington. L'expérience a débuté en 2009. Le programme a été mis en place par l'entreprise OPOWER³³ qui a envoyé des

32. Plusieurs études en psychologie (Cialdini *et al.* (1990), Bator et Cialdini (2000) ou Cialdini (2003)) ont montré que pour contrer l'effet boomerang - qui correspondrait, dans notre cas, au fait qu'un foyer augmenterait sa consommation d'énergie s'il découvre qu'il consomme moins d'énergie que la moyenne- il est nécessaire d'employer des normes injonctives en plus des normes descriptives.

33. Aux États-Unis, les fournisseurs d'électricité sont obligés par la loi de mener des programmes de réduction d'énergie, et ainsi d'aider les consommateurs à réduire leur consommation. L'entreprise OPOWER est spécialisée dans les retours d'information auprès des consommateurs. Voir <http://opower.com/company>

rapports aux différents foyers.³⁴

L'envoi de ces rapports a mené à une réduction moyenne de la consommation d'électricité de 2.0%. Cela correspond à une réduction moyenne de l'ordre de 0.62 kWh/jour.³⁵ Pour obtenir ce même effet de traitement moyen, il aurait été nécessaire d'augmenter les prix sur le court terme entre 11 et 22%. Notons par ailleurs que les traitements mensuels et bimensuels ont été plus efficaces que le traitement trimestriel : ce dernier a conduit à une réduction moyenne de 1.7% contre 2.2% pour les deux premiers traitements.

Enfin, Kuhfuss *et al.* (2015) et Thoyer *et al.* (2015) détaillent le résultat d'une expérience de terrain dans laquelle 395 agriculteurs français, ayant pris part à des mesures agroenvironnementales territorialisées³⁶, ont reçu des informations sur les pratiques d'autres agriculteurs (il s'agit d'une comparaison sociale) à la fin de la mise en place des contrats agro-environnementaux.³⁷ Les auteurs ont également varié la manière dont l'information sur le comportement des autres agriculteurs était présentée. Dans une première formulation, les agriculteurs apprenaient que 80% de leurs pairs allaient poursuivre leurs nouvelles pratiques. Dans la seconde formulation, ils apprenaient que 20% de leurs pairs n'allaient pas poursuivre leurs nouvelles pratiques. Dans le groupe de contrôle, les auteurs ont demandé aux agriculteurs s'ils pensaient poursuivre leurs nouvelles pratiques (aucune information sur les autres agriculteurs n'est communiquée). Kuhfuss *et al.* (2015) obtiennent ainsi que 43% des agriculteurs pensaient maintenir leurs nouvelles pratiques dans le groupe de contrôle, contre 61% pour ceux ayant reçu une information sur les autres agriculteurs.

Les études sur les options par défaut appliquées dans le domaine de la conservation environnementale sont moins nombreuses que celles portant sur l'impact des messages normatifs. Les effets sont également contrastés.

Les psychologues Pichert et Katsikopoulos (2008) ont étudié la mise en place d'options par défaut pour déterminer l'impact sur le choix de l'électricité. Ils ont mis en place une expérience en laboratoire (au Max Planck Institute for Human Development en Allemagne) avec 225 sujets répartis dans trois traitements. Dans le premier traitement, les

34. Dans l'article, ces rapports sont appelés "Home Energy Report".

35. Une ampoule électrique de taille moyenne (consommant 60 W) utilisée pendant 5 heures par jour consomme 0.3 kWh. La consommation des foyers pendant la période pré-traitement variait entre 19 et 60 kWh/jour.

36. Les mesures agroenvironnementales territorialisées sont des mesures mises en place afin d'inciter les agriculteurs à adapter leurs pratiques agricoles, en implantant l'hiver, par exemple, des végétaux spécifiques afin d'empêcher le ruissellement des fertilisants utilisés. Dans l'ensemble, ces mesures visent à préserver la qualité de l'eau, ainsi qu'à protéger la biodiversité.

37. En acceptant le contrat, les agriculteurs s'engagent à adopter une pratique respectueuse de l'environnement. Ces nouvelles pratiques pouvant entraîner une perte de revenus, les agriculteurs sont alors compensés financièrement. L'objectif du *nudge* est ainsi d'induire une pérennisation de ces pratiques.

sujets faisaient face à un choix d'électricité (verte ou standard), avec l'électricité verte pré-sélectionnée (*green condition*). Dans le deuxième traitement, l'option par défaut était l'électricité standard (*grey condition*). Dans le troisième traitement, les sujets devaient choisir le type d'électricité, sans option par défaut (*neutral condition*). Le coût mensuel pour l'électricité verte était de 30 euros, contre 25 euros pour l'électricité standard. Étant donné ces prix, Pichert et Katsikopoulos ont fait l'hypothèse que les sujets choisiraient davantage l'électricité verte lorsqu'elle serait présentée comme étant l'option par défaut (*green condition*), plutôt que lorsqu'elle serait présentée comme une alternative à l'électricité standard (*grey condition*). Cette hypothèse repose sur l'idée que l'option par défaut signale que le choix de l'électricité verte est un choix "responsable".

En accord avec leur hypothèse, Pichert et Katsikopoulos obtiennent que 68% des sujets ont choisi l'électricité verte dans le premier traitement, contre 31% dans le deuxième traitement (différence significative). Dans le dernier traitement, 67% des sujets ont choisi l'électricité verte. Il n'y a pas de différence significative entre le premier et le troisième traitement. De fait, pour 44% des sujets la prise en compte de l'environnement, du prix, ou des deux, motivait leur choix du type d'électricité. De plus, pour les sujets des deux premiers traitements, 15% d'entre eux n'ont pas changé d'option du fait de l'effort nécessaire pour changer, soulignant ainsi le biais d'inertie.

Löfgren *et al.* (2012) ont étudié l'effet des options par défaut sur des individus experts sur la question environnementale. Lors de l'enregistrement pour la conférence de l'EAERE en 2008 à Gothenburg, 240 chercheurs en économie ont été assignés dans 3 groupes différents avant le paiement des frais. Dans le premier groupe, les chercheurs avaient la possibilité de payer des frais supplémentaires pour compenser les émissions de carbone dues à leur venue à la conférence.³⁸ Dans le deuxième traitement, l'option de compenser pour son empreinte carbone était directement sélectionnée (option par défaut "opt-out"), alors que l'option contraire de ne pas contribuer était directement sélectionnée dans le troisième traitement (option par défaut "opt-in").

Löfgren *et al.* obtiennent que 46.8% des chercheurs du premier traitement ont activement choisi de compenser les émissions de carbone dues à leur venue, de même que 43.2% des chercheurs dans le deuxième traitement et 39.3% des chercheurs dans le troisième traitement. Cependant, les auteurs ne concluent pas à une différence significative entre les trois traitements. Löfgren *et al.* ont également analysé l'effet du montant à payer selon le pays d'origine. Si les chercheurs sont plus nombreux, dans l'ensemble, à accepter de payer

38. Deux tarifs étaient disponibles selon le pays d'origine : 10 euros pour un pays européen, et 40 euros pour un pays hors Europe.

une compensation lorsque leur pays d'origine est en Europe (53.2% contre 24.4% pour les chercheurs ne provenant pas d'un pays européen), à nouveau les auteurs ne trouvent pas d'effet significatif de l'option par défaut au sein de ces deux groupes (chercheurs provenant d'un pays européen et ceux hors Europe). Cette étude ne confirme donc pas l'impact potentiel des options par défaut.

Au contraire, l'étude d'Egebark et Ekström (2016) confirme le potentiel des options par défaut. Dans cette expérience, les auteurs comparent l'utilisation des options par défaut avec l'utilisation d'un "appel moral" afin que les documents soient imprimés en recto-verso. Cette étude a été mise en place en 2012 dans une université Suédoise durant 15 semaines : 5 semaines d'observation des quantités imprimées, puis 5 semaines de traitement, et enfin 5 semaines d'observation des effets.

Les deux interventions considérées diffèrent dans la considération des utilisateurs. Avec l'appel moral, les utilisateurs doivent être *actifs* et choisir par eux-mêmes dans les réglages l'impression en recto-verso. Avec l'option par défaut, les utilisateurs deviennent *passifs* : l'option recto-verso est déjà sélectionnée. En revanche, les utilisateurs peuvent toujours : i) changer l'option et, ii) sans coût.

Au total, 25 imprimantes (dans 18 départements) ont été considérées. Deux groupes ont ensuite été constitués : 14 imprimantes dans le traitement avec l'option par défaut, et 11 dans le traitement avec l'appel moral. Avant tout traitement, 170 feuilles étaient utilisées pour imprimer 221 pages, soit un nombre moyen de 0.85 page imprimée par feuille. Les auteurs ne trouvent pas de différence significative concernant le nombre moyen de pages imprimées par feuille entre la période pré-traitement et la période de traitement. En revanche, une différence significative est observée pour le traitement avec l'option par défaut : le nombre moyen de pages imprimées par feuille est passé de 0.85 à environ 0.7. La consommation de papier a été réduite de 15%. Un premier constat est donc qu'un appel normatif ne semble pas suffisant pour induire un changement de comportement concernant les impressions. Notons que la demande (le nombre de pages imprimées) n'a pas changé entre la période pré-traitement et la mise en place du traitement. Seul le nombre de documents en recto-verso a augmenté.

Egebark et Ekström ont cherché à vérifier si leurs résultats pouvaient se généraliser. Ils ont ainsi étudié l'hétérogénéité des réactions : la diminution du nombre moyen de pages imprimées par feuille provient-elle majoritairement des personnels administratifs ou du personnel académique ? Aucune différence significative entre les deux types de personnels n'est présente. Il semble ainsi possible de généraliser ces résultats à la population en général.

Les résultats des *nudges* paraissent encourageants dans le domaine de la conservation d'énergie. Comme nous l'avons vu dans la section précédente, ces résultats ont rapidement intéressé les décideurs publics. Dans le paragraphe suivant, nous allons analyser la persistance des effets de ces incitations sur le comportement des agents économiques.

...aux résultats de long terme ?

Ferraro et Price (2013) se sont intéressés à la question de la permanence des effets des *nudges* concernant la consommation d'eau. Le fournisseur d'eau de l'État de Géorgie (aux États-Unis), le *Cobb County Water System* (CCWS), a envoyé des lettres indiquant à 106 669 foyers la nécessité de réduire leur consommation d'eau durant l'été 2007. Trois traitements ont été construits. Dans le premier (Conseil technique), une lettre était envoyée résumant les différents moyens pour réduire la consommation d'eau. Le deuxième traitement (Norme sociale faible) complétait le premier en y ajoutant une lettre personnalisée écrite par des représentants du CCWS. Le dernier traitement (Norme sociale forte) reprenait les deux traitements précédents et incluait une comparaison sociale : la consommation d'eau du foyer concerné était comparée à la consommation médiane des foyers du comté.

Une plus grande réduction dans la consommation d'eau a été observée avec le dernier traitement. Les auteurs se sont également intéressés à l'hétérogénéité parmi les forts et les faibles consommateurs (avant l'expérience). Ils montrent en particulier qu'une réduction plus importante a été observée parmi les (anciennement) forts consommateurs (réduction relative de 5.28%) par rapport aux (anciennement) faibles consommateurs (réduction relative de 2.72%). Cette différence entre les deux types de consommateurs est moins prononcée dans le deuxième traitement (une réduction relative de 2.88% chez les forts consommateurs, et 2.19% chez les faibles consommateurs).

Le deuxième résultat est que l'effet du *nudge* a sensiblement diminué le mois suivant sa mise en place. Les auteurs concluent que les incitations non-monétaires devraient être mises en place lorsque le régulateur nécessite des résultats immédiats, mais pas nécessairement des résultats sur le long terme.

Allcott et Rogers (2014) fournissent une étude plus détaillée concernant les effets des messages normatifs sur le long terme. Dans leur étude, ils ont considéré 234 000 foyers de trois sites différents (un dans le *Midwest* et deux autres sur la côte Ouest). Ces foyers ont reçu des rapports de l'entreprise OPOWER entre 2008 et 2013.

Les auteurs expliquent qu'après l'envoi des quatre premiers rapports³⁹, la réduction

39. Les rapports ont été envoyés sur une base mensuelle.

totale moyenne aurait dû être de -0.74 kWh/jour si les foyers avaient maintenu leur réduction d'énergie pendant l'envoi de ces rapports. Or, la réduction totale moyenne observée a été de -0.52 kWh/jour. Les foyers ont réduit leur consommation d'énergie immédiatement après avoir reçu les rapports, mais cette diminution n'a pas été maintenue avec le temps.

Allcott et Rogers se sont également intéressés aux effets des rapports *post-traitement*, c'est-à-dire aux effets des rapports une fois l'envoi stoppé. Pour ce faire, une partie des foyers n'a plus reçu de rapports après deux années de traitement. Les auteurs montrent que l'année suivant l'arrêt du traitement, les foyers continuaient à réduire leur consommation d'énergie en moyenne de -0.6 kWh/jour. Il s'agit d'un *effet de permanence dans le temps*. Plus précisément, les foyers semblent avoir appris avec l'envoi des rapports (ils ont formé un "stock de capital"). Allcott et Rogers ont estimé que les foyers arrêteraient toute réduction de leur consommation d'énergie entre cinq et dix années après l'arrêt du traitement.

Des effets de persistance des messages normatifs ont également été observés dans les études de Ferraro *et al.* (2011) et Bernedo *et al.* (2014).

Concernant les options par défaut, Egebark et Ekström (2016) se sont également intéressés à leurs effets dans le temps. Pour ce faire, les auteurs ont étudié le nombre d'impressions en recto-verso durant 5 semaines, et ce 28 semaines après l'arrêt de l'expérience. Ils montrent que six mois après le traitement, les effets n'ont aucunement disparu (même nombre moyen de pages imprimés sur une seule feuille). Ils concluent ainsi à une forte persistance des effets des options par défaut dans le temps.

La persistance des effets des options par défaut a davantage été documentée dans les études portant sur l'épargne. Dans l'exemple de l'option par défaut mise en place par Madrian et Shea (2001) étudié dans la section précédente, nous avons vu que, 15 mois après la mise en place de cette option, le taux de participation des nouveaux employés au plan d'épargne 401(k) était supérieur à celui des employés embauchés avant la mise en place de l'option par défaut. Choi *et al.* (2004) trouvent également une persistance des effets des options par défaut dans la participation au plan d'épargne 401(k) jusqu'à quatre ans après la mise en place de cette option. Les auteurs ont repris les données obtenues par Madrian et Shea (2001) et les ont complétées par de nouvelles observations dans le temps, et auprès de deux autres firmes américaines. Les auteurs obtiennent que le taux de participation des employés dans le plan d'épargne 401(k) est de 85% dans l'ensemble des trois firmes après quatre années de mise en place de l'enrôlement automatique.

Jusqu'à présent nous avons considéré les applications des *nudges* sur le terrain. Cependant, avant de pouvoir les mettre en place, il semble nécessaire d'obtenir des prédictions

théoriques pour cibler correctement les individus. Dans la sous-section suivante nous établissons un état des lieux des différents modèles existants pour modéliser la mise en place d'un *nudge*. La multitude de *nudges* existants rend difficile une modélisation unique. Nous analysons ainsi deux types de modèles : ceux concernant la réaction à une information ou à un objectif, et ceux modélisant la mise en place d'une option par défaut.

1.3.2 La modélisation des *nudges* relevant d'une information

Les modèles que nous présentons dans cette sous-section (Farhi et Gabaix (2015), Harding et Hsiaw (2014)) prennent en compte la réaction des agents économiques à une information indiquant un objectif à atteindre, ou à la mise en place d'un objectif personnel.

Farhi et Gabaix (2015) ont modélisé la mise en place d'un *nudge* relevant de la diffusion d'une information (campagne publique de sensibilisation, ancrage, etc.). Les agents économiques considérés peuvent être biaisés dans leurs décisions, et peuvent en particulier être sujets à un biais d'interprétation. Dans leur modèle, ce biais s'exprime par une perception du taux de taxe autre que celui effectivement mis en place.

Considérons le vecteur de consommation $c = (c_0, \dots, c_n)$, le vecteur de prix avant taxation $p = (p_0, \dots, p_n)$, et le vecteur des taxes à la consommation $\tau = (\tau_0, \dots, \tau_n)$. Écrivons $q = p + \tau$ le vecteur des prix après taxation. La dotation est notée w . Chaque consommateur va chercher à maximiser le problème suivant :

$$\max_c u(c) \tag{1.12}$$

$$s.c. \quad q \cdot c \leq w \tag{1.13}$$

En l'absence de biais de perception, la fonction de demande est notée $c^r(q, w)$, avec l'exposant r qui désigne la demande *rationnelle*.

Lorsque un agent est sujet au biais de perception, sa demande dépend du vecteur des "vrais" prix q , de celui des prix perçus q^s (l'exposant s désigne les "prix subjectivement perçus") et de son revenu w . Le nouveau programme s'écrit :

$$\max_{c|q^s} u(c) \tag{1.14}$$

$$s.c. \quad q \cdot c \leq w \tag{1.15}$$

La demande s'écrit alors $c^s(q, q^s, w)$. Notons par ailleurs que cette demande correspond à celle d'un agent rationnel faisant face au vecteur de prix q^s , et au revenu w' , tel que $w = q \cdot c^r(q^s, w')$.

Considérons maintenant la mise en place d'un *nudge*. Par hypothèse, celui-ci va affecter la consommation des biens, mais n'entre pas dans la contrainte budgétaire. Plus précisément, Farhi et Gabaix font l'hypothèse que les individus vont considérer une contrainte budgétaire *perçue*, dans leur programme de maximisation. Soit $B^{s,h}(q, c, \chi) \leq w$ cette contrainte budgétaire *perçue*, avec χ le vecteur des *nudges* mis en place, et l'exposant h désigne la contrainte budgétaire de l'agent h sous la mise en place d'un *nudge*. Les auteurs précisent toutefois que la contrainte budgétaire n'est pas modifiée : les individus en considèrent une autre.

Farhi et Gabaix proposent deux formulations différentes des *nudges*. La première correspond à une taxe psychologique sur la consommation d'un bien i . Ils prennent l'exemple d'une campagne publique contre le tabac. Dans ce cas, la contrainte budgétaire *perçue* s'écrit :

$$B^{s,h}(q, c, \chi) = q^{s,h,*} \cdot c + \chi \eta^h c_i \quad (1.16)$$

avec $\eta^h \geq 0$ un paramètre de "nudgabilité". Plus précisément, ce paramètre désigne le degré de réception de l'individu par rapport au *nudge*. $\eta^h = 1$ désigne un agent très réceptif au *nudge* mis en place, alors que $\eta^h = 0$ désigne un agent qui n'est pas du tout réceptif.

La deuxième formulation du *nudge* correspond à un ancrage psychologique. Par exemple, le régulateur annonce une quantité χ de consommation recommandée pour le bien i . La contrainte budgétaire *perçue* s'écrit :

$$B^{s,h}(q, c, \chi) = q^{s,h,*} \cdot c + \eta^h |c_i - \chi| \quad (1.17)$$

Dès lors que l'agent dévie de la quantité recommandée χ , ce dernier subit une pénalité psychologique. Cette deuxième formulation peut également illustrer la mise en place d'options par défaut, avec χ représentant une allocation par défaut.

En considérant la formulation (1.16), avec une utilité quadratique, et la présence d'une externalité ξ avec la consommation du bien 1, Farhi et Gabaix obtiennent la proposition suivante :

Proposition (Farhi et Gabaix (2015)) : *Lorsque le nudge est mis en place seul, le*

nudge optimal est donné par :

$$\chi = \frac{\mathbb{E} [\tau^{X,h} \eta^h]}{\mathbb{E} [\eta^{h^2}]} \quad (1.18)$$

$\tau^{X,h}$ représente la perte moyenne en bien-être due à l'externalité. À partir de cette formule, deux cas sont possibles. Si les agents sont homogènes dans leur réaction au *nudge*, alors celui-ci sera plus fort lorsque la perte moyenne en bien-être social due à l'externalité est élevée, et les agents sont peu réceptifs au *nudge*. Si les agents sont hétérogènes dans leur réaction au *nudge*, alors ce dernier sera plus fort si la corrélation entre la perte en bien-être social due à l'externalité et la réaction des agents au *nudge* est positive.

Farhi et Gabaix discutent aussi de la mise en place conjointe d'une taxe et d'un *nudge*, et en particulier de la complémentarité de ces deux instruments. Les auteurs montrent que si ces incitations sont mises en place dans un objectif autre qu'une distribution des revenus, alors les deux sont des substituts. Si l'utilité sociale marginale du revenu et la "nudgabilité" sont positivement corrélées, alors les deux sont des compléments. Pour illustrer ces propos, les auteurs considèrent l'exemple d'agents avec un faible revenu, c'est-à-dire avec une utilité sociale marginale du revenu élevée, et fortement réceptifs au *nudge*. La mise en place du *nudge* va réduire la consommation des biens de ces agents, ce qui va améliorer l'impact redistributif de la taxe. Dans ce cas, les deux instruments sont des compléments.

Bien que Farhi et Gabaix (2015) considèrent ces deux formulations dans le reste de leur papier, ils précisent toutefois que la formulation du *nudge* pourrait intervenir directement au niveau de la fonction d'utilité. La première formulation s'écrirait alors :

$$u^h(c, \chi) = u(c) - \iota^h \chi c_i \quad (1.19)$$

et la deuxième formulation s'écrirait :

$$u^h(c, \chi) = u(c) - \iota^h |c_i - \chi| \quad (1.20)$$

avec ι^h qui a la même interprétation que η^h .

Dans le chapitre suivant, nous considérons la mise en place d'un *nudge* qui prend la forme de l'annonce de la contribution socialement optimale pour améliorer la qualité environnementale. Notre modélisation de la réaction à ce *nudge* se rapproche de celle proposée par Farhi et Gabaix (2015). Cependant, nous la modélisons comme une désutilité, dès lors

que les individus contribuent un autre montant que l'optimum social. Cette désutilité n'apparaît pas dans la contrainte budgétaire. Enfin, une critique éventuelle que nous pourrions formuler concerne l'hypothèse de "nudgeabilité" proposée par Farhi et Gabaix. En effet, comment mesurer ce critère ? Dans notre modélisation, l'hypothèse que nous proposons est que la réaction marginale au *nudge* dépend de la sensibilité environnementale. Cette dernière peut être mesurée, notamment à partir de questionnaires psychologiques, comme nous le verrons dans le troisième chapitre.

Par ailleurs, nous pouvons remarquer que la formulation de la réaction au deuxième *nudge* (ancrage psychologique) est similaire aux formulations du coût moral dans les modèles d'objectifs personnels, ou moraux (Figuières *et al.* (2013), Harding et Hsiaw (2014)), ou dans les modèles de conformité et de distance sociale (Bernheim (1994), Akerlof (1997)). Dans ces modèles, dès lors que les individus s'écartent de leur objectif personnel, ou du statut des autres individus, ils subissent un coût moral.

Plus tôt, Thaler (1980) a proposé une modélisation des "coûts psychiques" similaire à la théorie des perspectives. En particulier, l'auteur considère le *plaisir* et la *peine*. Le plaisir correspondrait au domaine des gains (fonction concave), et la peine correspondrait au domaine des pertes (fonction convexe).

Un exemple d'une telle fonction est présente dans le modèle de Harding et Hsiaw (2014). Rappelons que dans le modèle de Farhi et Gabaix (2015), le régulateur fixe un objectif aux individus (modélisé par le paramètre χ). Harding et Hsiaw proposent quant à eux un modèle dans lequel les individus fixent eux-mêmes un objectif. Les auteurs considèrent en particulier le cas de consommateurs d'électricité qui se fixent une consommation maximum. Dans la première étape de leur modèle, les consommateurs choisissent s'ils souhaitent participer à un programme de réduction de la consommation d'électricité. S'ils acceptent, alors dans la deuxième étape les individus fixent un seuil mensuel qu'ils ne souhaiteraient pas dépasser.

Considérons un individu qui a accepté de participer à ce programme, et notons x sa consommation d'électricité et r son objectif de consommation. Soit $f(r - x)$ la fonction d'utilité (si l'individu consomme moins que son objectif) ou de désutilité (si l'individu dépasse son objectif). Plus précisément, les hypothèses de cette fonction sont :

$$f'(r - x) > 0 \quad \forall x$$

et

$$f''(r - x) = \begin{cases} < 0 & \text{si } r > x \\ > 0 & \text{si } r < x \end{cases}$$

Harding et Hsiaw montrent ainsi que si les consommateurs ont des préférences dépendantes du rang⁴⁰, alors ils réduisent leur consommation après avoir fixé un plafond de consommation.

1.3.3 La modélisation de la mise en place d'options par défaut

Carroll *et al.* (2009) proposent une modélisation des options par défaut. Les auteurs appliquent leur modèle à leur étude portant sur l'utilisation des options par défaut afin d'augmenter l'épargne des salariés américains dans le plan d'épargne 401(k).

Soit un employé épargnant au taux d , qui est le taux d'épargne par défaut. À chaque période, l'employé peut décider de changer de taux d'épargne (autre que le taux d'épargne par défaut) moyennant un coût c , déterminé de manière aléatoire (à chaque période). Ce coût est uniformément distribué, avec $c \in [\underline{c}; \bar{c}]$. Si l'individu paie ce coût c , alors il épargnera par la suite à son taux optimal s , s étant constant et uniformément distribué : $s \in [\underline{s}; \bar{s}]$. Le régulateur n'a pas connaissance du taux d'épargne s (qui est individuel), mais connaît sa distribution dans la population. Si l'individu reste avec le taux d'épargne d , il subira une perte en utilité donnée par $L = \kappa(s - d)^2$ au début de la période suivante, κ étant une constante.

Sous l'hypothèse de préférences quasi-hyperboliques, avec δ le taux d'escompte de long terme, et β celui de court terme, l'utilité intertemporelle à la période t est donnée par :

$$U_t = u_t + \beta (\delta u_{t+1} + \delta^2 u_{t+2} + \dots) \quad (1.21)$$

Ainsi, un agent avec $\beta < 1$ est sujet à une incohérence dynamique : ses préférences changent dans le temps. Par hypothèse, le taux d'escompte β est le même pour tous les individus. L'agent changera son taux d'épargne si le coût c est inférieur au seuil c^* , déterminé par son programme.

Notons ϕ_t le bien-être de l'individu i à la période t . Celui-ci correspond à la somme des pertes en utilité actualisées :

$$\phi_t = l_t + \delta^2 l_{t+1} + \dots \quad (1.22)$$

avec l_t la perte espérée à la période t . Afin de déterminer la valeur du taux d'épargne par

40. Dans leur modèle, l'objectif que les individus se fixent leur sert de point de référence.

défaut d pour l'ensemble des employés, et en écrivant ϕ comme une fonction de s et de d , $\phi(\Delta)$ avec $\Delta = s - d$, le régulateur (supposé utilitariste) va chercher à minimiser les pertes sociales :

$$\int_{\underline{s}}^{\bar{s}} \phi(\Delta) ds \quad (1.23)$$

Carroll et ses co-auteurs obtiennent ainsi la proposition suivante :

Proposition (Carroll *et al.* (2009)) : *Si $\beta < 1$, l'option par défaut optimale relève de l'un des 3 types suivants :*

- i) L'option par défaut moyenne $d = \frac{(\underline{s} + \bar{s})}{2}$;*
- ii) L'option par défaut compensatoire, telle que $\underline{s} - d = -\Delta_e$ et $\bar{s} - d \geq \bar{\Delta}$ (ou son équivalent symétrique, $\bar{s} - d = \Delta_e$ et $\underline{s} - d \leq \bar{\Delta}$), avec $\Delta_e \in (0, \bar{\Delta})$;*
- iii) Une décision active, correspondant à n'importe quel d , avec $\underline{s} - d \geq \bar{\Delta}$ ou $\bar{s} - d \leq -\bar{\Delta}$.*

Bien que le choix de l'option par défaut dépende des valeurs données aux différents paramètres, nous pouvons commenter ces 3 scénarii. L'option par défaut moyenne correspond au cas où les employés exhibent une faible incohérence temporelle (β proche de 1), et une homogénéité dans les taux d'épargne s . Dans la situation opposée, correspondant à une forte hétérogénéité dans les taux d'épargne optimaux s , et une forte incohérence temporelle ($\beta \ll 1$), il n'est pas possible de fixer un taux d'épargne par défaut d tel que les pertes sociales soient minimisées. Enfin, l'option par défaut compensatoire correspond à une situation intermédiaire, dans laquelle les employés sont hétérogènes concernant le taux d'épargne optimal s , mais exhibent une faible incohérence temporelle (β proche de 1). Notons que lorsque $\beta = 1$, la meilleure solution est de fixer d égal à s , car $\phi(\Delta)$ est croissante en Δ dès que $|\Delta| > 0$.

Nous venons ainsi d'étudier un modèle intégrant la mise en place d'une option par défaut. Berhneim *et al.* (2015) ont proposé un modèle similaire à celui de Carroll *et al.* (2009). Les auteurs ont en particulier pris en compte un coût d'effort pour changer d'option par rapport à celle proposée par défaut. Berhneim et ses co-auteurs se démarquent cependant de Carroll *et al.* (2009) sur plusieurs points dans le modèle qu'ils proposent. Les agents maximisent leur utilité en tenant compte d'un niveau de consommation souhaité à court-terme, et choisissent d'arrêter l'épargne au taux par défaut dès lors que la différence en utilité, évaluée au nouveau taux et au taux par défaut, est supérieure au coût d'effort pour arrêter l'option par défaut. L'apport des auteurs réside notamment dans cette condition de changement : les agents peuvent donner plus de poids au coût d'effort s'ils sont sensibles aux *effets de présentation*. De même, si les agents sont *inattentifs*, dans le sens où le fait de

sélectionner eux-mêmes un taux ne représente pas nécessairement une décision importante pour eux, alors ils placent davantage de poids sur le coût d'effort pour arrêter l'option par défaut. Les auteurs montrent ainsi qu'en présence d'un plafond pour les contributions de l'employeur, le taux d'épargne par défaut socialement optimal tend à correspondre avec le plafond de l'employeur. En revanche, en l'absence d'un tel plafond, le taux d'épargne par défaut socialement optimal tend vers l'option par défaut moyenne proposée par Carroll *et al.* (2009), c'est-à-dire un taux prenant compte de l'hétérogénéité des préférences des employés.

Enfin, Goldin et Lawson (2016) proposent une approche différente, en comparant le bien-être des agents sous la mise en place d'une option par défaut, d'un mandat ou d'une taxe. Contrairement aux deux modèles précédents, les agents économiques ne subissent pas un coût d'effort lorsqu'ils choisissent une option différente de celle par défaut. Par ailleurs, les auteurs considèrent des agents *passifs* et *actifs*. Les agents peuvent choisir entre deux options x et y , et l'option par défaut peut être placée sur l'une de ces deux options. Les passifs choisissent toujours l'option par défaut. En revanche, les actifs choisissent y si et seulement si

$$c_i = y \Leftrightarrow u_i(y) - u_i(x) + b_i \geq 0$$

avec c_i le choix de l'individu i entre les options x et y , $u_i(\cdot)$ sa fonction d'utilité et $b_i \in \mathbf{R}$ représente son biais envers l'une des deux options.⁴¹

Goldin et Lawson montrent que lorsque les agents ne sont pas biaisés, alors le bien-être avec l'option par défaut est toujours plus grand (ou au moins aussi élevé) qu'avec le mandat qui force les agents à choisir une option en particulier. Ce résultat peut notamment s'expliquer par le fait que dans les deux cas, les agents passifs choisissent toujours l'option qui leur est indiquée. En revanche, les agents actifs sont forcés de choisir une option qui n'est pas toujours celle qu'ils préfèrent avec le mandat, ce qui n'est pas nécessairement le cas avec l'option par défaut. Lorsque les agents sont biaisés, le mandat induit un bien-être social plus élevé que l'option par défaut si les agents actifs sont suffisamment biaisés pour ne pas vouloir choisir l'option alternative.

Enfin, les auteurs comparent la mise en place de l'option par défaut avec celle d'une taxe forfaitaire. Le choix entre ces deux instruments dépend de la distribution des biais au sein des agents : si la majorité des individus qui sont biaisés sont également des individus passifs, alors l'option par défaut sera choisie car la taxe ne pourra pas faire mieux.

41. Si le biais est négatif, alors l'individu i a une préférence envers l'option x . Et inversement si le biais est positif.

Par rapport à l'ensemble des modèles que nous venons d'étudier, nous nous proposons dans cette thèse d'élaborer une modélisation adaptée à la mise en place d'un *nudge* dans le cadre de la régulation environnementale. En effet, les modèles présentés plus haut sont généraux (Fahri et Gabaix (2015), Goldin et Lawson (2016)), ou adapté au cadre de l'épargne individuelle (Carroll *et al.* (2009), Bernheim *et al.* (2015)). Dans le chapitre 2, nous proposons ainsi une modélisation de la réaction à un *nudge* (prenant la forme de la provision d'une information). Nous faisons l'hypothèse que la réaction (marginale) des individus à ce *nudge* dépend de leur sensibilité environnementale.⁴²

À ce stade de la discussion, nous avons mis en perspective les instruments économiques traditionnels en économie de l'environnement et les *nudges*. Nous avons montré que ces derniers ont obtenu des résultats sur le terrain qui semblent encourageants. Cependant, il convient également de s'intéresser à leurs inconvénients. En effet, si les instruments de marché peuvent être difficiles à mettre en place, notamment d'un point de vue social, les *nudges* peuvent soulever un tout autre problème : celui de leur éthique. Dans la section suivante, nous verrons en particulier que ces incitations relèvent parfois de la manipulation.

1.4 *Quid des nudges : un instrument idéal ?*

Dans cette dernière section, nous nous intéressons aux inconvénients potentiels des *nudges*. Depuis la présentation du principe du paternalisme libéral par Thaler et Sunstein (2003), de nombreuses critiques ont été formulées, tant sur ce principe que sur l'éthique des instruments préconisés. Nous étudions dans la première sous-section l'éthique de ces instruments, et analysons en quoi ils peuvent relever de la manipulation. Suite à ces critiques, des juristes ont montré la nécessité d'établir un cadre légal autour de l'utilisation des *nudges*. Nous étudions leurs arguments dans la deuxième sous-section. Enfin, comme nous l'avons vu dans la première section avec les instruments de marché, le succès d'une incitation dépend également de la perception du public. Nous la commenterons dans la dernière sous-section.

1.4.1 Les *nudges* entre manipulation et paternalisme

Suite à la publication de l'ouvrage de Thaler et Sunstein (2009), certains auteurs (dont Hausman et Welch (2010), Goodwin (2012), Vallgarda (2012) et Wilkinson (2013)) ont vu

42. Dans cette thèse, la sensibilité environnementale est entendue comme la vulnérabilité physique des individus (la présence de pollution est mauvaise pour leur santé), ou comme l'ensemble de leurs convictions à propos de l'environnement.

le potentiel manipulateur des *nudges*. Nous commençons par discuter leur point de vue, et les réponses qui ont été formulées. Nous étudions ensuite les critiques à l'égard du principe du paternalisme libéral.

***Nudges* et manipulation des agents économiques**

Dans leur étude sur l'utilisation des options par défaut pour favoriser l'électricité verte, Pichert et Katsikopoulos (2008) soulignent que ces options peuvent soulever une question morale. En effet, jouer sur l'inertie des individus relève de la manipulation. Cet aspect manipulateur a également été évoqué par Hausman et Welch (2010), Goodwin (2012), Vallgarda (2012) et Wilkinson (2013).

Pour Wilkinson (2013), trois conditions sont nécessaires afin qu'une action manipule un individu. Premièrement, il faut une *perversion* du processus de décision de l'individu : l'individu choisit l'option A plutôt que l'option B car, au moment de choisir, une interférence a eu lieu (publicité, information, présentation particulière des options, etc.). Cette manipulation doit également revêtir un caractère *intentionnel* de la part d'un tiers individu. C'est le cas d'une firme qui fait de la publicité d'un de ses produits, et délivre une information particulière pour vendre ce produit. Enfin, l'*autonomie* des choix doit avoir été restreinte. Bovens (2012) explique qu'un individu dont le processus de décision est biaisé n'est pas autonome dans ses décisions, du fait de la présence de ces biais. Ainsi, exploiter la présence de ces biais pour influencer un individu dans sa prise de décision le prive de son autonomie.

Sunstein (2016) a tenté de répondre à cette critique en proposant de considérer différents degrés de manipulation. L'auteur considère qu'une action manipule un individu dès lors que l'individu ne peut pas exercer *suffisamment* sa capacité à la réflexion et à la délibération. Sunstein souligne l'importance de l'adverbe "suffisamment" car cela laisse la place à une certaine ouverture dans les interprétations. D'où l'idée de degrés de manipulation. La publicité subliminale est un cas concret de manipulation, alors que les indications visuelles pour indiquer la possible traversée de cerfs sur la route n'en relève pas. Par ailleurs, dans leur ouvrage, Thaler et Sunstein (2009) défendent l'idée qu'un *nudge* devrait être mis en place s'il respecte le principe de publicité de Rawls. Selon ce principe, toute politique devrait être considérée seulement si les décideurs publics pourraient la défendre auprès des citoyens.

Sunstein discute également les points les plus litigieux concernant la manipulation, et rejoint Bovens (2012) dans la mesure où la manipulation prive les individus de leur

autonomie dans leur processus de décision. De plus, la manipulation prive les individus de leur dignité car se faire manipuler peut être humiliant.

De manière générale, Hansen et Jespersen (2013) expliquent qu'il n'est pas possible d'affirmer que tous les *nudges* relèvent de la manipulation. Ils proposent de différencier les *nudges* selon qu'ils ont un impact sur le Système 1 ou le Système 2, ainsi que selon leur transparence, à savoir la possibilité pour les individus de se rendre compte si un tel instrument incitatif est mis en place. Un *nudge* qui a un impact sur le Système 1 va influencer le *comportement* de l'individu, c'est-à-dire la manière dont l'individu va agir. Lorsque c'est le Système 2 qui réagit au *nudge*, alors c'est le *choix* de l'individu qui est influencé. La distinction entre *choix* et *comportement* est importante, car pour le second terme, il n'y a pas nécessairement la possibilité de choisir.⁴³ Ces éléments sont résumés dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1: Classement des *nudges* selon le Système et la transparence

	Transparent	Non-transparent
Système 2	Facilitation transparente d'un choix consistant	Manipulation du choix
Système 1	Influence transparente (manipulation technique du comportement)	Manipulation non-transparente du comportement

Adapté de Hansen et Jespersen (2013)

Pour Hansen et Jespersen, les *nudges* transparents basés sur une réaction du Système 2, sont les *nudges* les plus éthiques car ils maintiennent la liberté de choix, et aident les individus à prendre de meilleures décisions. Ce sont des "*nudges libertariens*". Un exemple est le fait d'afficher les calories sur les emballages des produits alimentaires. Un individu peut décider de ne pas acheter un produit donné car le nombre de calories est trop important. Cependant, rien n'empêche d'acheter tout de même ce produit.

Les *nudges* transparents basés sur une réaction du Système 1 ne sont également pas considérés comme des instruments qui manipulent les individus, mais plutôt qui les influencent. En effet, dès lors que l'action est transparente (donc identifiable), cela ne relève pas de la manipulation pour les auteurs. L'action de jouer de la musique dans les avions avant le décollage relève de cette catégorie. L'objectif est de relaxer le système automatique.

Les *nudges* des deux autres catégories sont ceux posant le plus de problèmes d'éthique car ils relèvent de la manipulation. Dans la catégorisation établie par Hansen et Jespersen,

43. Dupouey (2006) précise : "Un comportement n'a même pas besoin de répondre à des intentions conscientes de la part de celui qui l'adopte" (p. 86).

les *nudges* non-transparents fondés sur une réaction du Système 2 sont qualifiés d'actions paternalistes. Ils relèvent d'une manipulation psychologique du choix. L'utilisation d'actions subliminales en est un exemple. Les *nudges* non-transparents basés sur une réaction du Système 1 manipulent le comportement : les individus adaptent ce dernier, pas nécessairement de manière consciente. Un exemple est le fait de changer la disposition des aliments dans les cafétérias, en plaçant les légumes avant les viandes, de façon à ce que ces derniers soient moins souvent choisis.

Au vue de ces différentes considérations, lorsque nous analysons l'éthique des *nudges*, il semble ainsi nécessaire d'adopter une classification telle que celle proposée par Hansen et Jespersen (2013). Tous les *nudges* ne relèvent pas de la manipulation, mais tous ne permettent pas de préserver la liberté de choix.

Dans cette thèse, nous proposons dans les chapitres suivants la mise en place d'un *nudge* prenant la forme de la provision d'une information. *A priori*, un tel *nudge* est transparent (les individus perçoivent qu'un message leur est transmis), et s'appuie sur une réponse du Système 2, car l'individu doit ensuite choisir de manière active en prenant en compte, ou non, l'information transmise. Selon la classification établie par Hansen et Jespersen (2013), notre *nudge* semble ainsi relever de ceux étant les plus éthiques (qui facilitent de manière transparente le choix des individus).

Nous considérons maintenant les critiques à l'égard du principe de paternalisme libéral.

Une approche trop paternaliste ?

Nous avons vu dans la deuxième section que l'esprit des *nudges* reposait sur le principe du paternalisme libéral. Suite à la publication de l'article de Thaler et Sunstein (2003), Mitchell (2005) a contredit ce principe. Pour lui, cette expression est un oxymore. En effet, si, comme l'affirment Thaler et Sunstein, les individus prennent de mauvaises décisions pour leur bien-être à cause de leurs préférences qui ne sont pas correctement définies (en particulier, du fait de biais psychologiques), et que le recours au paternalisme est nécessaire, alors le principe même des libertariens est remis en cause. Pour ces derniers, les individus sont les seuls juges de ce qui est bon pour eux. Ainsi, contrairement aux propos avancés par Thaler et Sunstein, le paternalisme est évitable pour Mitchell. En effet, dès lors que les individus arrivent à s'extraire des influences irrationnelles (en étant suffisamment informés par exemple), le paternalisme libéral n'est pas nécessaire car les individus peuvent choisir ce qui leur convient le mieux par eux-mêmes.

Par ailleurs, l'objectif du paternalisme libéral est d'améliorer le bien-être des indivi-

dus. Un moyen pour y parvenir est d'utiliser les biais psychologiques. Pour la doctrine libertarienne, l'objectif en soi n'est pas le bien-être, mais la *liberté* des individus. Ainsi, les seules interventions paternalistes qui pourraient être acceptées par les libertariens sont celles permettant aux individus de ne plus être biaisés (*debiasing* en anglais), ou alors celles permettant de redonner de la liberté aux individus. Utiliser les biais psychologiques des individus ne permet pas de les libérer de ces derniers.

L'idée de Mitchell (2005) est similaire à celle de Schnellenbach (2012). Pour ce dernier, les bases du paternalisme libéral, telles que définies par Thaler et Sunstein (2009), ne sont pas bonnes car elles ne prennent pas en compte l'hétérogénéité des préférences. L'auteur prend l'exemple du taux d'obésité aux États-Unis qui a progressé ces dernières années, pouvant ainsi avoir des conséquences en termes de coûts en dépenses de santé. Schnellenbach pose alors la question de savoir quel est le taux optimal d'obésité. Pour l'auteur, les politiques paternalistes ne s'intéresseraient qu'au taux d'obésité, et négligeraient les aspects liés au bien-être des individus.

Notons enfin que la mesure du bien-être peut se révéler difficile dans le cadre d'une politique paternaliste, comme l'ont souligné Croson et Treich (2014). De fait, le problème est que le bien-être est souvent mesuré selon les décisions des individus (selon le principe des préférences révélées). Cependant, nous venons de voir que certains *nudges* paternalistes peuvent manipuler les individus, qui ne choisissent plus par eux-mêmes. De plus, Croson et Treich rappellent que le régulateur peut, lui également, être biaisé dans son processus de décision, ce qui peut avoir un impact sur le bien-être.

D'après les différents points de vue que nous venons de voir, il semble ainsi nécessaire, du point de vue des décideurs publics, de sélectionner correctement le *nudge*, et d'anticiper au mieux ses effets sur le bien-être. D'où la nécessité de modèles théoriques, comme celui que nous proposons dans le chapitre suivant, pour essayer de prédire le comportement des agents économiques.

Comme pour la question de la manipulation que nous venons de traiter, Sunstein (2013) appelle cependant à nuancer ces propos. A nouveau, l'auteur utilise l'argument de la présence d'*imperfections de marché comportementales*, comprenant les erreurs de jugements et biais que nous avons évoqués plus haut, pour justifier le paternalisme libéral et, par extension, la mise en place des *nudges*. En particulier, Sunstein parle de "*paternalisme doux*" pour désigner le paternalisme libéral, qu'il oppose au "*paternalisme dur*". Ce dernier ne permet pas de préserver la liberté de choix.

La critique principale concernant le paternalisme libéral semble ainsi venir d'une différence de point de vue. Pour Thaler et Sunstein, l'objectif est d'améliorer le bien-être, alors que pour d'autres auteurs (Mitchell (2005), Schnellenbach (2012)) ce principe ne tient pas car il ne respecte pas la liberté des individus. Nous étudions maintenant en quoi il paraît nécessaire d'encadrer juridiquement la mise en place des *nudges*.

1.4.2 La nécessité d'un cadre juridique

Avec les différents problèmes soulevés dans la sous-section précédente, plusieurs auteurs ont rapidement mis en avant la nécessité de mettre en place un cadre juridique afin d'encadrer les mises en place des *nudges* (Lepenies et Malecka (2015), van Aaken (2015)).

Nous avons vu que certains *nudges* reposaient sur l'utilisation de biais humains, et ces derniers pourraient être mis en avant pour justifier, injustement, la mise en place de politiques paternalistes. Ainsi, des *nudges* pourraient être mis en place pour d'autres raisons que celle du bien-être collectif.

Si les actions coercitives peuvent facilement être contestées d'un point de vue légal, il en est autrement pour ce type d'intervention. Pour Lepenies et Malecka (2015), l'un des principes des *nudges* est d'être invisible auprès des agents qui sont ciblés par cet instrument. De plus, et c'est le point principal abordé par les auteurs, à l'exception des options par défaut, les *nudges* n'ont pas d'existence juridique.⁴⁴ Ainsi, si un *nudge* est mis en place pour une raison autre qu'améliorer le bien-être collectif, les individus ne sont pas protégés juridiquement.

Lepenies et Malecka proposent de compléter la mise en place des *nudges* par des normes légales. Dans le cas de l'utilisation des images sur les paquets de cigarettes pour décourager les fumeurs, les individus sensibles à ces images et qui décident de ne pas acheter le paquet de cigarettes, réagissent au *nudge*. Par contre, ils ne réagissent pas à la loi qui impose aux fabricants d'apposer ces images pour des raisons de santé publique. Ce n'est pas la loi qui conduit les individus à moins fumer, mais le *nudge* (les images). Le régulateur peut contrôler la loi, mais non la réaction des individus à ces images. Ainsi, pour éviter des usages abusifs, les auteurs suggèrent de compléter l'utilisation de ces images par la référence à la loi qui impose leur utilisation. Dans un sens, cette proposition se rapproche du principe de publicité mentionné par Thaler et Sunstein (2009) pour défendre la mise en place des *nudges*. Cependant Lepenies et Malecka concèdent que justifier l'utilisation

44. Lepenies et Malecka expliquent que "Elles [les options par défaut] existent en particulier dans le droit contractuel, pour réguler les relations, les droits et les obligations lors d'accords contractuels entre les parties dans une direction régie par la loi" (traduction de la p. 434)

des images par une référence à la loi pourrait nuire à l'efficacité du *nudge*. Les individus pourraient y voir davantage l'obligation légale derrière l'utilisation de ces images, plutôt que le soutien pour les aider à réduire leur consommation de cigarettes.

Afin de rendre l'utilisation des *nudges* légitime et transparente, van Aaken (2015) propose que la mise en place d'une telle incitation réponde à l'article 52 de la Charte des droits fondamentaux de l'Union européenne :

*"Dans le respect du principe de proportionnalité, des limitations ne peuvent être apportées que si elles sont nécessaires et répondent effectivement à des objectifs d'intérêt général reconnus par l'Union ou au besoin de protection des droits et libertés d'autrui."*⁴⁵

Ainsi, la mise en place d'un *nudge* doit répondre à quatre principes. Elle doit répondre à un but légitime, être jugée nécessaire, adaptée et proportionnelle à l'externalité rencontrée. Cependant, tout comme pour Lepenies et Malecka (2015), un contre-argument est que la réaction à un *nudge* ne peut être contrôlée. Par conséquent, nous ne pouvons, *a priori*, déterminer si la réaction au *nudge* va être proportionnelle à l'externalité rencontrée.

Ces questions autour de l'éthique et de la protection des droits invitent ainsi à poursuivre la recherche effectuée autour des *nudges*, en particulier afin d'être en mesure de pouvoir prédire, dans la mesure du possible, les effets de ces derniers sur les agents économiques.

1.4.3 De l'hétérogénéité des préférences à l'hétérogénéité des perceptions des *nudges*

Jusqu'à présent nous avons analysé les différents résultats des *nudges* sur le terrain. Ces derniers sont mis en place pour un ensemble donné d'individus.

Barton et Grüne-Yanoff (2015) mettent en avant que les agents économiques diffèrent dans leurs préférences. De ce fait, la mise en place d'un *nudge* donné pourrait n'affecter qu'une partie des agents partageant les mêmes préférences. Pour Heilmann (2014), dans le cas où le *nudge* mis en place incite les individus à agir dans une direction donnée opposée à leurs préférences, le *nudge* peut induire un conflit interne pour l'individu, ce qui peut causer des coûts moraux pour ce dernier. Cela pose ainsi des problèmes en termes de bien-être.

Nous avons vu que Farhi et Gabaix (2015) ont considéré dans leur modèle une hétérogénéité des individus dans la manière dont ils peuvent réagir à un *nudge* donné. Dans

45. Voir <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:12012P/TXT>

le chapitre suivant, nous proposons également la prise en compte de l'hétérogénéité des préférences dans la réaction au *nudge*.

L'hétérogénéité des préférences peut en partie expliquer l'hétérogénéité des perceptions des agents économiques concernant les *nudges*. Jung et Mellers (2016) analysent la perception d'américains sur les *nudges* (selon leur type), et dressent le portrait de ceux étant les plus disposés à supporter ces instruments non monétaires. Les auteurs font la distinction entre les *nudges* s'appuyant sur le Système 1 (le système automatique), comme les options par défaut, et les *nudges* s'appuyant sur le Système 2 (le système réflexif), comme la diffusion d'informations. Au total, 2050 sujets ont été recrutés (sur deux études) pour analyser 13 *nudges* différents (options par défaut dans plusieurs domaines, informations visuelles, diffusions d'informations, etc.), ainsi que pour établir le profil des sujets. Ces derniers devaient évaluer les différents *nudges*, dans les différentes situations (santé, finance, sécurité routière, etc.). Seuls 3 des 10 *nudges* proposés n'ont pas été soutenus par les sujets : le don d'organe par défaut, l'utilisation de bandes sur la route qui se rapprochent pour réduire la vitesse, ainsi que les dons en un clic sur internet.

Les *nudges* fondés sur une réaction du Système 1 ont généralement été perçus comme ceux étant les plus paternalistes, par comparaison avec ceux fondés sur une réaction du Système 2. Par exemple, dans la première étude, 83% des sujets ont supporté la diffusion d'informations concernant les plans d'épargne retraite, et 33% ont supporté la mise en place d'options par défaut pour le don d'organe.

Par ailleurs, les individus dits *empathiques* sont ceux qui perçoivent les *nudges* comme étant de bons objectifs à atteindre. Une raison étant que ces individus pensent que ces instruments sont utiles pour les gouvernements afin que les agents prennent de meilleures décisions. En revanche, les individus dits *individualistes* étaient davantage opposés à ce type d'instruments, ces derniers étant considérés comme non nécessaires, ou délivrant le mauvais message.

Dans une autre étude, Reisch et Sunstein (2016) étudient la perception qu'ont des citoyens européens (Danemark, France, Allemagne, Hongrie, Italie et Grande-Bretagne) par rapport à différents *nudges* (campagnes d'éducation et d'information, utilisation d'options par défaut, publicité subliminale). Les résultats obtenus par Reisch et Sunstein sont similaires à ceux obtenus par Jung et Mellers (2016). Les *nudges* relevant des campagnes d'éducation, c'est-à-dire ceux étant, *a priori*, les moins intrusifs, sont supportés en moyenne par 76.9% des citoyens européens. Les interventions relevant de la publicité subliminale, c'est-à-dire celles étant les plus intrusives, sont supportées par 57.5% des citoyens euro-

péens. Une explication donnée par les auteurs est qu'un *nudge* perçu comme légitime et en accord avec les valeurs de la plupart de la population, est supporté par les individus. Nous retrouvons ainsi cette idée qu'un *nudge* ne peut pas correspondre aux préférences de tout le monde, car celles-ci sont hétérogènes.

La perception qu'ont les individus concernant les *nudges* dépend ainsi du type d'incitation mis en place. Il semble ainsi possible de pouvoir mettre en place certains de ces instruments avec le soutien d'une large majorité des individus.

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons établi un état des lieux de l'ensemble des instruments de marché existant en économie, et nous avons analysé leur mise en place. Nous avons vu que, bien que ces instruments soient efficaces s'ils sont correctement calibrés, ils peuvent parfois être difficiles à mettre en place (notamment à cause d'une mauvaise acceptabilité sociale).

Avec la reconnaissance de ces inconvénients, les instruments de régulation de troisième phase ont vu le jour à partir des années 1990. Les *nudges* s'inscrivent dans cette lignée. Dans la deuxième section, nous avons proposé une définition de cet instrument, après avoir rappelé le principe du paternalisme libéral. Suite à la publication de l'ouvrage de Thaler et Sunstein (2009), de nombreux chercheurs en psychologie et en économie ont testé l'effet des *nudges* à l'aide d'expériences de terrain.

Les résultats obtenus semblent encourageants, et l'acceptation par le public paraît meilleure que pour les instruments de régulation traditionnels (en particulier les taxes et les subventions). Il convient cependant de ne pas négliger le fait que ces instruments ne sont pas nécessairement éthiques. En effet, nous avons vu que certains *nudges* pouvaient relever de la manipulation. En revanche, nous avons également souligné l'importance de distinguer les *nudges* selon qu'ils font réagir le Système 1 ou le Système 2, pour pouvoir établir leur degré de manipulation. Enfin, un cadre juridique concernant la mise en place de ces instruments semble nécessaire au vu de ces critiques.

Dans le chapitre suivant, nous proposons une manière de modéliser la réaction à un *nudge* relevant de l'annonce de la contribution socialement optimale. Contrairement aux modèles présentés dans ce chapitre, nous tenons compte de la qualité environnementale ainsi que de la sensibilité environnementale des individus. L'hypothèse est que la réaction marginale au *nudge* dépend de la sensibilité environnementale. Nous avons mis en évidence

que cette sensibilité peut être mesurée à l'aide de questionnaires psychologiques. Les prédictions théoriques obtenues seront testées expérimentalement dans le troisième chapitre.

Chapitre 2

Les incitations environnementales : *nudge* ou taxe ? ¹

Nous avons vu dans le premier chapitre que peu de modèles existent afin de modéliser la mise en place d'un *nudge*. Une raison en est que la notion de *nudge* recouvre une multitude d'instruments différents (informations textuelles ou visuelles, options par défaut, simplification, effet de présentation, etc.). Carroll *et al.* (2009) et Goldin et Lawson (2016) ont modélisé l'utilisation des options par défaut. Nous ne considérons pas cet instrument dans cette thèse. Farhi et Gabaix (2015) ont proposé deux modélisations pour des *nudges* relevant de campagnes d'information, ainsi que des ancrages, afin de réduire la consommation d'un bien. La première modélisation prend la forme d'une taxe psychologique, alors que la deuxième modélisation prend la forme d'une pénalité psychologique par rapport à la distance avec l'ancrage. Nous adoptons une démarche proche de cette seconde modélisation, mais contrairement à Farhi et Gabaix, la réaction au *nudge* que nous proposons n'apparaît pas dans la contrainte budgétaire. ²

Dans ce chapitre, un modèle de contribution volontaire à la qualité environnementale est proposé, dans le même esprit, pour certains aspects, que ceux établis par Etner *et al.* (2007, 2009) et Salanié et Treich (2009). Les agents économiques considérés sont hétérogènes concernant leur perception du risque : nos individus sont plus ou moins optimistes concernant le risque de pollution. Les travaux des psychologues (Slovic *et al.* (1980), Slovic (1987), Kraus *et al.* (1992)) ont mis en évidence le fait que les individus n'ont pas nécessairement la même perception des risques que le régulateur (gouvernement, experts, etc.).

1. Ce chapitre a donné lieu au document de travail BETA 2016-23 (Ouvrard et Spaeter (2016)).

2. Farhi et Gabaix précisent que ce n'est pas la véritable contrainte budgétaire qui est modifiée, mais plutôt la contrainte budgétaire *perçue* par les agents économiques.

Une raison avancée par Slovic (1987) est que les experts se servent d'outils et de techniques pour évaluer les risques, alors que les individus se servent de leur jugement. Une deuxième raison pour expliquer cette différence dans la perception des risques, est que les individus n'ont pas confiance dans les experts ou le gouvernement (Siegrist et Cvetkovich (2000), Slovic (2003), Wachinger *et al.* (2013)). Dans notre modèle, nous expliquons la différence de perception du risque entre les individus et le régulateur par cette deuxième raison. En 2005, 31% des Européens déclaraient avoir confiance dans leur gouvernement national, et 24% pour les Français (rapport de l'Eurobaromètre (2005)). En 2015, la proportion des Européens déclarant avoir confiance dans leur gouvernement national n'a pas évolué (31%). En revanche, cette proportion est passée à 19% pour les Français (rapport de l'Eurobaromètre (2015)). Nous considérons uniquement des individus optimistes (qui sous-estiment les probabilités de fortes pertes et sur-estiment celles de faibles pertes) car ce sont ceux qui, *a priori*, contribuent le moins à la qualité environnementale.

Contrairement à Etner *et al.* (2007, 2009) et Salanié et Treich (2009), nous considérons également des agents hétérogènes dans leur sensibilité environnementale, c'est-à-dire leurs convictions personnelles concernant l'environnement ou leur vulnérabilité à la pollution. Nous pouvons préciser comment l'éducation et la vulnérabilité physique peuvent participer au façonnement de la sensibilité environnementale. Alix-Garcia (2007) propose une étude de la déforestation au Mexique sur 318 parcelles de terres. L'auteur montre que les principaux facteurs expliquant la déforestation sont la qualité et la location des parcelles, ainsi que leur valeur. Au contraire, les facteurs liés à la communauté gérant la parcelle peuvent expliquer une plus faible déforestation, comme une faible taille de la communauté et une éducation secondaire élevée. Dans une autre étude, Kumar *et al.* (2003) expliquent que les ampoules à économie d'énergie sont peu achetées en Inde, bien qu'elles permettent d'éclairer aussi bien que les ampoules incandescentes, mais en usant moins d'énergie. Les auteurs mettent en avant le rôle de l'éducation et des démonstrations, en plus de la participation des industries et des décideurs publics, afin de populariser ces ampoules. Concernant la vulnérabilité physique, la pollution de l'air peut avoir des conséquences sur la santé des individus (pneumonie, cancer du poumon, etc.), ce qui peut expliquer pourquoi certains individus ne peuvent pas vivre dans des villes trop polluées.

Il semble nécessaire de prendre en compte la sensibilité environnementale, car cette dernière peut aider à expliquer les comportements des agents économiques. Dans leur modèle, Kotchen et Moore (2008) considèrent des conservateurs de l'environnement (qui ressentent de la culpabilité lorsqu'ils consomment de l'électricité conventionnelle) et des

non-conservateurs. A l'aide d'une étude empirique, Kotchen et Moore montrent que les conservateurs consomment 10% d'électricité en moins que les non-conservateurs, et participent plus souvent à des programmes d'électricité verte. Dans une autre étude, Kahn (2007) a montré que des écologistes californiens utilisaient plus fréquemment les transports "verts" (comme des véhicules hybrides) que la plupart des consommateurs californiens. De ce fait, il semble que considérer une hétérogénéité individuelle à travers différents niveaux de sensibilité soit une hypothèse raisonnable.

Dans un premier temps, nous montrons que tous nos agents, quelles que soient leur perception du risque et leur sensibilité environnementale, sous-contribuent par rapport à l'optimum social. Pour augmenter le niveau des contributions individuelles, deux instruments incitatifs sont considérés : une taxe (portant sur la différence entre le niveau optimal de contribution et le niveau individuel de contribution de l'agent considéré) et un *nudge* (annonce de la contribution optimale). Depuis les travaux de Plott (1966) et Baumol (1972) sur la taxe pigouvienne, formaliser (mathématiquement) une taxe afin de corriger une externalité est courant en économie. En revanche, la formalisation de la réaction à un *nudge* est plus récente (Farhi et Gabaix (2015)). Dans ce chapitre, nous proposons une telle formalisation. En plus de la prise en compte de la sensibilité environnementale des agents, cette formalisation de la réaction à un *nudge* constitue l'apport principal de ce chapitre.

Dans la section 1, nous commençons par présenter, de manière succincte, les modèles développés en Économie de l'environnement de contribution à la qualité environnementale, avec prise en compte de la perception du risque. Nous détaillons notre modèle de base dans la section 2, et nous considérons la mise en place d'une taxe pour augmenter le niveau des contributions individuelles. Dans la section 3, nous présentons la manière dont nous avons modélisé la réaction au *nudge* que nous proposons (annonce de la contribution socialement optimale), et nous comparons son efficacité avec celle de la taxe. Nous illustrons nos résultats par des exemples paramétrés dans la section 4. La section 5 conclut ce chapitre.

2.1 Les modèles de contributions volontaires à la qualité environnementale

Jusqu'à présent, les différences de contribution dans un bien public (comme la qualité environnementale dans notre cas) étaient expliquées par des différences dans la perception du risque des agents. Dans cette section, nous allons présenter les principaux modèles qui ont participé à l'élaboration du modèle présenté dans ce chapitre.

Etner *et al.* (2007) proposent un modèle de contribution volontaire pour améliorer la qualité environnementale. Le niveau de pollution est aléatoire. Plus précisément, la variable définissant le niveau de pollution (notée b) suit une loi uniforme continue (avec $F(b)$ la fonction de distribution, et $f(b)$ sa fonction de densité). Etner *et al.* se distinguent de Jouvét *et al.* (2000) dans le sens où les agents sont hétérogènes concernant leur perception du risque : les *pessimistes* sous-estiment les probabilités d'apparition des bons états de la nature, et sur-estiment celles d'apparition des mauvais états de la nature ; et inversement pour les *optimistes*. Pour modéliser cette hétérogénéité, un modèle d'utilité dépendant du rang est utilisé (Quiggin (1982)). La distribution des probabilités est transformée (par une fonction de transformation).

Afin de donner un peu d'intuition, notons p la probabilité d'un niveau de pollution faible, et $1 - p$ la probabilité d'un niveau élevé de pollution ($p \in [0; 1]$). Notons également $H(\cdot)$ la fonction de transformation des probabilités (correspondant à une probabilité subjective).³ Ainsi, les *pessimistes* sous-évaluent la probabilité du niveau de pollution faible ($p \geq H(p)$) et sur-évaluent la probabilité du niveau de pollution élevé ($1 - p \leq H(1 - p)$).⁴ Etner *et al.* montrent que, quelle que soit la perception du risque des individus, tous sous-contribuent par rapport à l'optimum social. Ceci vient du fait que les individus ne prennent pas en compte l'impact de leurs contributions dans le bénéfice des autres individus, lorsqu'ils calculent leur solution privée. Néanmoins, les pessimistes contribuent plus que les optimistes.

Dans un autre article, Etner *et al.* (2009) considèrent un modèle similaire. Ils montrent que des effets de revenu peuvent intervenir. En particulier, si le niveau de revenu est trop bas, les agents économiques peuvent ne pas contribuer pour améliorer la qualité environnementale. Un deuxième effet est à considérer : celui qui est lié au bien-être de l'individu. Si celui-ci juge le niveau de la qualité environnementale suffisant alors, à nouveau, il peut décider de ne pas contribuer. Ces deux effets sont indépendants de l'incertitude provenant du niveau de pollution. Plus important encore, Etner *et al.* démontrent que c'est l'attitude par rapport au risque d'un individu qui va déterminer son choix de contribuer. En particulier, si le risque environnemental augmente, alors plus l'individu est averse au risque, plus sa contribution pour améliorer la qualité environnementale augmentera. En effet, l'individu cherchera à se protéger. De même, les auteurs montrent que, comme dans Etner *et al.* (2007), les pessimistes vont contribuer davantage que les optimistes. Des agents riches pourraient ne pas contribuer s'ils étaient également optimistes concernant le risque de pol-

3. Cette notation sera gardée dans le modèle présenté dans la section suivante.

4. Et inversement pour les optimistes.

lution, alors que des agents qui seraient plus pauvres pourraient contribuer s'ils étaient pessimistes concernant le risque de pollution.

Etner *et al.* (2007, 2009) ne considèrent pas l'effet de la sensibilité environnementale des individus dans la décision de contribuer pour améliorer la qualité de l'environnement. Dans le modèle présenté dans la section suivante, nous complétons leur modèle en intégrant cette sensibilité. Nous considérons également la mise en place d'un *nudge* pour augmenter le niveau des contributions individuelles.

Salanié et Treich (2009) considèrent également un modèle dans lequel les agents économiques peuvent être optimistes ou pessimistes concernant un risque de pollution de l'eau. En particulier, ces agents économiques vivent dans une ville appelée *Happyville*. Dans cette ville, les citoyens sont convaincus que l'eau est polluée, alors que les experts certifient qu'elle ne l'est pas. Salanié et Treich s'éloignent des travaux d'Etner *et al.* (2007, 2009) car ils considèrent un modèle d'utilité espérée à la von-Neuman et Morgenstern. De plus, ils s'intéressent au niveau d'investissement adopté par le régulateur. Ce dernier peut être *populiste* (il adopte les croyances - optimistes et/ou pessimistes - des citoyens dans son programme de maximisation du bien-être social) ou *paternaliste* (il considère ses propres croyances pour maximiser le bien-être social). Salanié et Treich montrent que lorsque la consommation de l'eau est exogène, alors l'approche par un régulateur populiste peut conduire à une sur-régulation. Concernant un régulateur paternaliste (qui considère ses propres croyances), sa décision ne sera pas affectée par les croyances des citoyens. En revanche, lorsque la consommation de l'eau est endogène, le régulateur populiste va sous-réguler lorsque les citoyens ont des croyances optimistes concernant la pollution de l'eau, alors que le régulateur paternaliste pourrait sur-réguler.

Enfin, Jeleva et Rossignol (2009) proposent un modèle de politique économique, dans lequel ils considèrent le niveau de méfiance des agents économiques vis-à-vis des caractéristiques du risque annoncée par le gouvernement, ainsi que leur pessimisme.⁵ Les auteurs montrent que le niveau de réduction du risque⁶ effectué par le gouvernement, augmente avec sa probabilité d'occurrence, et est une fonction décroissante du niveau de méfiance des

5. Pour Jeleva et Rossignol, le fait que les individus ne perçoivent pas la même distribution du risque de perte peut s'expliquer par deux raisons. La première raison concerne les risques nouveaux, pour lesquels les experts pourraient ne pas s'accorder sur les probabilités de catastrophe. De ce fait, les individus pourraient ne pas savoir quelle probabilité considérer. La deuxième raison est que les individus pourraient ne pas avoir confiance dans le gouvernement.

6. Jeleva et Rossignol (2009) distinguent l'*auto-protection* de l'*auto-assurance*. L'*auto-protection* concerne les mesures prises pour réduire la probabilité d'occurrence du risque, alors que l'*auto-assurance* concerne les mesures prises pour réduire la perte moyenne si le dommage se produit. Étant donné que les auteurs considèrent une fonction d'utilité additivement séparable, ces deux notions sont équivalentes (une réduction du risque réduira la probabilité d'occurrence et le dommage potentiel).

agents économiques. Jeleva et Rossignol suggèrent ainsi que les gouvernements devraient chercher à restaurer la confiance, avant de réduire le risque pour améliorer cette dernière.

2.2 Prédictions théoriques avec mise en place d'incitations monétaires

Dans cette section, nous présentons un modèle dans lequel les individus peuvent volontairement, et financièrement, contribuer afin d'améliorer la qualité environnementale. Dans un premier temps, nous présentons le modèle de base sans incitation. Puis, nous considérons la mise en place d'une taxe afin d'augmenter le niveau des contributions. De manière générale, les individus sont plus ou moins optimistes concernant l'annonce sur le niveau du risque de pollution faite par le régulateur. Ces individus sont également plus ou moins sensibles (psychologiquement et/ou physiquement) à la qualité environnementale.

2.2.1 Modèle de base avec distorsion des probabilités

Nous présentons d'abord le modèle avec les différentes hypothèses que nous considérons. Nous nous tournerons ensuite vers l'analyse des optima privés, et nous les comparerons avec les optima sociaux.

Hypothèses

Considérons une économie avec une population fixe. Les agents économiques font face à un niveau agrégé de pollution (mal public) dû à l'activité humaine. Ces agents peuvent volontairement contribuer afin d'améliorer la qualité environnementale. Le niveau de pollution aléatoire, $\tilde{P}$, de la période en cours est donné par

$$\tilde{P} = \tilde{e}Y - b(A)$$

où $\tilde{e}Y$ désigne la pollution provenant de la production actuelle Y . $\tilde{e}$ est une variable aléatoire dont les valeurs appartiennent à l'intervalle $[\underline{e}; \bar{e}]$, avec $\underline{e} \geq 0$ et $\bar{e} \leq 1$. Par simplicité pour la suite du modèle, nous allons supposer que $\tilde{e}$ est uniformément distribué, $F(.)$ étant la fonction de distribution et $f(.)$ sa densité. $A = \sum_i a_{j,k}$ représente la somme des contributions individuelles, avec chaque individu i choisissant son niveau de contribution $a_{j,k}$ de manière non coopérative. La fonction $b(A)$, avec $b'(A) > 0$ et $b''(A) < 0$, représente le bénéfice public lié à la réduction du niveau de pollution grâce aux contributions volontaires.

Chaque individu subit une désutilité liée à la pollution, formalisée par la fonction de désutilité $d(\tilde{P}, s^j)$. Cette fonction est croissante et convexe en $\tilde{P} : 0 < d_P < +\infty$ et $d_{PP} \geq 0$. Dans notre modèle, la désutilité liée à un certain niveau de pollution P peut différer d'un individu à un autre car les individus peuvent diverger dans leur sensibilité environnementale, capturée par la variable qualitative s^j . Pour chaque agent, la variable s^j peut prendre l'une des deux valeurs possibles : $s^j \in \{s^l; s^h\}$, avec $s^h > s^l$. Ainsi, s^h représente la sensibilité d'un individu très sensible à l'environnement, et s^l celle d'un individu peu sensible à l'environnement. Cette sensibilité peut représenter une vulnérabilité physique liée à la pollution (maladie respiratoire, etc.), des sentiments, des convictions personnelles portant sur des considérations environnementales, etc. De ce fait, deux agents faisant face au même niveau de pollution P ne supporteront pas la même désutilité. L'agent le plus sensible des deux aura une plus grande désutilité marginale liée à la pollution : $d_{P s^j} > 0$. Enfin, supposons que la sensibilité n'a qu'un impact de premier ordre sur la désutilité marginale liée à la pollution : $d_{P P s^j} = 0$.

Les individus sont également hétérogènes dans leur perception du risque de pollution. Pour simplifier, considérons deux types d'individus concernant la perception du risque, les deux étant optimistes concernant le risque de pollution annoncé par le régulateur (ou par des experts). Un individu optimiste sur-évalue toujours la probabilité d'avoir affaire à un niveau de pollution plus faible qu'un certain niveau, quel que soit ce niveau. Les individus diffèrent selon leur type, $\theta^k = \{\theta^O; \theta^o\}$, avec $\theta^O < \theta^o \leq 1$. Le type θ^O représente un individu très optimiste, alors que le type θ^o représente un individu peu optimiste concernant la distribution du risque de pollution annoncée par le régulateur. La borne supérieure 1 représente un individu qui a entièrement confiance dans les informations du régulateur, et ne les transforme pas. Pour formaliser cette hétérogénéité dans la perception du risque, notons $H(F(e), \theta^k)$ la fonction de transformation des probabilités d'un individu du type θ^k . La fonction $H(.,.)$ satisfait les propriétés suivantes :

$$\begin{aligned}
 (i) \quad & H(F(\bar{e}), \theta^k) = F(\bar{e}) = 1, \quad \forall \theta^k \\
 (ii) \quad & H(F(\underline{e}), \theta^k) = F(\underline{e}) = 0, \quad \forall \theta^k \\
 (iii) \quad & \frac{dH}{de} = \frac{\partial H}{\partial F} \cdot F'(e) > 0 \quad \text{et} \quad \frac{d^2 H}{de^2} < 0, \quad \forall e \in]\underline{e}, \bar{e}[
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Le type θ^O étant plus optimiste que le type θ^o , il sur-évalue davantage les probabilités d'avoir à supporter un niveau de pollution qui est inférieur à un certain niveau. De ce fait,

nous avons

$$H(F(e), \theta^O) \geq H(F(e), \theta^o) \geq F(e) \text{ avec } \theta^O < \theta^o \leq 1 \text{ et } \forall e,$$

avec au moins une inégalité stricte pour chaque relation. Cette propriété correspond à la dominance de premier ordre : $F(\cdot)$ domine $H(\cdot)$.

Un exemple de fonction $H(\cdot)$ satisfaisant les propriétés précédentes est :

$$H[F(e), \theta^k] = \left(\frac{\bar{e}}{e}\right)^{1-\theta^k} \times F(e)$$

avec $\bar{e} > 0$, et θ^k le degré de distorsion. Plus θ^k est élevé, moins la distorsion par l'agent k de la fonction objective $F(e)$ est forte. D'autres fonctions admissibles existent dans la littérature, comme la fonction log-linéaire (Wu et Gonzalez (1999)) initialement proposée par Lattimore *et al.* (1992) avec le paramètre contrôlant la courbure égal à 1 (c'est-à-dire le point contrôlant la convexité/concavité de la fonction), et le paramètre contrôlant le point d'inflexion supérieur à 1. De même, Prelec (1998) a proposé une fonction admissible avec le paramètre contrôlant la courbure égal à 1, et l'anti-index de pessimisme entre 0 et 1.

Avant de poursuivre la description du modèle, il convient de bien clarifier la différence entre la perception du risque et la sensibilité environnementale. Nous considérons la perception du risque comme un indicateur du niveau de confiance⁷ des individus par rapport aux informations qu'ils ont reçues du régulateur concernant la distribution $F(e)$. Ceci est modélisé par la fonction $H(\cdot, \cdot)$. Le degré de confiance d'un individu donné peut différer selon la source (gouvernement, experts, organisation à but non lucratif, etc.).⁸ En revanche, la sensibilité à l'environnement est un concept différent de la perception du risque telle que nous venons de la définir : la variable qualitative s^j est une caractéristique intrinsèque aux préférences des individus, et ne dépend pas d'un tiers. Cette variable caractérise l'impact de la pollution sur le bien-être physique et/ou psychologique des individus. En introduction de ce chapitre, nous avons mis en avant le rôle de l'éducation (Alix-Garcia (2007), Kumar *et al.* (2003)) et de la vulnérabilité physique dans le façonnement de cette sensibi-

7. Sinclair-Desgagné et Gozlan (2003) considèrent un modèle dans lequel un intervenant (un groupe militant par exemple) a plus ou moins confiance dans le rapport fourni par un pollueur (une firme par exemple) concernant son niveau de pollution. Contrairement au modèle de Sinclair-Desgagné et Gozlan, les individus n'ont pas la possibilité dans ce modèle de tester la véracité de ces informations. De plus, dans notre modèle le régulateur communique le risque de pollution afin d'aider les agents économiques à choisir leur niveau de contribution. Dans le modèle de Sinclair-Desgagné et Gozlan, l'information est communiquée par le régulateur, et l'intervenant décide ensuite d'"accepter" ou de "boycotter" l'activité des pollueurs.

8. Siegrist et Cvetkovich (2000) et Slovic (2003) confirment qu'une corrélation existe entre le niveau de confiance des individus et leur perception du risque.

lité environnementale. Contrairement à la perception du risque, et dans un certain sens, la sensibilité environnementale ne peut être "manipulée". Il s'agit d'une caractéristique que les individus *vivent*, alors que la perception du risque relève davantage d'une *interprétation* de la part des agents économiques.

La différence entre l'optimisme et la sensibilité environnementale est bien établie dans la littérature en psychologie. Les individus sont dit optimistes lorsqu'ils "espèrent que les choses vont aller dans leur sens, et croient généralement que les bonnes choses, plutôt que les mauvaises, vont leur arriver" (traduction de Scheier et Carver (1985, p.219)).⁹ La sensibilité environnementale est définie comme "une perspective d'empathie envers l'environnement" (traduction de Hungerford et Volk (1990, p.11)). Cela correspond aux sentiments ou aux attitudes exprimés par les individus envers l'environnement.

De ce fait, chaque individu est caractérisé par une perception subjective du risque, θ^k , et par un niveau de sensibilité environnementale, s^j . Nous allons noter l'individu i comme étant l'individu (k, j) . Ainsi, quatre profils sont possibles : (O, h) , (O, l) , (o, h) et (o, l) . Par exemple, l'individu (O, h) désigne un individu très optimiste concernant le risque de pollution (qui a peu confiance dans l'annonce faite par le régulateur) mais qui est très sensible à l'environnement.

Enfin, chaque individu est doté du même salaire w , qu'il distribue entre la consommation privée $c_{k,j}$ et la contribution volontaire $a_{k,j}$ pour améliorer la qualité environnementale. L'utilité individuelle de la consommation est donnée par la fonction $u(\cdot)$, avec $u'(\cdot) > 0$ et $u''(\cdot) \leq 0$. En l'absence d'incitations externes, l'utilité espérée totale de l'individu (k, j) est donc :

$$U_{k,j} = \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} (u(c_{k,j}) - d(P, s^j)) dH(F(e), \theta^k)$$

avec $w = c_{k,j} + a_{k,j}$. Son programme s'écrit :

$$\max_{a_{k,j}} \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} (u(w - a_{k,j}) - d(P, s^j)) dH(F(e), \theta^k) \quad (2.2)$$

$$s.c. \quad a_{k,j} \geq 0 \quad (2.3)$$

Ce programme est différent de celui du régulateur comme discuté plus bas. Contrairement à ce dernier, l'individu ne prend pas en compte l'impact de sa contribution au bien public

9. Voir également Scheier et Carver (1992).

dans le bien-être des autres individus.¹⁰

Comme nous l'avons expliqué plus haut, les croyances et la sensibilité environnementale sont deux dimensions différentes des caractéristiques des individus. De ce fait, les instruments de régulation devraient être, dans l'idéal, construits en tenant compte de ces deux dimensions. Cependant, certaines caractéristiques ne sont pas facilement observables par le régulateur. C'est le cas de la sensibilité environnementale. Dans ce qui suit, nous montrons que le régulateur n'a pas besoin de savoir qui est qui pour que l'optimum social soit atteint lorsque les agents ne distordent pas l'information qu'ils reçoivent sur le risque de pollution. Cependant, ce n'est plus le cas lorsque les individus distordent la distribution du risque de pollution qui est annoncée, c'est-à-dire, lorsqu'ils sont optimistes.

Optima privés d'individus optimistes

Nous allons, dans un premier temps, nous concentrer sur l'optimum privé de chaque individu en l'absence d'instrument incitatif. Ces optima dépendent du type θ^k et de la sensibilité environnementale s^j de chaque individu. Chaque individu (k, j) considère le programme (2.2)-(2.3). La condition de premier ordre pour une solution privée intérieure $a_{k,j}^p$ est donnée par :

$$-u'(w - a_{k,j}^p) + b'(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s^j) dH(F(e), \theta^k) = 0 \quad (2.4)$$

La condition de second ordre est satisfaite.¹¹

Rappelons que la désutilité liée à la pollution est plus importante pour un individu très sensible à l'environnement que pour un individu moins sensible. Dans l'équation (2.4), le bénéfice marginal espéré d'une contribution individuelle est affecté par la distorsion du risque de pollution, et non le coût marginal lié à la contribution au bien public. En faisant l'hypothèse que le régulateur peut observer¹² la confiance des individus concernant l'annonce du risque de pollution, donc θ^k , nous obtenons la proposition 1.

10. Un régulateur utilitariste et parfaitement informé maximise le bien-être social caractérisé par $\sum_j \sum_k U_{k,j}$.

11. En effet, nous avons

$$u''(w - a_{k,j}^p) + b''(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s^j) dH(F(e), \theta^k) - (b'(A))^2 \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P, s^j) dH(F(e), \theta^k) < 0$$

12. L'Eurobaromètre en Europe, ou le *General Social Survey* aux États-Unis, sont des questionnaires permettant de mesurer la confiance des individus.

Proposition 1 *Considérons des individus optimistes avec des préférences caractérisées par un modèle d'utilité dépendant du rang.*

i) L'optimum social est le même pour tous les individus, quelles que soient leur sensibilité environnementale et leur perception du risque.

ii) Tous les individus sous-contribuent de manière privée par rapport à l'optimum social.

iii) Les individus les plus optimistes ne sont pas systématiquement ceux qui contribuent le moins. Précisément, nous avons : $a_{O,l}^p < a_{o,l}^p < a_{o,h}^p$ et $a_{O,l}^p < a_{O,h}^p < a_{o,h}^p$, mais rien d'autre ne peut être affirmé sans hypothèses supplémentaires.

Selon le point i), tous les individus devraient investir la même part de leur richesse pour le bien public, et ce en dépit de leur hétérogénéité dans leur sensibilité et leur perception du risque. En effet, rappelons que nous considérons un régulateur utilitariste, et que les individus diffèrent dans leurs préférences et non dans leur richesse initiale. Le régulateur maximise $\sum_j \sum_k U_{k,j}$ de telle façon que les préférences d'un individu sont prises en compte dans les contributions socialement optimales des autres individus : l'effet des contributions de chaque individu est internalisé par tout le monde.

Concernant les niveaux privés d'investissement dans le bien public, l'optimisme explique le sous-investissement quelle que soit la sensibilité environnementale. Nous avons fait l'hypothèse que le régulateur a une information incomplète concernant la sensibilité environnementale, et non une absence totale d'information. Celui-ci connaît le nombre d'individus très (peu) sensibles (un de chaque dans notre modèle). Le résultat du point ii) ne tiendrait pas si le régulateur était en situation d'absence complète d'information. Dans un tel cas, une sensibilité élevée à l'environnement pourrait contrebalancer l'optimisme de telle manière que certains individus pourraient sur-contribuer par rapport à l'optimum social, calculé par le régulateur avec une sensibilité moyenne.

Le point iii) illustre l'impact joint de l'optimisme et de la sensibilité environnementale : tous les types (k, j) ne peuvent pas être classés selon leurs contributions individuelles. En particulier, un individu qui a peu confiance dans le régulateur lorsqu'il annonce le risque de pollution (type O dans notre modèle) peut toutefois contribuer plus pour le bien public qu'un autre individu qui a davantage confiance si sa sensibilité environnementale est plus élevée.

Dans la sous-section suivante, nous introduisons une taxe dans le modèle afin d'améliorer la situation sociale des agents économiques. De plus, nous souhaitons obtenir des prédictions théoriques que nous pourrions comparer avec celles obtenues sous la mise en

place du *nudge* dans la section suivante.

2.2.2 Mise en place d'une taxe

Considérons que les contributions individuelles des individus sont observables par le régulateur. Ce dernier met en place une taxe sur les contributions non fournies par comparaison avec l'optimum social noté $a_{k,j}^*$. Notons $t(a_{k,j})$ la fonction de taxe exogène et continue, qui satisfait $t'(a_{k,j}) \leq 0$, $t(a_{k,j}) = 0 \quad \forall a_{k,j} \geq a_{k,j}^*$.¹³ Le nouveau programme s'écrit :

$$\max_{a_{k,j}} \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} (u(w - a_{k,j} - t(a_{k,j})) - d(P, s^j)) dH(F(e), \theta^k) \quad (2.5)$$

$$s.c. \quad a_{k,j} \geq 0$$

La condition de premier ordre pour une solution privée intérieure $a_{k,j}^t$ est :

$$-(1 + t'(a_{k,j}^t)) \cdot u'(w - a_{k,j}^t - t(a_{k,j}^t)) + b'(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s^j) dH(F(e), \theta^k) = 0 \quad (2.6)$$

La condition de second ordre est toujours vérifiée si la taxe de second rang est linéaire ou convexe dans les contributions non fournies. Nous obtenons la proposition 2.

Proposition 2 *Faisons l'hypothèse que le régulateur ne sait pas qui est qui (information incomplète). Il met en place une taxe de second rang croissante dans les contributions non fournies par rapport à l'optimum social. Alors cette politique fiscale ne peut pas discriminer entre les différentes sensibilités environnementales. En particulier, pour les individus (o, l) et (O, h)*

i) Si $a_{o,l}^P = a_{O,h}^P$ alors $a_{o,l}^t \gtrless a_{O,h}^t$ ssi $d_{PPP} \gtrless 0$. Nous ne pouvons pas conclure dans les autres cas.

ii) Si $a_{o,l}^P > a_{O,h}^P$ alors $a_{o,l}^P > a_{O,h}^P$ ssi $d_{PPP} \leq 0$. Nous ne pouvons pas conclure dans les autres cas.

iii) Si $a_{o,l}^P < a_{O,h}^P$ alors $a_{o,l}^P > a_{O,h}^P$ ssi $d_{PPP} \geq 0$. Nous ne pouvons pas conclure dans les autres cas.

13. Un exemple simple est

$$t(a_{k,j}) = \begin{cases} \tau(a_{k,j}^* - a_{k,j}) & \text{si } a_{k,j} < a_{k,j}^* \\ 0 & \text{si } a_{k,j} \geq a_{k,j}^* \end{cases}$$

avec $0 < \tau < 1$. Nous dérivons la structure optimale de la taxe dans l'appendice.

En situation d'information complète, une taxe de premier rang existe, et le régulateur peut pousser les individus à choisir le niveau socialement optimal des contributions. Cette taxe de premier rang dépend, pour chaque individu, de sa sensibilité environnementale ainsi que de sa perception du risque. Cependant, il n'est plus possible de mettre en place une telle taxe dès lors que l'information devient incomplète. Nous dérivons la taxe de second rang optimale dans l'appendice, lorsque le régulateur connaît les différents types (k, j) dans l'économie, mais ne sait pas qui est qui. Cette fonction de taxe est croissante dans les contributions non fournies par rapport à l'optimum social. Elle dépend seulement des contributions individuelles.

Par ailleurs, l'individu tient également compte de sa désutilité marginale de la pollution lorsqu'il choisit $a_{k,j}^t$. Ceci est formalisé par le rôle joué par d_{PPP} dans la proposition 2. Rappelons que $d(P, s^j)$ est la désutilité liée à la pollution agrégée P subie par les individus avec une sensibilité s^j (quelle que soit leur perception du risque). Pour avoir une meilleure intuition, notons $v^j(\tilde{P}) = -d(P, s^j)$ l'utilité de la pollution, avec $v^j(0) = v_{max}$. Les propriétés adéquates deviennent $v_P^j < 0$, $v_{PP}^j < 0$.

En suivant Ebert *et al.* (2016) et Ebert et van de Kuilen (2015), les individus préfèrent faire face à moins de pollution ($v_P^j < 0$), et ils sont averses au risque ($v_{PP}^j < 0$). Eeckhoudt et Schlesinger (2006) expliquent, par ailleurs, que la dérivée seconde négative signifie que les individus préfèrent combiner un bon état de la nature avec un mauvais, et n'aiment pas les hausses dans le *risque* de pollution. Ainsi, ils sont averses au risque concernant la souffrance (causée par la pollution) comme ils seraient averses au risque concernant l'argent.

Le signe de d_{PPP} nous renseigne sur la manière dont les agents gèrent un risque additionnel qui apparaîtrait sur les mauvais états de la nature (avec une pollution élevée $\bar{e}$ dans notre modèle). Un individu dont les préférences satisfont $d_{PPP} \leq 0$ est dit *non prudent*, ou *imprudent* (Kimball (1990)), dans le sens où il préfère combiner un risque supplémentaire qu'il ne peut éviter avec le bon état de la nature (avec la pollution faible $\underline{e}$ dans notre cas).¹⁴ Au contraire, un individu prudent ($d_{PPP} > 0$) préférera combiner ce risque additionnel avec le niveau élevé de pollution ($\bar{e}$). De fait, comme l'ont montré Ebert *et al.* (2016), un individu qui préfère avoir plus d'argent que moins d'argent, et qui est averse au risque et prudent lorsqu'il fait face à des risques monétaires, est aussi un individu qui préfère moins de pollution (ou moins de souffrance) à plus de pollution, et qui est averse au risque et non prudent lorsqu'il fait face à un risque de pollution (ou de souffrance). Ainsi,

14. Voir également Menezes *et al.* (1980), et Crainich et Eeckhoudt (2005, 2008).

l'hypothèse appropriée semble être $d_{PPP} \leq 0$.

Enfin, sachant que les attitudes par rapport au risque (d_{PP} , d_{PPP}) peuvent être élicitées à l'aide d'expériences, de questionnaires ou d'analyses de préférences révélées, il est possible d'anticiper d'un point de vue empirique les réactions des individus à la taxe dans notre modèle. En revanche, il n'est pas possible de faire dépendre la taxe de la sensibilité environnementale. Ainsi, deux agents ayant choisi le même niveau de contribution a , mais avec des sensibilités à l'environnement différentes, supportent le même montant de taxe $t(a)$. Nous pouvons remarquer à partir de la condition (2.6) que la taxe n'affecte que l'utilité de la consommation, qui est certaine et identique pour deux individus investissant au même niveau avant la mise en place de la taxe, quelles que soient leurs sensibilités environnementales. La taxe de second rang ne dépend pas de la sensibilité environnementale, alors que la réaction de l'individu à cette taxe en dépend.

Dans la section suivante, nous montrons comment la mise en place d'un *nudge* peut en partie résoudre cette absence de raffinement possible.

2.3 Mise en place du *nudge*

Nous commençons par expliquer la modélisation de la réaction des individus au *nudge*. Nous calculons ensuite les optima privés de contribution. Enfin, nous comparons les résultats obtenus avec ceux sous la mise en place de la taxe.

2.3.1 Modélisation de la réaction au *nudge*

Le *nudge* que nous considérons dans ce modèle prend la forme de la diffusion d'une information. Lorsque le régulateur a fait son annonce, notée $\hat{a}$, nous faisons l'hypothèse que les individus vont ajuster leur contribution différemment selon leur propre sensibilité environnementale s^j . Plus précisément, nous faisons l'hypothèse que la valeur annoncée par le régulateur va servir de point de référence aux individus (ou point d'ancrage (Tversky et Kahneman (1974)) et que, dès lors que les individus s'écartent de ce point de référence, ils subissent un coût moral.

Notons $\eta(\hat{a}|s^j)$ l'impact du *nudge* $\hat{a}$ sur le bien-être de l'individu. Sachant que les individus vont comparer (ou non) l'annonce avec leur propre comportement, il semble raisonnable de supposer que

$$\eta(\hat{a}|s^j) \equiv g(a_{k,j} - \hat{a}|s^j)$$

avec $g(0) = 0$, $g_{a_{k,j}} \leq 0$ et $g_{a_{k,j}a_{k,j}}(\cdot) \geq 0$. Ces hypothèses correspondent à ce qui a

été observé avec les expériences de terrain (Allcott (2011); Ayres *et al.* (2013); Ferraro et Price (2013)).¹⁵ Avec la forme de $g(\cdot|s^j)$, nous faisons simplement l'hypothèse que les individus considèrent la distance entre leur contribution et l'annonce. Cette formulation diffère de celle présentée par Figuières *et al.* (2013).¹⁶ En effet, nous prenons en compte la sensibilité environnementale des individus, ce qui est une caractéristique intrinsèque. Enfin, nous faisons l'hypothèse que plus la sensibilité environnementale est élevée, plus la réaction marginale à l'annonce du régulateur sera élevée : $g_{a_{k,j}s^j}(a_{k,j} - \hat{a}|s^j) < 0$.

Il est important de remarquer que, contrairement à la mise en place de la taxe, la mise en place du *nudge* ne nécessite pas que les contributions soient observables. En particulier, le *nudge* mis en place peut être l'annonce de la contribution socialement optimale à atteindre, la contribution moyenne, ou la contribution maximale individuelle, dès lors que ces informations sont disponibles.

Notre formulation de la réaction au *nudge* est similaire à ce qu'ont proposé Farhi et Gabaix (2015). Les auteurs ont proposé deux formulations du *nudge* : la première comme une taxe psychologique sur la consommation du bien concerné, et la deuxième comme un ancrage psychologique. Dans les deux cas, les auteurs expliquent que le *nudge* ne modifie pas la contrainte budgétaire, mais au contraire induit une contrainte budgétaire *perçue*, c'est-à-dire une contrainte budgétaire différente de celle d'un agent parfaitement rationnel qui prendrait en compte le véritable prix des biens.¹⁷ Dans notre modèle, la mise en place du *nudge* induit un coût moral (une désutilité) dès lors que les agents sous-contribuent par rapport à l'optimum social. Ainsi, cette désutilité n'apparaît pas dans la contrainte budgétaire monétaire. Par ailleurs, dans le modèle de Farhi et Gabaix, la réaction au *nudge* dépend d'un degré de "*nudgeabilité*" des agents économiques, c'est-à-dire la manière dont les individus vont être réactifs au *nudge*.¹⁸ Nous rejoignons leur idée avec notre hypothèse que la réaction au *nudge* que nous proposons dépend de la sensibilité environnementale.

Nous pouvons également établir un lien avec le modèle présenté par Bernheim (1994). Dans ce dernier, les individus font un compromis entre leurs préférences intrinsèques et leur

15. Rappelons que dans notre modèle, les contributions individuelles privées ne sont jamais supérieures à la contribution socialement optimale. De ce fait, la fonction $g(a_{k,j} - \hat{a}|s^j)$ est toujours positive si le *nudge* consiste en l'annonce de la contribution socialement optimale a^* . Cependant, si le *nudge* est basé sur l'annonce de la contribution moyenne, alors $g(a_{k,j} - \hat{a}|s^j)$ devient négative pour les individus qui ont contribué plus que le niveau moyen. Dans un tel cas, l'effet de boomerang, discuté dans le premier chapitre, est aussi capturé par $g_{a_{k,j}s^j} \leq 0$.

16. Dans le modèle présenté par Figuières *et al.* (2013), les individus subissent un coût moral s'ils dévient d'un idéal moral qu'ils se fixent. Notre modélisation est proche car, dans notre cas, il s'agit de l'optimum social annoncé par le régulateur.

17. Farhi et Gabaix précisent toutefois : "A nudge may also directly affect agents' utility $u^h(c, \chi)$ " (p. 21).

18. Farhi et Gabaix parlent de "*nudgeability*" (p. 20).

statut.¹⁹ Notre modèle présente également un lien avec le modèle d'Akerlof (1997). Plus précisément, l'auteur propose deux modèles. Dans le premier, les individus sont concernés par leur statut et cherchent à en avoir un différent de celui des autres individus. Dans le deuxième, Akerlof considère un comportement de conformisme. Les individus cherchent à imiter le comportement des autres individus, et subissent une désutilité s'ils dévient du statut des autres individus.

Dans la sous-section suivante, nous faisons l'hypothèse que le régulateur annonce la contribution socialement optimale.

2.3.2 Optima privés

Le régulateur annonce la contribution socialement optimale $a_{k,j}^*$ à l'individu i , $i = (O, l), (O, h), (o, l), (o, h)$. Chaque individu considère le programme suivant :

$$\max_{a_{k,j}} \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} (u(w - a_{k,j}) - d(P, s^j)) dH(F(e), \theta^k) - g(a_{k,j} - a_{k,j}^* | s^j) \quad (2.7)$$

$$s.c. \quad a_{k,j} \geq 0$$

La condition de premier ordre pour une solution intérieure privée $a_{k,j}^n$ est :

$$-u'(w - a_{k,j}^n) + b'(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s^j) dH(F(e), \theta^k) - g_{a_{k,j}}(a_{k,j}^n - a_{k,j}^* | s^j) = 0 \quad (2.8)$$

La condition de second ordre est satisfaite.²⁰ Nous obtenons les résultats résumés dans la proposition 3 qui suit.

Proposition 3 *Considérons un régulateur qui communique à chaque individu le niveau de contribution socialement optimale.*

- i) *Toutes les contributions individuelles augmentent suite à la mise en place du nudge.*
- ii) *Le nudge permet de discriminer entre les individus ayant une sensibilité environnementale différente, y compris si cette dernière est une information privée. En particulier,*

19. Le statut est défini par "la popularité, l'estime, ou le respect" (traduction faite de Bernheim (1994) p. 843).

20. En effet :

$$u''(w - a_{k,j}^n) + b''(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s^j) h(F(e), \theta^k) f(e) de - (b'(A))^2 \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P, s^j) h(F(e), \theta^k) f(e) de - g_{a_{k,j} a_{k,j}}(a_{k,j}^n - a_{k,j}^* | s^j) < 0$$

si $a_{O,h}^p = a_{o,l}^p$ et $a_{O,h}^t = a_{o,l}^t$, nous avons $a_{O,h}^n > a_{o,l}^n$.

A partir de la proposition 3, nous pouvons voir que le *nudge* peut induire une augmentation du niveau des contributions, comme pour la taxe construite sur les contributions individuelles. La première différence est que la mise en place du *nudge* ne nécessite pas la connaissance d'informations relatives aux contributions individuelles, contrairement à la mise en place de la taxe. Deuxièmement, en comparant le point ii) de la proposition 3 avec la proposition 2, nous pouvons conclure que le *nudge* peut résoudre le problème soulevé par le fait que la taxe ne peut pas être construite sur la sensibilité environnementale individuelle.

Néanmoins, il est important de noter que nous avons obtenu ces résultats en ignorant le problème de confiance que peut poser l'annonce pour le *nudge*. En effet, nous pourrions envisager que la réaction au *nudge* dépende également de la confiance dans l'annonce qui est faite. De ce fait, la différence dans les sensibilités environnementales entre deux individus pourrait être compensée par la divergence dans la confiance de ces deux mêmes individus. Dans ce cas, les deux individus pourraient avoir la même réaction et ainsi contribuer au même niveau.

Nous pouvons aller plus loin dans la comparaison entre la taxe et notre *nudge*. Grâce à une intégration par partie, la condition de premier ordre (2.8) peut être écrite :

$$u'(w - a_{k,j}^n) = b'(A) \left(d_P(\bar{P}, s^j) - Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P, s^j) dH(F(e), \theta^k) \right) - g_{a_{k,j}}(a_{k,j}^n - a_{k,j}^* | s^j) \quad (2.9)$$

avec $\bar{P} = \bar{e}Y - b(A)$. Grâce à une intégration par partie toujours, la condition de premier ordre (2.6), peut être écrite :

$$-(1+t'(a_{k,j}^t)).u'(w - a_{k,j}^t - t(a_{k,j}^t)) + b'(A) \left(d_P(\bar{P}, s^j) - Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P, s^j) dH(F(e), \theta^k) \right) = 0,$$

Ou

$$u'(w - a_{k,j}^t) = b'(A) \left(d_P(\bar{P}, s^j) - Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P, s^j) dH(F(e), \theta^k) de \right) - t'(a_{k,j}^t).u'(w - a_{k,j}^t - t(a_{k,j}^t)) + u'(w - a_{k,j}^t) - u'(w - a_{k,j}^t - t(a_{k,j}^t)) \quad (2.10)$$

Dans les deux conditions (2.9) et (2.10), le terme de gauche ainsi que la première expression de la partie à droite sont identiques pour un niveau donné de contributions individuelles. Notons que dans l'expression (2.10), les termes restants (seconde ligne) ne dépendent pas de la sensibilité environnementale s^j , alors que ceux qui restent dans l'expression (2.9) en dépendent. La taxe ne prend pas explicitement en compte la caractéristique personnelle et intrinsèque s^j . Au contraire, la réaction $g(.)$ au *nudge* de l'individu i dépend directement de sa sensibilité environnementale : une politique de *nudge* peut être explicitement construite autour de cette caractéristique individuelle et personnelle, bien que le régulateur ne sache pas qui est qui.

De plus, notre *nudge* prend la forme d'une annonce et ne nécessite pas de récolter de l'argent de la part d'une agence de régulation, comme c'est le cas pour une taxe. De ce fait, un tel instrument "doux" est moins coûteux à mettre en place qu'une taxe traditionnelle. Enfin, un *nudge* semble, *a priori*, poser moins de problèmes d'acceptation sociale qu'une taxe.

Cependant, un *nudge* possède également des défauts. Premièrement, un tel instrument ne permet pas de générer de recettes budgétaires supplémentaires, contrairement à une taxe. Il n'y a aucune opportunité de bénéficier d'un potentiel double dividende lorsque nous considérons un *nudge*. Deuxièmement, un effet de boomerang peut être observé, alors qu'un tel effet n'existe pas avec la mise en place d'une taxe, étant donné que les contributions au-delà de l'optimum social ne sont pas taxées. Troisièmement, la question de la manipulation se pose lorsqu'une telle information est diffusée, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre (Hausman et Welch (2010), Vallgarda (2012), Wilkinson (2013)).

Pour Wilkinson (2013) et Hausman et Welch (2010), une différence importante permettant de distinguer une action paternaliste d'une action non paternaliste est le fait que l'*autonomie* des choix est respectée. En effet, si un individu A influence un individu B dans sa décision, alors l'autonomie des choix de l'individu B a été restreinte, quelle que soit l'intention de l'individu A (bons ou mauvais motifs). Hausman et Welch (2010) donnent deux exemples opposés de *nudges*. Par exemple, la *persuasion rationnelle* respecte l'autonomie des choix car elle repose sur une présentation des preuves. Le médecin utilise une telle technique lorsqu'il demande à son patient d'arrêter de fumer, car ce dernier développe un cancer des poumons. Au contraire, le *façonnement* peut être vu comme de la manipulation car cette technique peut avoir un impact sur l'autonomie des choix des individus en les influençant. Le façonnement est une technique en psychologie similaire au conditionnement. Elle consiste en la décomposition d'une tâche souhaitée en plusieurs sous-tâches. A chaque

fois qu'une de ces sous-tâches est accomplie, l'individu est récompensé ou complimenté afin de renforcer le comportement.

Vallgarda (2012) explique que les *nudges* ont pour vocation d'influencer le comportement automatique.²¹ Dans ce cas, il peut être difficile pour les individus de ne pas agir dans la direction dans laquelle ils sont influencés. Si nous comparons avec la mise en place d'une taxe corrective, il est possible de payer la taxe et de continuer à se comporter comme avant l'introduction de cette dernière. Dans notre modèle, le *nudge* que nous avons considéré est l'annonce de la contribution socialement optimale. De ce fait, la manipulation n'est pas une préoccupation dans notre cas, car cette annonce relève davantage d'une présentation d'une preuve (que les individus sous contribuent par rapport au niveau socialement optimal) ou d'un fait objectif. De plus, l'autonomie des choix n'est pas violée.

Dans la section suivante nous illustrons nos différents résultats à l'aide de simulations numériques.

2.4 Exemples paramétrés

Considérons deux individus, avec une sensibilité environnementale et une perception du risque différentes.

2.4.1 Modèle de base

L'utilité de la consommation pour chaque agent (k, j) s'écrit $u(w_{k,j}) = 100(w - a_{k,j}) - 10(w - a_{k,j})^2$ avec $c_{k,j} = w - a_{k,j}$. Notons a_1 et a_2 les contributions des individus 1 et 2 respectivement, en l'absence d'incitation externe. Le bénéfice public de la réduction de la pollution grâce aux contributions individuelles est $b(A) = \sqrt{a_1 + a_2}$. Le niveau actuel de la pollution est $P = Y\tilde{e} - \sqrt{a_1 + a_2}$. La variable aléatoire de la pollution $\tilde{e}$ suit une distribution uniforme $F(e)$, avec $\underline{e} = 0.05$ et $\bar{e} = 1$. La désutilité de la pollution pour l'agent (k, j) s'écrit $d(P, s^j) = P^2 + 8e^{s^j}P$. Nous fixons $Y = 64$ et $w = 5$.²² Nous fixons également $s^h = 1$ pour un agent très sensible à l'environnement, et $s^l = 0$ pour un agent peu sensible à l'environnement. Nous considérons la fonction de transformation des probabilités suivante :

$$H[F(e), \theta^k] = \left(\frac{\bar{e}}{e}\right)^{1-\theta^k} \times F(e)$$

21. Défini comme le comportement "dans lequel les individus s'engagent sans effectuer de choix conscients" (traduction de Vallgarda (2012), p.201).

22. Avec ces paramètres, le niveau de pollution est toujours positif.

L'optimum social est noté a^* . Avec le calcul du programme social du régulateur, nous obtenons $a^* = 1.73$ pour chaque agent, comme exprimé par le point i) de la proposition 1. Les différents cas étudiés sont décrits plus bas.

Cas 1 : considérons les individus (O, l) et (o, h) . Nous fixons $\theta^O = 0.6$ pour l'individu le plus optimiste, et $\theta^o = 0.8$ pour le moins optimiste. Nous obtenons $a_{O,l}^p = 0.91$ et $a_{o,h}^p = 1.28$. Les deux individus contribuent moins que l'optimum social calculé en information complète, $a^* = 1.73$, comme prédit par le point ii) de la proposition 1.

Cas 2 : considérons les individus (O, h) et (o, l) . Nous gardons les mêmes valeurs de θ et s^j que dans le cas 1. Nous obtenons $a_{O,h}^p = 1.14$ et $a_{o,l}^p = 1.05$. A nouveau, les individus contribuent moins que l'optimum social ($a^* = 1.73$). Nous obtenons également le point iii) de la proposition 1 avec l'individu (O, h) qui contribue plus que l'individu (o, l) : la différence dans la sensibilité environnementale compense davantage la différence dans la perception du risque.

2.4.2 Incitations

Nous considérons maintenant la mise en place d'une taxe sur les contributions non fournies par comparaison avec l'optimum social. Nous étudierons ensuite la mise en place du *nudge* basé sur l'annonce de la contribution socialement optimale a^* . Nous nous concentrons sur le point ii) des propositions 2 et 3.

Cas 3 : considérons l'individu (O, h) caractérisé par $\theta = 0.2$ et $s^h = 1$, ainsi que l'individu (o, l) caractérisé par $\theta = 0.45$ et $s^l = 0$. En l'absence d'incitations externes, nous obtenons $a_{O,h}^p = 0.83$ et $a_{o,l}^p = 0.88$, ce qui constitue l'une des situations prédites par le point iii) de la proposition 1. Ainsi, en comparant ce cas avec le cas 2, nous obtenons qu'il n'est pas possible de classer *ex ante* les contributions de tous les agents par rapport à leur sensibilité environnementale et leur perception du risque.

Considérons une fonction de taxe linéaire $t(a_{k,j}) = 0.25(a^* - a_{k,j})$ avec $a^* = 1.35$. Les deux individus augmentent leur niveau de contribution : $a_{O,h}^t = 0.93$ et $a_{o,l}^t = 1.02$.

A la place de la taxe, considérons maintenant la mise en place du *nudge*, qui consiste en l'annonce de la contribution socialement optimale $a^* = 1.35$ auprès de chaque agent. La réaction au *nudge* est formalisée par la fonction $g(a_{k,j} - a^* | s^j) = -\frac{(a_{k,j} - a^*)}{(a_{k,j} + 1)} \times (2 + e^{s^j})$. Nous obtenons $a_{O,h}^n = a_{o,l}^n = 0.94$. Finalement, même si les agents contribuaient à des niveaux différents, il est possible de les faire contribuer au même niveau comme suggéré par l'optimum social. Sachant que la réaction au *nudge* est une caractéristique intrinsèque

qui dépend de la sensibilité environnementale, il serait même possible d’atteindre l’optimum social pour des individus très sensibles à l’environnement (mais également très optimistes). Avec ces illustrations, nous n’opposons pas la taxe au *nudge*. Nous voulons montrer qu’un *nudge* peut permettre des résultats aussi élevés qu’avec une taxe. Dans le chapitre 4, nous considérerons la mise en place d’une combinaison de ces deux instruments.

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons considéré des individus pouvant contribuer volontairement afin d’améliorer la qualité environnementale. Ces individus diffèrent dans leur perception du risque et dans leur sensibilité environnementale. La perception du risque repose sur la confiance accordée par les individus dans l’annonce relative au risque de pollution faite par le régulateur (un gouvernement par exemple) : un individu optimiste, dans notre cas, croit que le risque de pollution est moins important que celui annoncé par le régulateur. Ainsi, cet individu distord la distribution du risque en sous-évaluant le risque d’une pollution élevée. La sensibilité environnementale est une caractéristique intrinsèque de l’individu qui correspond à une vulnérabilité physique ou psychologique liée à la pollution.

Notre premier résultat est que la perception du risque ne peut expliquer à elle seule la différence entre le niveau des contributions entre des individus différents, contrairement au résultat obtenu par Etner *et al.* (2007, 2009) et Salanié et Treich (2009). La sensibilité environnementale doit être prise en compte.

Nous avons comparé l’impact sur les contributions individuelles d’une taxe avec celui d’un *nudge*. Nous avons montré qu’un *nudge* peut être plus efficace qu’une taxe sous certaines conditions : la taxe n’est pas construite sur la sensibilité environnementale, contrairement au *nudge*. Plus précisément, la taxe est un instrument *unidimensionnel* dans le sens où elle dépend seulement de la distance entre le niveau des contributions individuelles et l’optimum social. Au contraire, la réaction au *nudge*, qui dépend aussi de cette distance, est plus ou moins importante selon la sensibilité environnementale de l’individu. Il s’agit de notre deuxième résultat. Nous l’avons illustré avec des simulations.

La mise en place du *nudge* présente l’avantage d’être peu demandeur en informations sur les individus. Calculer l’optimum social nécessite pour le régulateur de connaître la perception du risque et la sensibilité environnementale de chaque individu. De plus, si le régulateur souhaite mettre en place une politique de taxation sur la distance avec l’optimum social, le régulateur doit pouvoir identifier les contributions individuelles de chaque agent.

Cependant, nous avons souligné que la mise en place d’un *nudge* peut soulever des

questions de manipulation et d'éthique.

APPENDICE

Preuve de la proposition 1

i) Lorsque le régulateur connaît la sensibilité environnementale et la perception du risque de chaque individu, il détermine le niveau $a_{k,j}^*$ pour chaque agent (k, j) qui satisfait le programme social suivant :

$$\max_{a_{k,j}} \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} (u(w - a_{k,j}) - d(P, s^j)) dH(F(e), \theta^k) + \sum_{-i} \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} (u(w - a_{-i}) - d(P, s_{-i}^j)) dH(F(e), \theta_{-i}^k)$$

avec a_{-i} le niveau de contribution d'un autre individu, avec $-i \in I = \{(o, l); (o, h); (O, l); (O, h)\}$, s_{-i}^j sa sensibilité environnementale, et θ_{-i}^k son type. La condition de premier ordre pour une solution intérieure $a_{k,j}^*$ est

$$\begin{aligned} 0 = & -u'(w - a_{k,j}^*) + b'(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s^j) dH(F(e), \theta^k) \\ & + \sum_{-i} b'(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s_{-i}^j) dH(F(e), \theta_{-i}^k) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Cette expression peut également être écrite ainsi

$$0 = -u'(w - a_{k,j}^*) + \sum_i b'(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s_i^j) dH(F(e), \theta_i^k)$$

Cette expression est la même pour chaque agent, de telle manière que leur optimum social individuel est le même. Il s'agit du point i).

Après une intégration par parties du second terme de (2.11), cette expression devient

$$\begin{aligned} 0 = & -u'(w - a_{k,j}^*) + b'(A) \left(d_P(\bar{P}, s^j) - Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P, s^j) H(F(e), \theta^k) de \right) \\ & + \sum_{-i} b'(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s_{-i}^j) dH(F(e), \theta_{-i}^k) \end{aligned} \quad (2.12)$$

avec $\bar{P} = \bar{e}Y - b(A)$. Le troisième terme correspond à l'effet du bien public. La condition de premier ordre privée pour un agent qui distord les probabilités est donnée par (2.4).

Une intégration par parties du deuxième terme donne :

$$-u'(w - a_{k,j}^P) + b'(A) \left(d_P(\bar{P}, s^j) - Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P, s^j) H(F(e), \theta^k) de \right) = 0 \quad (2.13)$$

En soustrayant l'expression (2.12) de (2.13), les deux étant évaluées au niveau social $a_{k,j}^*$, donne après simplification

$$- \sum_{-i} b'(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s_{-i}^j) dH(F(e), \theta_{-i}^k)$$

qui est négative. Et finalement $a_{k,j}^P < a_{k,j}^* \quad \forall j, \forall k$. C'est le point ii).

Pour le point iii), en considérant (2.13) respectivement pour les individus (O, l) et (o, l) , et en soustrayant la première de la seconde, les deux étant évaluées en $a_{o,l}^P$, donne après simplification

$$-b'(A)Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P) (H(F(e), \theta^o) - H(F(e), \theta^O)) de,$$

qui est positive puisque $H(F(e), \theta^o) < H(F(e), \theta^O)$, et $d_{PPs_j} = 0$ par hypothèse. Finalement $a_{O,l}^P < a_{o,l}^P$.

De plus, en soustrayant la condition de premier ordre de l'individu (o, h) , de celle de l'individu (o, l) , les deux étant évaluées en $a_{o,l}^P$, donne après simplification

$$b'(A) \left(d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h) \right)$$

qui est négative car $d_{Ps_j}(\bar{P}, s^j) > 0$ par hypothèse. De plus, $d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h)$ est constant car $d_{PPs_j} = 0$ par hypothèse. Et finalement $a_{o,l}^P < a_{o,h}^P$. La preuve de $a_{O,l}^P < a_{O,h}^P < a_{o,h}^P$ est directe en suivant les mêmes étapes que pour cette preuve. Finalement, en suivant toujours les mêmes étapes pour $a_{o,l}^P$ and $a_{O,h}^P$, nous n'arrivons pas à classer entièrement les niveaux des contributions entre eux. La proposition 1 est démontrée. ♦

Preuve de la proposition 2

i) Faisons l'hypothèse que $a_{o,l}^p = a_{O,h}^p$. Selon le point iii) de la proposition 1, ce cas est possible si

$$b'(A) \left(d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h) - Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P)(H(F(e), \theta^o) - H(F(e), \theta^O)) de \right) = 0$$

c'est-à-dire

$$d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h) = Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P)(H(F(e), \theta^o) - H(F(e), \theta^O)) de$$

La condition de premier ordre de l'agent (k, j) sous la mise en place de la taxe est donnée par

$$-(1+t'(a_{k,j}^t)).u'(w-a_{k,j}^t-t(a_{k,j}^t))+b'(A) \left(d_P(\bar{P}, s^j) - Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P, s^j) dH(F(e), \theta^k) \right) = 0 \quad (2.14)$$

En soustrayant cette condition de premier ordre pour l'agent (O, h) de celle de l'agent (o, l) , les deux étant évaluées en $a_{o,l}^t$, donne

$$b'(A) \left(d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h) - Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P)(H(F(e), \theta^o) - H(F(e), \theta^O)) de \right)$$

Puisque $d_{PPs_j} = 0$ par hypothèse, nous avons $d_P(P, s^j)$ qui est additive en P et en s^j . Ainsi, nous avons le terme $d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h)$ qui est constant en $a_{k,j}$ pour tout (k, j) .

Si $d_{PPP} = 0$, alors $Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P)(H(F(e), \theta^o) - H(F(e), \theta^O)) de$ est constant en $a_{k,j}$. Ainsi,

$$d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h) = Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P)(H(F(e), \theta^o) - H(F(e), \theta^O)) de$$

et $a_{o,l}^t = a_{O,h}^t$.

Si $d_{PPP} < 0$, alors le terme négatif $Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P)(H(F(e), \theta^o) - H(F(e), \theta^O)) de$ est plus petit sous la mise en place de la taxe qu'en l'absence d'instruments incitatifs étant donné

que les contributions individuelles ont augmenté à l'optimum. Ainsi nous avons

$$0 > d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h) > Y \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_{PP}(P)(H(F(e), \theta^o) - H(F(e), \theta^O)) de$$

et $a_{o,l}^t > a_{O,h}^t$.

Si $d_{PPP} > 0$, alors le résultat est inversé : $a_{o,l}^t < a_{O,h}^t$.

Pour les points ii) et iii), les preuves suivent les mêmes étapes que pour la preuve du point i). ♦

Preuve de la proposition 3

i) Sachant que le niveau individuel de contribution socialement optimal est identique pour chaque agent (voir point i) de la proposition 1), nous le notons par a^* . La condition de premier ordre sous la mise en place du *nudge* pour l'individu (k, j) est donnée par (2.8). En soustrayant (2.13) de (2.8), les deux étant évaluées en $a_{k,j}^p$, cela donne après simplification

$$-g_{a_{k,j}}(a_{k,j}^P - a^* | s^j)$$

qui est positif, par hypothèse. Finalement $a_{k,j}^n > a_{k,j}^p$.

ii) Faisons l'hypothèse que $a_{O,h}^p = a_{o,l}^p = a^P$. Selon la preuve précédente, la différence entre la condition de premier ordre du problème initial et celle sous la mise en place du *nudge*, les deux étant mesurées en a^P , est $-g_{a_{k,j}}(a^P - a^* | s^h)$ pour l'individu (O, h) , et $-g_{a_{k,j}}(a^P - a^* | s^l)$ pour l'individu (o, l) .

Nous avons par hypothèse que $g_{a_{k,j} s^j} < 0$, donc $-g_{a_{k,j}}(a_{k,j} - a^* | s^l) < -g_{a_{k,j}}(a_{k,j} - a^* | s^h) \forall a_{k,j}$. Finalement, $a_{O,h}^n > a_{o,l}^n$. La proposition 3 est démontrée. ♦

Structure de la taxe optimale

Lorsque le régulateur connaît la sensibilité environnementale des individus, et a une connaissance de leur perception du risque, mais ne sait pas qui est qui (comme dans la proposition 2), son programme sous la mise en place de la taxe est :

$$\max_{a_{k,j}} \sum_i u(w - a_{k,j} - t^{SB}(a_{k,j})) - \sum_i \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} (d(P, s^j)) dH(F(e), \theta^k)$$

avec t^{SB} la fonction de taxation de second rang, et $i \in I = \{(o, l); (o, h); (O, l); (O, h)\}$.

La condition sociale de premier ordre pour l'individu (k, j) est :

$$-(1 + t'^{SB}(a_{k,j}^t)) \cdot u'(w - a_{k,j}^t - t^{SB}(a_{k,j}^t)) + \sum_i b'(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s^j) dH(F(e), \theta^k) = 0 \quad (2.15)$$

En réarrangeant, nous obtenons :

$$t'^{SB}(a_{k,j}^t) = \frac{\sum_i b'(A) \int_{\underline{e}}^{\bar{e}} d_P(P, s^j) dH(F(e), \theta^k)}{u'(w - a_{k,j}^t - t^{SB}(a_{k,j}^t))} - 1 \quad (2.16)$$

qui est négative d'après l'équation (2.15).

Chapitre 3

Incitations environnementales et sensibilité environnementale : une approche expérimentale¹

Dans le chapitre précédent, nous avons proposé une modélisation de la réaction des agents économiques à un *nudge*. Celui-ci prenait la forme de l'annonce de la contribution socialement optimale. À l'aide de simulations, nous avons montré que pour les individus les plus sensibles à l'environnement (mais également les moins optimistes), un tel *nudge* pouvait induire un niveau de contribution au moins aussi élevé qu'une taxe portant sur la différence entre la contribution socialement optimale et leur niveau de contribution.

L'objectif de ce chapitre est de tester, à l'aide d'une expérience en laboratoire, la plupart des prédictions théoriques que nous avons obtenues dans le chapitre précédent. Les résultats expérimentaux associés à ceux prédits par notre modèle permettraient la mise en place de politiques publiques ciblées sur les agents économiques les plus réceptifs. L'avantage d'une expérience en laboratoire est de permettre de travailler en environnement contrôlé. Néanmoins, nous devons tenir compte du fait que, lors de l'analyse de nos résultats, les comportements que l'on observe en laboratoire peuvent différer de ceux que l'on peut observer dans la réalité. De plus, de par la nature du *nudge* que nous mettons en place, les sujets peuvent jouer de manière à satisfaire l'expérimentateur. Il s'agit de l'effet de demande mis en avant par Zizzo (2010). Nous expliquerons comment nous avons procédé pour limiter cet effet potentiel.

L'expérience que nous proposons est un jeu de bien public dans lequel les sujets peuvent

1. Ce chapitre a donné lieu au miméo Ouvrard et Boun My (2016).

contribuer pour réduire le niveau de pollution, de manière similaire aux expériences portant sur l'atténuation du climat (Milinski *et al.* (2008), Hasson *et al.* (2010, 2012), Tavoni *et al.* (2011), Dannenberg *et al.* (2015)). Afin d'augmenter le niveau des contributions, la mise en place d'une taxe et d'un *nudge* sont considérés. Ce dernier consiste en l'annonce de la contribution socialement optimale. Plusieurs expériences ont déjà été mises en place dans lesquelles des recommandations de contribution ont été données aux sujets (Marks *et al.* (1999), Croson et Marks (2001), Oxoby et Spraggon (2007), Dal Bó et Dal Bó (2014)).

Dans l'ensemble, les résultats de cette expérience semblent aller dans la direction du modèle décrit dans le chapitre précédent. Nous constatons notamment que la réaction au *nudge* dépend directement de la sensibilité environnementale. En effet, le niveau agrégé des contributions des groupes de sujets sensibles à l'environnement augmente significativement par rapport à celui du groupe de contrôle, durant les sept premières périodes. En revanche, pour les sujets peu sensibles à l'environnement, il n'y a aucune différence significative dans le niveau agrégé des contributions entre le traitement avec *nudge* et le groupe de contrôle. Concernant la taxe, le niveau agrégé des contributions augmente de manière significative par rapport au groupe de contrôle, quelle que soit le niveau de sensibilité environnementale, et sur toute la période de traitement. Enfin, nous trouvons que le *nudge* induit un effet d'éviction sur le bien-être total du groupe pour les sujets les moins sensibles (contrairement aux groupes de sujets sensibles à l'environnement).

Afin que l'expérience soit comprise pour les sujets, nous proposons un modèle simplifié par rapport à celui présenté dans le chapitre précédent dans la section 1. La section 2 détaille le protocole expérimental que nous avons établi afin de tester les prédictions. Dans cette section, nous faisons également le lien avec des expériences similaires. Les résultats sont détaillés dans la section 3. Nous comparons le bien-être total à l'échelle du groupe, à la suite de la mise en place de ces instruments, dans la section 4. Une discussion de l'ensemble des résultats est proposée dans la section 5. La section 6 conclut ce chapitre.

3.1 Un modèle simplifié de contribution volontaire pour la qualité environnementale

Dans un premier temps, nous allons présenter les hypothèses du modèle simplifié en l'absence d'incitations. Puisque les agents économiques sous-contribuent par rapport à l'optimum social, nous considérerons ensuite la mise en place d'instruments incitatifs (taxe puis *nudge*) afin d'augmenter leur niveau de contribution.

3.1.1 Hypothèses de base

Considérons une économie constituée de N individus faisant face à un risque de pollution. Le niveau de pollution est donné par

$$\tilde{P} = \tilde{E} - b(A) \quad (3.1)$$

avec $\tilde{E}$ la quantité de pollution provenant de la production courante. Plus précisément, $\tilde{E}$ est une variable aléatoire pouvant prendre deux valeurs : $\underline{E}$ (niveau faible) ou $\bar{E}$ (niveau élevé), avec $\underline{E} < \bar{E}$. Faisons l'hypothèse que les experts du gouvernement ont déterminé que le niveau de pollution sera faible ($\underline{E}$) avec la probabilité q , et élevé ($\bar{E}$) avec la probabilité $1 - q$. Ce niveau de pollution peut être réduit par des contributions volontaires, notées a_i , avec $A = \sum_i^n a_i$ étant la somme des contributions volontaires. La fonction $b(A)$ désigne ainsi la fonction de bénéfice lié à la réduction de la quantité de pollution.

Cette dernière affecte les individus selon la fonction de désutilité $d(\tilde{P}, s^j)$, convexe en P : $d_P > 0$, $d_{PP} \geq 0$ et $d_P < \infty$. s^j est une variable qualitative définissant la sensibilité environnementale de l'individu i . Comme dans le chapitre précédent, cette variable a deux niveaux : un niveau faible, noté s^l , et un niveau élevé, noté s^h , avec $s^l < s^h$. Enfin, faisons l'hypothèse que $d_{P s^j} \geq 0$: un individu très sensible à l'environnement ne subira pas une désutilité marginale liée à la pollution moins élevée qu'un individu moins sensible à l'environnement, pour un même niveau de pollution.

Comme dans le chapitre précédent, nos agents économiques sont plus ou moins optimistes concernant la distribution du risque de pollution annoncée par le régulateur. De manière similaire à Salanié et Treich (2009), considérons deux types d'individus.² Les individus sont *peu optimistes* s'ils considèrent que la pollution sera faible ($\underline{E}$) avec probabilité r , et élevée ($\bar{E}$) avec probabilité $1 - r$, avec $r > q$. Ils sont *fortement optimistes* s'ils considèrent que la pollution sera faible ($\underline{E}$) avec probabilité v , et élevée ($\bar{E}$) avec probabilité $1 - v$, avec $v > r \geq q$. Formellement, notons π_i (respectivement $1 - \pi_i$) les croyances de l'individu i concernant l'occurrence d'un niveau faible du risque de pollution (respectivement d'un niveau élevé) : $\pi_i = \{r, v\}$. Dans la suite du modèle, nous caractériserons par le couple (π_i, s^j) l'individu i aux croyances $(\pi_i, 1 - \pi_i)$, et à la sensibilité s^j .³

2. Salanié et Treich (2009) considèrent des individus pessimistes et optimistes. Comme dans le chapitre précédent, nous ne considérons que des individus optimistes car ici ce sont ceux qui, *a priori*, contribuent le moins pour améliorer la qualité environnementale, toutes choses égales par ailleurs.

3. De fait, quatre profils différents sont possibles : (r, l) , (r, h) , (v, l) et (v, h) . Enfin, il serait tout à fait possible d'avoir des individus avec les mêmes croyances que le régulateur, (q, l) et (q, h) , par exemple en posant $\pi_r = q$.

Enfin, les individus sont dotés d'un revenu fixe w , pouvant être réparti entre la consommation privée, notée $c_{i,j}$, et les contributions volontaires, notées $a_{i,j}$, afin d'améliorer la qualité environnementale. L'utilité de la consommation est $u(c_{i,j})$, avec $u'(\cdot) > 0$ et $u''(\cdot) \leq 0$. L'utilité espérée de l'individu i est ainsi notée

$$\mathbb{E}(U_{i,j}) = u(w - a_{i,j}) - \pi_i d(\underline{P}, s^j) - (1 - \pi_i) d(\bar{P}, s^j) \quad (3.2)$$

Chaque individu maximise l'équation (3.2) sous la contrainte $a_{i,j} \geq 0$. La condition de premier ordre pour une solution intérieure est donnée par

$$-u'(w - a_{i,j}^p) + b'(A) (\pi_i d_P(\underline{P}, s^j) + (1 - \pi_i) d_P(\bar{P}, s^j)) = 0 \quad (3.3)$$

où $a_{i,j}^p$ désigne le niveau privé de contribution de l'individu i . La condition de second ordre est vérifiée.⁴

3.1.2 Programme du régulateur

Dans le chapitre précédent, nous avons fait l'hypothèse d'un régulateur parfaitement informé des caractéristiques intrinsèques de chaque individu (information complète). Nous relâchons ici cette hypothèse⁵, et nous supposons que le régulateur connaît la sensibilité environnementale des individus, mais non leur perception du risque (information incomplète).⁶ Considérons ainsi un régulateur *paternaliste*, c'est-à-dire qui prend en compte ses propres croyances q et $1 - q$. Le programme du régulateur s'écrit ainsi :

$$\max_{a_{i,j}} \sum_i^N (u(w - a_{i,j}) - q d(\underline{P}, s^j) - (1 - q) d(\bar{P}, s^j)) \quad (3.4)$$

On obtient la proposition suivante,

Proposition 4 *Considérons une population dont les individus diffèrent dans leur sensibilité environnementale et dans leur perception du risque. Alors,*

4. Nous avons :

$$u''(w - a_{i,j}^p) + b''(A) (\pi_i d_P(\underline{P}, s^j) + (1 - \pi_i) d_P(\bar{P}, s^j)) - (b'(A))^2 (\pi_i d_{PP}(\underline{P}, s^j) + (1 - \pi_i) d_{PP}(\bar{P}, s^j)) < 0$$

5. En effet, comme nous le verrons dans la section suivante, pour connaître l'optimum social, nous devons connaître le type et la sensibilité de chaque sujet. Cependant, dans notre expérience, nous ne pouvons pas connaître ces deux informations *ex ante*. Seule la sensibilité environnementale sera connue avant le début du jeu de bien public. Ainsi, nous proposons le calcul de l'optimum social d'un régulateur paternaliste.

6. Les résultats aux élections, et en particulier la proportion des individus ayant voté pour des partis écologistes, pourraient servir d'approximation pour la proportion d'individus sensibles à l'environnement.

i) A l'équilibre privé, tous les individus sous-contribuent par rapport à l'optimum social (calculé avec les croyances du régulateur), qui est le même pour tous.

ii) Les individus les plus optimistes ne sont pas nécessairement ceux qui contribuent le moins. En particulier, on a : $a_{v,l}^p < a_{r,l}^p < a_{r,h}^p$ et $a_{v,l}^p < a_{v,h}^p < a_{r,h}^p$, mais rien d'autre ne peut être dit sans hypothèses supplémentaires, notamment sur le classement entre $a_{r,h}^p$ et $a_{v,l}^p$.

Concernant le point i) de cette proposition, nous avons obtenu le même résultat dans le chapitre précédent : ce résultat est un cas particulier de celui obtenu dans le chapitre précédent. L'intuition est que les individus ne prennent pas en compte l'impact de leurs contributions dans le bénéfice des autres individus lorsqu'ils calculent leur optimum privé. Le point ii) est dû à l'introduction de la sensibilité des individus s^j , et au fait que l'optimum social est calculé avec les croyances du régulateur. Comme expliqué dans le chapitre précédent, ce résultat est différent de celui d'Etner *et al.* (2007, 2009). Dans leur papier, les différences dans les contributions des individus sont expliquées par une différence dans la perception du risque. Dans notre cas, la sensibilité environnementale peut plus que compenser la différence dans la perception du risque. Étant donné que les individus sous-contribuent par rapport à l'optimum social calculé avec les préférences du régulateur, nous allons considérer des instruments incitatifs (une taxe, puis un *nudge*) afin d'augmenter le niveau des contributions individuelles.

3.1.3 Modèle avec taxe

Considérons l'introduction d'une taxe exogène afin d'augmenter le niveau des contributions individuelles. Plus précisément, les individus sont taxés sur la différence entre le niveau socialement optimal et leur niveau de contribution. Considérons une taxe linéaire, notée $t(a_{i,j})$, avec $t'(a_{i,j}) < 0$ et

$$t(a_i) = \begin{cases} \tau(a^* - a_{i,j}) & \text{si } a_{i,j} < a^* \\ 0 & \text{si } a_{i,j} \geq a^* \end{cases}$$

Le nouveau programme de l'individu i est :

$$\max_{a_{i,j}} u(w - a_{i,j} - t(a_{i,j})) - \pi_i d(\underline{P}, s^j) - (1 - \pi_i) d(\bar{P}, s^j) \quad (3.5)$$

La condition de premier ordre pour une solution intérieure a_i^t est telle que :

$$-(1 - \tau)u'(w - a_{i,j}^t - t(a_{i,j}^t)) + b'(A) (\pi_i d_P(\underline{P}, s^j) + (1 - \pi_i) d_P(\bar{P}, s^j)) = 0 \quad (3.6)$$

Nous obtenons la proposition suivante,

Proposition 5 *Considérons un régulateur qui met en place une taxe exogène sur les contributions non fournies par rapport à l'optimum social. Alors, pour les individus (r, l) et (v, h) , nous avons :*

- i) Si $a_{r,l}^P = a_{v,h}^P$ alors $a_{r,l}^t \geq a_{v,h}^t$ ssi $d_{PPP} \leq 0$.*
- ii) Si $a_{r,l}^P > a_{v,h}^P$ alors $a_{r,l}^P > a_{v,h}^P$ ssi $d_{PPP} \leq 0$. On ne peut pas conclure autrement.*
- iii) Si $a_{r,l}^P < a_{v,h}^P$ alors $a_{r,l}^P > a_{v,h}^P$ ssi $d_{PPP} \geq 0$. On ne peut pas conclure autrement.*

Ainsi, la mise en place de la taxe ne tient pas compte de la sensibilité environnementale. Nous avons obtenu le même résultat dans le chapitre précédent. En particulier, nous avons argué que la non-prudence (ou imprudence) était l'hypothèse la plus vraisemblable, car en nous appuyant sur les travaux de Menezes *et al.* (1980), Kimball (1990) et Crainich et Eeckhoudt (2005, 2008), cela signifie que les individus préfèrent combiner un risque additionnel avec le niveau de pollution faible ($\underline{E}$). De ce fait, la taxe ne permet pas toujours de discriminer les contributions des individus selon leur sensibilité environnementale. Dans l'expérience décrite dans la suite de ce chapitre, nous ne testons pas précisément ce résultat, car nous n'élíciterons pas la prudence. Néanmoins, nous testerons tout de même un traitement avec la mise en place d'une telle taxe, pour comparer son efficacité avec celle d'un *nudge*.

Dans la sous-section suivante, nous allons rappeler que la mise en place d'un *nudge* peut théoriquement discriminer les contributions des individus selon cette sensibilité environnementale.

3.1.4 Modèle avec *nudge*

Comme dans le chapitre précédent, le *nudge* considéré consiste en l'annonce d'une information. Plus précisément, les individus sont informés sur le niveau de l'optimum social. En suivant le chapitre précédent, faisons l'hypothèse que la réaction des individus à un tel *nudge* est modélisée par la fonction $g(a_{i,j} - \hat{a}|s^j)$, avec $g(0) = 0$, $g_{a_i} < 0$ et $g_{a_i a_i} \geq 0$. L'intuition est que les individus vont subir un coût psychologique si leur contribution est différente du niveau annoncé. Cette annonce sert de point de référence (ou point d'ancrage) aux agents économiques (Tversky et Kahneman (1974)).

Nous faisons l'hypothèse que le coût moral marginal est d'autant plus grand que la sensibilité environnementale de l'individu i est grande : $g_{a_i s^j}(\cdot | s^j) < 0$. Dans l'expérience décrite plus bas, nous testerons en particulier cette hypothèse.

Lorsque le régulateur a fait son annonce, chaque individu va désormais maximiser le programme suivant :

$$\max_{a_{i,j}} u(w - a_{i,j}) - \pi_i d(\underline{P}, s^j) - (1 - \pi_i) d(\bar{P}, s^j) - g(a_{i,j} - \hat{a} | s^j) \quad (3.7)$$

La condition de premier ordre pour une solution intérieure privée a_i^n est donnée par :

$$-u'(w - a_{i,j}^n) + b'(A) (\pi_i d_P(\underline{P}, s^j) + (1 - \pi_i) d_P(\bar{P}, s^j)) - g_{a_i}(a_{i,j}^n - \hat{a} | s^j) = 0 \quad (3.8)$$

Nous obtenons ainsi la proposition suivante,

Proposition 6 *Considérons un régulateur qui dissémine une information sur l'optimum social. Alors :*

- i) Tous les individus augmentent leur niveau de contribution.*
- ii) Les individus les plus sensibles sont ceux qui réagissent le plus au nudge. Plus précisément, si pour deux individus $a_{r,l}^p = a_{v,h}^p$ et $a_{r,l}^t = a_{v,h}^t$, alors $a_{r,l}^n < a_{v,h}^n$.*

Comme dans le chapitre précédent, nous obtenons que la réaction au *nudge* que nous proposons (prenant la forme de la dissémination d'une information) peut dépendre directement de la sensibilité environnementale des individus (contrairement à la taxe présentée précédemment). L'avantage d'un tel instrument réside dans le fait qu'il n'est pas nécessaire de connaître les niveaux de contribution des individus. En effet, l'annonce ne va faire réagir que ceux qui dévient du niveau annoncé. À nouveau, cela présente une différence avec la taxe pour laquelle il est nécessaire de connaître les niveaux de contributions individuelles. Remarquons cependant que dans le cas d'une taxe ambiante (comme initialement proposée par Segerson (1988)), le niveau agrégé des contributions est une information suffisante. Mais dans ce cas, si le niveau recherché n'est pas atteint, tout le monde paiera la taxe, quel que soit le niveau des contributions individuelles.

Dans la section suivante, nous allons décrire le protocole expérimental que nous considérons afin de tester les principaux résultats obtenus jusqu'à présent.

3.2 Protocole expérimental

Nous allons commencer par décrire le design de l'expérience. Nous nous tournerons ensuite vers les prédictions attendues par rapport à la forme paramétrique choisie pour représenter le modèle, ainsi que vers les hypothèses comportementales. Nous terminerons la section en établissant le lien avec des expériences similaires.

3.2.1 Cadre général de l'expérience

L'expérience a été mise en place en avril 2016 au sein du Laboratoire d'Économie Expérimentale de Strasbourg (LEES). Au total, 6 sessions ont été organisées, chacune avec 24 sujets (soit un total de 144 sujets), d'une durée d'une heure environ. Le gain moyen des sujets a été de 16,05 euros (avec un écart type de 3,58).

Première étape : détermination de la sensibilité environnementale

Dans un premier temps, les sujets ont été assignés à un ordinateur de manière aléatoire, et les instructions (présentes dans l'appendice) ont été lues à voix haute. Elles ont informé les sujets qu'ils allaient participer à une expérience économique dans laquelle ils auraient à prendre des décisions d'investissement. Les sujets ont été informés que l'expérience se déroulerait sur deux étapes, et que leur gain final serait égal à la somme des gains individuels obtenus à chaque étape. Si les sujets avaient des questions, un expérimentateur venait leur répondre de manière individuelle.

Durant la première étape du jeu, les sujets devaient répondre à un questionnaire pour déterminer leur sensibilité environnementale. 28 affirmations (détaillées dans l'appendice) ont été sélectionnées à partir du *General Ecological Behavior scale* (GEB). Il s'agit d'un questionnaire initialement développé par Kaiser (1998).⁷ L'objectif est de mesurer l'attitude écologique des sujets dans différents domaines (dont le tri des déchets, la conservation de l'eau et de l'énergie, l'utilisation de manière écologique de l'automobile, etc.).⁸ Ces affirmations se présentent de la façon suivante : 17 sont formulées de manière pro-écologique,

7. La version originale de ce questionnaire contient 40 affirmations. Par contrainte de temps, et pour ne pas fatiguer les sujets pour la suite du jeu, nous avons choisi la version contenant 28 affirmations développée par Davis *et al.* (2009, 2011). De plus, cette version raccourcie présente une cohérence interne acceptable : alpha de Cronbach = 0.76 chez Davis *et al.* (2009), et alpha de Cronbach = 0.75 chez Davis *et al.* (2011).

8. "The major goal of measuring ecological behavior is determining whether a person who generally behaves more ecologically is more likely to behave more ecologically in some set of specific ecological behaviors than a person who generally behaves less ecologically. [...] For example, such an approach makes it possible to take into account a person who generally behaves ecologically and yet drives an automobile, an activity that may contrast with all of his or her other ecologically oriented behavior." (Kaiser (1998), p. 402).

les 11 restantes de manière anti-écologique. Les sujets devaient donner leur niveau d'approbation pour chaque affirmation. Cinq réponses étaient possibles : «*Jamais*», «*Rarement*», «*De temps en temps*», «*Souvent*» et «*Toujours*». Les réponses ont été recodées de 1 pour «*Jamais*» à 5 pour «*Toujours*» (et inversement pour les affirmations anti-écologiques). La moyenne des scores totaux (moyenne = 104) de la première session a servi de référence pour les autres sessions, afin de départager les individus sensibles des individus peu sensibles. Les sujets dont le score total était en dessous de la moyenne étaient considérés comme ceux qui étaient les moins sensibles à l'environnement. Dans la seconde étape de cette expérience, ils étaient désignés comme étant un *Joueur A*. Ceux dont le score total était supérieur à la moyenne étaient considérés comme ceux étant les plus sensibles à l'environnement. Ils étaient alors désignés comme un *Joueur B* dans la seconde étape. Avant de répondre à ce questionnaire, les sujets ne savaient pas que leurs réponses allaient déterminer leur rôle pour la seconde étape. Nous leur avons demandé de répondre honnêtement, et nous les avons payés 5 euros pour cette tâche.

Deuxième étape : jeu de bien public

Pour la seconde étape de cette expérience, les sujets ont été assignés à des groupes fixes (Partenaires) de 4 personnes de manière aléatoire. Ils ont été informés qu'ils allaient être un *Joueur A* ou un *Joueur B*, selon leurs réponses à l'étape précédente. Nous leur avons expliqué que leurs gains n'allaient pas être les mêmes selon leur rôle. Afin de permettre une comparaison directe entre les sujets ayant une sensibilité environnementale différente, nous avons choisi de former des groupes de *Joueurs A* et des groupes de *Joueurs B*. Au cours des 6 sessions, nous avons obtenu 5 groupes mixtes (constitués à la fois de *Joueurs A* et de *Joueurs B*) qui ne sont pas considérés dans le reste de l'analyse.

Les sujets ont alors joué à un jeu de bien public durant 15 périodes. En particulier, les instructions leur expliquaient qu'ils vivaient dans une communauté dans laquelle, selon les experts du gouvernement, il y avait un risque de pollution. La pollution pouvait être faible avec probabilité 0.5, ou élevée avec probabilité 0.5. Les sujets étaient dotés d'un montant fixe de 10 jetons qu'ils pouvaient répartir entre un *compte privé* et un *compte environnement*. Ils ont alors été informés que le compte privé était utilisé pour leur consommation personnelle. Un investissement d'un jeton dans ce compte allait leur profiter de manière privée. En revanche, le compte environnement était un compte collectif utilisé pour réduire le niveau de pollution. Un investissement d'un jeton dans ce compte allait réduire le niveau de pollution pour tous les membres du groupe.

En plus d'un groupe de contrôle, 2 traitements ont été mis en place. Dans le premier traitement (*Nudge*), un *nudge* a été mis en place. Comme détaillé dans le modèle présenté dans la section précédente, il a pris la forme de l'annonce de la contribution socialement optimale au début de chaque période. En particulier, les sujets pouvaient lire le message suivant sur leur écran :

"La meilleure solution pour l'environnement et votre groupe est d'investir 10 jetons dans le compte environnement."

Nous sommes conscient qu'un tel message peut induire des effets de demande de la part de l'expérimentateur comme mis en avant par Zizzo (2010). Il s'agit "d'indices" amenant les sujets à se comporter d'une manière à vouloir satisfaire l'expérimentateur.⁹ Cependant, nous pourrions également soutenir que cette demande est inhérente à l'utilisation des *nudges*. En effet, si on considère les études de terrain vues dans le premier chapitre (Schultz *et al.* (2007), Nolan *et al.* (2008), Goldstein *et al.* (2008), Allcott (2011), Ayres *et al.* (2013), Costa et Kahn (2013) ou Ferraro et Price (2013)), les foyers peuvent déduire de l'envoi des rapports (avec la moyenne des consommations des autres et l'utilisation d'émoticônes), qu'il leur est suggéré de réduire leur consommation d'énergie. Néanmoins, nous avons essayé de limiter cet effet. Dans les instructions, nous avons mis en évidence qu'une information apparaîtrait à l'écran, et nous avons rappelé aux sujets qu'ils seraient totalement libres de suivre, ou non, cette information. Nous leur avons rappelé que toutes les décisions seraient prises de manière anonyme. Enfin, pour limiter ces effets de demande au niveau social, l'expérimentateur qui a conduit chaque session n'était pas un enseignant de l'université.

Dans le deuxième traitement (*Taxe*), les sujets étaient taxés sur la différence entre la contribution socialement optimale et leur niveau de contribution (si celui-ci était inférieur à la contribution socialement optimale). La fonction de la taxe est décrite plus bas.

Enfin, avant que le jeu de bien public ne commence, les sujets ont répondu à un questionnaire de compréhension de 10 questions. Si un sujet commettait plus de 2 erreurs, l'expérimentateur venait expliquer les erreurs.

9. Zizzo (2010) distingue deux types d'effets de demande : les effets de demande *cognitifs* (liés à la formulation des instructions, par exemple) et les effets de demandes *sociaux* (liés à une relation verticale entre l'expérimentateur et les sujets, comme le fait d'utiliser ses propres étudiants pour une expérience).

Élicitation de l'optimisme et questionnaire socio-démographique

À la fin de ce jeu, l'optimisme des sujets a été élicité par un questionnaire psychologique : le *Life Orientation Test* (LOT), initialement proposé par Scheier et Carver (1985). Les auteurs définissent l'optimisme par ce qu'ils appellent "l'accomplissement généralisé des attentes", c'est-à-dire l'espérance qu'ont les individus concernant la réalisation d'événements favorables (ou non).¹⁰ Ainsi, les auteurs ont créé un questionnaire permettant de mesurer l'optimisme.¹¹ Dans cette expérience, nous utilisons la version revue (*Life Orientation Test Revised* (LOT-R)) proposée par Scheier et *al.* (1994).¹² Comme pour le GEB, les sujets devaient indiquer leur niveau d'approbation concernant 10 affirmations, dont deux formulées négativement. Cinq réponses étaient possibles : «*Pas du tout d'accord*», «*Pas d'accord*», «*Neutre*», «*D'accord*» et «*Entièrement d'accord*». Les réponses ont été recodées de 1 pour «*Pas du tout d'accord*» à 5 pour «*Entièrement d'accord*» (et inversement pour les deux affirmations formulées négativement). Les sujets dont le score était compris entre 10 et 30 ont été considérés comme ceux étant les moins optimistes. Ceux dont le score était compris entre 31 et 50 ont été considérés comme étant les plus optimistes. Des questions socio-démographiques (détaillées dans l'appendice) ont complété ce questionnaire. Le programme de cette expérience a été développé par Kene Boun My avec la plateforme en ligne *EconPlay*.¹³

3.2.2 Paramètres de l'expérience

Pour le groupe de contrôle et le traitement avec *nudge*, les gains des sujets ont été donnés selon la fonction de gain suivante :

$$\pi_i = 650 + 6(10 - a_i) - 0.175(10 - a_i)^2 - \left(\left(\tilde{E} - 0.1 \sum_{i=1}^4 a_i \right)^2 - 12.9s^j \left(\tilde{E} - 0.1 \sum_{i=1}^4 a_i \right) \right) \quad (3.9)$$

avec a_i le niveau de contribution de l'individu i , $s^j \in \{s^l, s^h\}$ sa sensibilité environnementale avec $s^l = 0$ et $s^h = 1$. $\tilde{E}$ est le niveau aléatoire de pollution. A son niveau faible, il est égal à 5, et à son niveau élevé il est égal à 20.¹⁴

10. "Our own theoretical approach emphasizes a person's expectancies of good or bad outcomes" (Scheier et Carver (1985), p. 223).

11. "In searching the preexisting literature, we could find no measure of optimism that focused exclusively on the assessment of generalized-outcome expectancies. Thus, we decided to construct our own scale" (Scheier et Carver (1985), pp. 223-224).

12. Scheier et *al.* (1994) expliquent que la version classique a été critiquée pour son incapacité à distinguer optimisme et neuroticisme, c'est-à-dire la tendance pour un individu à exprimer des émotions négatives.

13. www.econplay.fr

14. Ainsi, il n'était pas possible d'éliminer entièrement la pollution.

Pour le traitement avec taxe, la fonction de gain incluait une taxe linéaire (comme celle présentée dans la section précédente) portant sur la différence entre 10 (la contribution socialement optimale) et leur niveau de contribution, avec $\tau = 0.487$.¹⁵ Le tableau 3.1 détaille les optima privés et sociaux selon le type de joueur.

Tableau 3.1: Optima privés et sociaux

	Optimum privé Contrôle	Optimum privé Nudge	Optimum privé Taxe	Optimum social
Joueur A	0	> 0	2	10
Joueur B	3	> 3	10	10

Rappelons que ces équilibres ont été calculés avec les croyances du régulateur. En effet, pour calculer les équilibres avec les croyances des individus, il aurait été nécessaire de connaître la composition de chaque groupe *ex ante*. Dans ce cas, il aurait fallu répliquer l'expérience plusieurs fois pour avoir un nombre suffisant de groupes de même composition, afin de pouvoir les comparer entre eux. Dans notre cas, nous sommes principalement intéressé par l'impact de ces instruments sur les variations des niveaux de contribution. En particulier, nous voulons vérifier si le niveau des contributions augmente suivant leur mise en place. De plus, nous nous intéressons essentiellement à l'impact de la sensibilité sur la réaction des individus à ces instruments.

Pour faciliter la tâche des sujets, ils ont reçu quatre tableaux pour les gains, exprimés en ECU (Experimental Currency Units) : un pour chaque type de joueur (*Joueur A* et *B*) dans chaque situation (niveaux faible et élevé de pollution). Le taux de conversion était de 40 jetons pour un euro. De plus, avant qu'ils ne prennent leurs décisions, les sujets avaient la possibilité d'utiliser un simulateur sur l'ordinateur.¹⁶ Une fois leurs simulations terminées, les sujets pouvaient indiquer leur niveau d'investissement. À la fin de chaque période, les sujets étaient informés du niveau de pollution, du niveau total investi par le groupe ainsi que de leur gain pour la période.

3.2.3 Hypothèses comportementales

Selon le modèle développé dans la section précédente, nous pouvons nous attendre à une augmentation du niveau de contribution sous la mise en place de la taxe et du *nudge*.

15. Ce taux marginal de taxation n'était pas le taux optimal pour les *Joueurs A*, mais pouvait être considéré comme l'étant pour les *Joueurs B* car ces derniers devaient théoriquement investir 9,49 jetons. Cependant, les sujets ne pouvaient investir que des entiers. Ainsi, on peut retenir la prédiction théorique de 10 jetons sous ce taux marginal de taxation pour les *Joueurs B*.

16. Le simulateur était disponible durant trois minutes. Les sujets pouvaient choisir leur niveau d'investissement dans le compte environnement, et les gains possibles pour chaque joueur dans chaque état de la nature pour ce niveau d'investissement s'affichaient à l'écran.

Néanmoins, nous nous attendons à ce que les groupes de *Joueurs B* (les plus sensibles à l'environnement) réagissent plus fortement au *nudge* que les groupes de *Joueurs A* (les moins sensibles à l'environnement). En effet, puisque les *Joueurs B* sont les plus sensibles, et qu'avec la mise en place du *nudge* nous nous appuyons sur cette sensibilité, la prise de conscience de leur part devrait être plus forte.

Concernant la taxe, nous proposons la mise en place d'une taxe similaire à celle de Falkinger *et al.* (2000). Plus précisément, les auteurs testent expérimentalement le mécanisme de taxe/subvention proposé par Falkinger (1996) : les individus sont taxés (subventionnés) sur la distance entre leur niveau de contribution et la moyenne des contributions des autres individus. Il est ainsi possible de restaurer l'optimalité sociale en choisissant le taux de taxation (subvention) optimal. Les auteurs montrent que l'équilibre de Nash est généralement un bon prédicteur de ce que nous pouvons attendre au niveau des contributions. De ce fait, nous pouvons faire l'hypothèse que les sujets vont contribuer au niveau de la solution théorique.

Néanmoins, la taxe mise en place dans cette expérience a ceci de particulier qu'elle porte sur la différence entre la contribution socialement optimale et le niveau de contribution des sujets. Comme pour le *nudge*, nous pouvons penser que le fait d'annoncer aux sujets qu'ils seront taxés s'ils contribuent moins que l'optimum social va induire un effet d'ancrage (comme vu précédemment). Par ailleurs, contrairement à l'annonce faite avec le *nudge*, il n'est pas précisé qu'il s'agit de la meilleure solution pour l'environnement. Ainsi l'hypothèse alternative est que les niveaux des contributions entre les groupes de *Joueurs A* et *B* vont être moins hétérogènes que sous la mise en place du *nudge*.

3.2.4 Relation avec les expériences similaires

Notre expérience s'inscrit dans la lignée des expériences qui ont testé les effets des incitations non monétaires en laboratoire. En particulier, toute une littérature s'est développée autour des expériences portant sur l'approbation sociale (Masclot *et al.* (2003), Rege et Telle (2004), Dugar (2010, 2013), Lefebvre et Stenger (2016)).¹⁷ Dans un jeu de ressources collectives, Delaney et Jacobson (2015) s'intéressent à l'utilisation des messages normatifs pour réduire l'appropriation des ressources. Dans un traitement, les auteurs mettent en place un message informatif.¹⁸ Avec ce message, les auteurs obtiennent une

17. Chaudhuri (2011) propose une revue des mécanismes monétaires et non-monétaires afin de maintenir la coopération dans le temps.

18. Si les sujets s'appropriaient plus la ressource que le niveau optimal, ils pouvaient lire le message suivant à la fin de chaque période : "During the last period, your group earned a total of [somme des profits individuels]. The maximum your group could have earned was \$3.24. Your group earned LESS than it could have in that period. To increase your group's total payoff, your group should REDUCE its

diminution du niveau d'appropriation de 0.549%. La plus forte diminution du niveau d'appropriation, de l'ordre de 11.441%, est observée avec la mise en place du message normatif avec communication.¹⁹

De par la nature du *nudge* que nous proposons, cette expérience est similaire aux expériences de bien public avec recommandations. En effet, notre *nudge* consiste en l'annonce de la contribution socialement optimale. Dans leur expérience, Marks *et al.* (1999) se sont intéressés à l'impact de recommandations dans un jeu de bien public avec seuil. Les auteurs obtiennent que de telles recommandations augmentent de manière significative la proportion de provisions efficaces du bien public lorsque les sujets sont hétérogènes dans leur évaluation du bien public. Dans une autre expérience, Croson et Marks (2001) obtiennent que les contributions recommandées diminuent la variance des contributions individuelles, à nouveau lorsque les sujets sont hétérogènes dans leur évaluation du bien public. Oxoby et Spraggon (2007) ont mis en place de telles recommandations en plus d'incitations monétaires pour réduire le niveau de pollution ambiante. Cependant, ils n'obtiennent pas d'effet significatif de la mise en place des recommandations. Enfin, Dal Bó et Dal Bó (2014) ont comparé la mise en place d'appels moraux avec les contributions recommandées. Les auteurs montrent que les appels moraux induisent un niveau de contribution supérieur aux contributions recommandées. Notre expérience se situe davantage dans la même lignée que Dal Bó et Dal Bó (2014) car notre *nudge* s'appuie également sur la sensibilité des sujets, en plus de l'effet d'ancrage causé par l'annonce de la contribution socialement optimale.

Enfin, de par la contextualisation de notre jeu de bien public, notre expérience se rapproche également de celles portant sur l'atténuation du changement climatique. Milinski *et al.* (2008) proposent une expérience se déroulant sur 10 périodes, dans laquelle les sujets peuvent contribuer dans un "compte climat" pour éviter un risque de perte (qui survient si le seuil de 120 euros n'est pas atteint). Trois traitements sont mis en place : dans le premier le risque de perte de la dotation restante si le seuil n'est pas atteint est de 90%, dans le deuxième elle est de 50%, dans le dernier de 10%. Les auteurs montrent que la probabilité de perte est déterminante pour le succès d'atteinte du seuil : plus la probabilité de perte

investment in the BLUE investment." Si les sujets investissaient au niveau optimal, alors il pouvaient lire le message suivant sur leur écran : "Your group earned as much as it could have in that period. Your group is investing in the BLUE investment at the right level to maximize your group payoff." (Delaney et Jacobson (2015), p.8).

19. Si les sujets s'appropriaient plus la ressource que le niveau optimal, ils pouvaient lire le message suivant à la fin de chaque période : "Your group earned LESS than it could have in last period! :(In previous experiments, many groups contributed LESS to BLUE than your group did, and the members of those groups earned more as a result. To boost your group's earnings, DO NOT put so much in BLUE!" Si le groupe investissait au niveau optimal, alors le message suivant apparaissait à l'écran : "Your group earned as much as it could have last period! :) To maintain your group's earnings, do not change the total number of tokens in the BLUE investment!" (Delaney et Jacobson (2015), p.9).

est élevée, plus le seuil est atteint. Dannenberg *et al.* (2015) étudient également l'effet de l'ambiguïté en utilisant la même expérience. Ils comparent le traitement avec ambiguïté avec un traitement en certain, et un traitement avec risque. Ils obtiennent que le seuil est le plus souvent atteint avec le traitement en certain, puis avec le traitement avec risque, et enfin avec le traitement avec ambiguïté. Tavoni *et al.* (2011) utilisent la même expérience que Milinski *et al.* (2008), avec une probabilité de perte de 50% si le seuil n'est pas atteint. Contrairement à Milinski *et al.* (2008), les auteurs s'intéressent à l'inéquité entre joueurs. Plus particulièrement, le jeu se déroulait également sur 10, mais avec les 3 premières périodes inactives (les joueurs ne pouvaient pas choisir le montant de leur contribution). Dans un premier traitement, tous les sujets investissaient automatiquement 2 euros par période pour les 3 premières périodes. Dans un deuxième traitement, la moitié du groupe investissait automatiquement 4 euros par période pour les 3 premières périodes, alors que l'autre moitié n'investissait rien. L'objectif de ces traitements était d'imiter une situation de contribution volontaire pour l'atténuation du changement climatique entre pays riches et pauvres. Les auteurs constatent que l'inéquité réduit l'occurrence d'atteinte du seuil. La raison étant que les sujets les "moins riches" ne veulent pas compenser l'absence de contribution des joueurs les "plus riches". Les auteurs ont également ajouté deux traitements, reprenant les deux précédents, dans lesquels les sujets pouvaient annoncer (de manière non contraignante) ce qu'ils pensaient contribuer à la fin des troisième et septième périodes. Cela a eu pour effet d'augmenter de manière significative le taux de succès pour le traitement avec inéquité. En revanche, il n'y a eu aucune hausse significative du taux de succès pour le traitement avec équité. Un dernier type d'expériences s'intéresse au compromis entre adaptation et atténuation du changement climatique (Hasson *et al.* (2010, 2012)). Hasson *et al.* (2010) comparent un traitement avec un coût du désastre faible, et un autre traitement avec un coût du désastre élevé. Dans le premier traitement, 47% des sujets ont choisi d'atténuer le changement climatique, contre 25% des sujets dans le deuxième traitement. Dans une autre expérience, Hasson *et al.* (2010) comparent le même jeu en situation certaine et en situation risquée, mais ne trouvent pas de différence significative dans le choix de l'atténuation entre les deux types de jeu. Notre expérience se différencie de ces expériences portant sur l'atténuation du changement climatique dans le sens où les contributions des sujets ne sont pas perdues. À nouveau, dans notre expérience, la pollution ne pouvait jamais être totalement éliminée. Néanmoins, dès lors qu'un sujet contribuait, son niveau était réduit.

Dans la section suivante, nous allons analyser les résultats de cette expérience.

3.3 Résultats

Nous allons commencer par nous intéresser aux mesures psychologiques (GEB et LOT-R). Ensuite, en analysant les niveaux agrégés de contribution, nous observerons les effets des traitements sur les deux types de groupe. Enfin, nous analyserons les déterminants des contributions individuelles à l'aide d'une analyse économétrique.

3.3.1 Mesures psychologiques

Nous commençons par les résultats du questionnaire sur la sensibilité environnementale (GEB). Sur les 28 affirmations, le score moyen par affirmation a été de 3,66 (écart-type = 1,29). Dans l'ensemble, ce test présente une cohérence interne acceptable (alpha de Cronbach = 0.74).²⁰ Autrement dit, on peut considérer que ce questionnaire mesure une même variable, ici la sensibilité environnementale.

Concernant le test pour l'optimisme (LOT-R), le score moyen par affirmation a été de 3,39 (écart-type = 1,08). La cohérence interne de ce questionnaire est moyennement acceptable (alpha de Cronbach = 0.63).²¹

Dans le modèle présenté plus haut, ainsi que dans le chapitre précédent, nous avons clairement distingué la sensibilité environnementale de l'optimisme des individus. Pourtant, nous aurions pu conjecturer que la sensibilité environnementale d'un individu donné aurait une influence sur son degré d'optimisme. Par exemple, un individu peu sensible à l'environnement (car ne tenant pas compte de l'impact de ses actions sur la qualité de l'environnement) pourrait penser que le risque de pollution est faible car, pour cet individu, la notion environnementale n'est pas une notion importante (et inversement pour un individu très sensible à l'environnement). En ce sens, les résultats du modèle ne seraient pas différents de ceux obtenus par Etner *et al.* (2007, 2009) : les plus optimistes, qui seraient aussi les moins sensibles, contribueraient moins que les moins optimistes, qui seraient également les plus sensibles. Nous n'aurions que deux profils différents. De fait, la corrélation entre ces deux variables est très faible ($\rho = -0.069$). À l'aide d'un test de corrélation de Spearman, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse que ces deux variables ont une corrélation nulle ($p\text{-value} = 0.447$). Nous obtenons ainsi le résultat suivant,

Résultat 1 : *L'hypothèse selon laquelle la sensibilité environnementale et l'optimisme*

20. Dans les études précédentes ayant utilisé ce questionnaire, la cohérence interne observée a été : $\alpha = 0.73$ chez Kaiser et Biel (2000), $\alpha = 0.74$ chez Kaiser et Wilson (2000), $\alpha = 0.76$ chez Corral-Verdugo *et al.* (2009) et $\alpha = 0.86$ chez Scanell et Gifford (2010).

21. D'autres études ont obtenu un alpha de Cronbach pour ce questionnaire similaire : $\alpha = 0.68$ chez Glaesmer *et al.* (2012), $\alpha = 0.58$ chez Zenger *et al.* (2013).

sont deux caractéristiques distinctes semble appropriée.

Le fait que cette hypothèse soit supportée est de bon augure pour le modèle théorique que nous avons proposé. Il faut tout de même garder à l'esprit que la cohérence interne du questionnaire sur l'optimisme des sujets n'est que moyennement acceptable. De ce fait, ce résultat pourrait être nuancé. Pour la suite de ce chapitre, nous allons continuer de distinguer la sensibilité environnementale et l'optimisme des sujets.

Nous allons maintenant nous intéresser aux niveaux des contributions individuelles des sujets en tenant compte de ces deux caractéristiques psychologiques. Dans la première proposition de la section précédente, nous avons établi qu'il n'était pas possible de classer totalement les niveaux des contributions des individus selon leur profil. Le tableau 3.2 présente la moyenne des contributions individuelles par profil, à la première période dans le groupe de contrôle. Nous considérons la première période car c'est la seule durant laquelle les contributions individuelles sont indépendantes les unes des autres. Au cours des périodes suivantes, l'histoire du groupe, au niveau des contributions, est prise en compte dans les choix d'investissements des sujets. C'est en ce sens que l'indépendance est perdue.

Tableau 3.2: Moyenne des contributions individuelles par profil (écart-type entre parenthèses) - Groupe de contrôle.

Profil	Contribution individuelle
	moyenne (Écart-type)
(v, s^h)	5.94
	(2.41)
	17 obs.
(v, s^l)	4.33
	(2.97)
	15 obs.
(r, s^h)	5.80
	(1.92)
	5 obs.
(r, s^l)	4.17
	(1.15)
	7 obs.

Nous pouvons observer que, quel que soit l'optimisme des sujets, le niveau des contributions individuelles est d'autant plus élevé que la sensibilité environnementale l'est aussi. En revanche, il n'y a pas de différence significative entre les niveaux de contribution selon le profil (test de Kruskal-Wallis, $p\text{-value} = 0.119$). Ainsi, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse que les sujets ne diffèrent pas dans le groupe de contrôle. Même s'il n'y a pas de

différence significative, il semble que la sensibilité seule soit la caractéristique qui détermine le niveau des contributions. Nous pourrions vérifier ce point avec l'analyse économétrique.

3.3.2 Analyse des contributions moyennes par groupe

Afin de vérifier les effets des traitements sur le niveau des contributions, nous allons nous intéresser aux contributions moyennes par groupe.

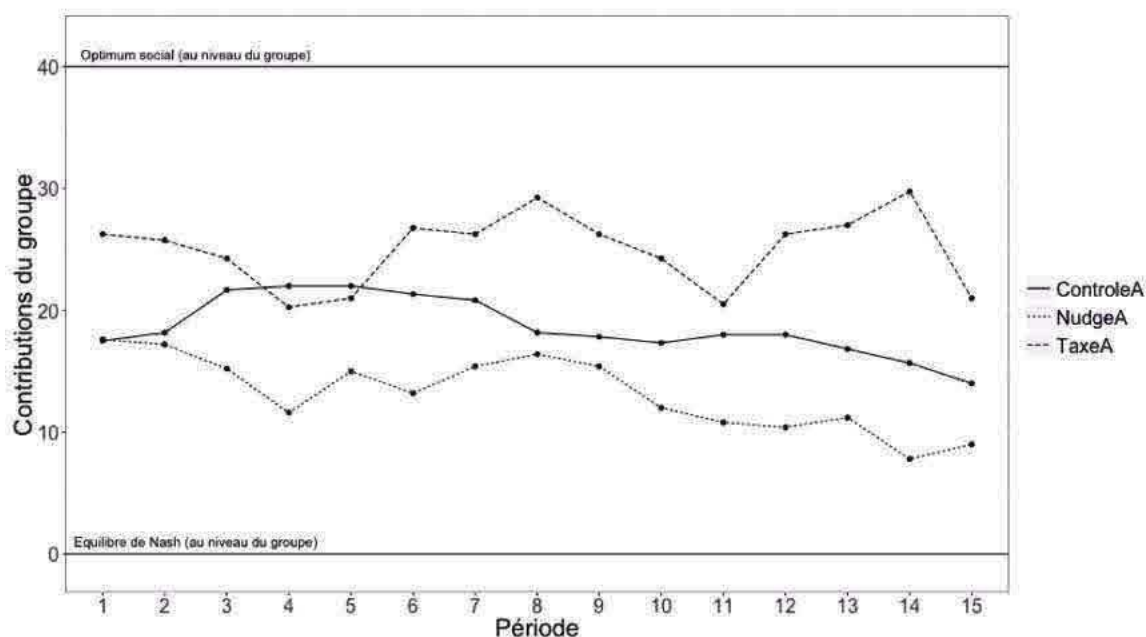
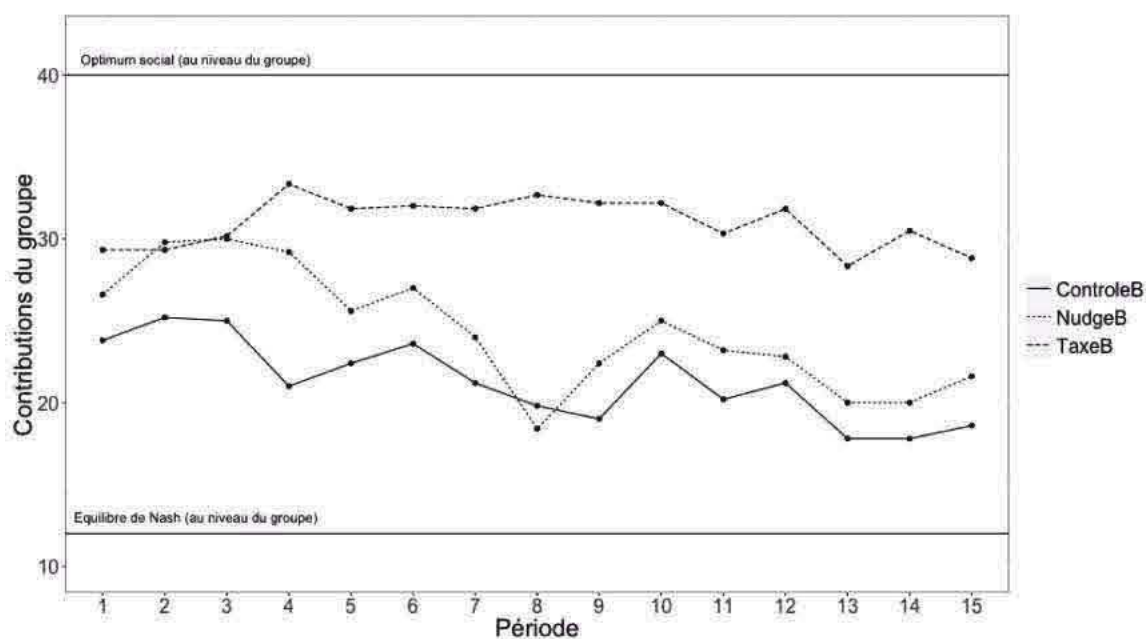
Le tableau 3.3 présente les contributions moyennes par type de groupe et par traitement. Nous pouvons noter que, quel que soit le traitement, les *Joueurs B* contribuent plus, en moyenne, que les *Joueurs A*. Par ailleurs, pour ces derniers, la mise en place du *nudge* diminue le niveau des contributions par rapport au groupe de contrôle, contrairement à la taxe : la différence dans les niveaux des contributions entre ces deux instruments est très marquée pour les *Joueurs A*. Pour les *Joueurs B*, la mise en place du *nudge* augmente le niveau des contributions moyen par rapport au groupe de contrôle, mais la mise en place de la taxe induit un niveau encore supérieur.

Tableau 3.3: Moyenne des contributions par groupe (écart-type entre parenthèses).

	Contrôle	Nudge	Taxe
Groupes A	18.62 (5.13)	13.21 (8.25)	24.98 (6.92)
	6 groupes	5 groupes	4 groupes
Groupes B	21.31 (4.32)	24.37 (5.88)	30.98 (6.05)
	5 groupes	5 groupes	6 groupes

La dynamique des contributions par groupe est illustrée avec les figures 3.1 et 3.2 (respectivement pour les *Joueurs A* et *B*). Les tendances observées avec le tableau 3.3 se retrouvent dans ces deux figures. Nous pouvons également remarquer, pour les deux types de joueurs, que le niveau des contributions diminue pour le groupe de contrôle et le traitement avec *nudge*. La mise en place de la taxe semble stabiliser le niveau des contributions pour les *Joueurs B*. En revanche, pour les *Joueurs A* le niveau des contributions semble davantage erratique.

Pour confirmer ces observations, nous conduisons des tests au niveau des moyennes des contributions à l'échelle du groupe. Dans le groupe de contrôle, les *Joueurs A* contribuent moins que les *Joueurs B*, mais cette différence n'est pas significative (test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.120$). Même si la moyenne des contributions pour les *Joueurs A* sous la mise en place du *nudge* est inférieure à celle observée avec le groupe de contrôle, la différence n'est pas significative (test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.234$). De même, la mise en place du *nudge* n'induit pas une hausse significative du niveau des contributions pour les *Joueurs B* (test de Mann-Whitney-Wilcoxon

FIGURE 3.1: Contributions moyennes par groupe et par période (*Joueurs A*)FIGURE 3.2: Contributions moyennes par groupe et par période (*Joueurs B*)

bilatéral, $p\text{-value} = 0.144$).²² Notons cependant que les niveaux des contributions diffèrent significativement entre les *Joueurs A* et *B* (test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.012$). Ceci laisserait à penser que la réaction au *nudge* proposé dépendrait de la sensibilité environnementale, étant donné que les niveaux des contributions ne diffèrent pas entre ces deux types de joueurs dans le groupe de contrôle.

22. En toute rigueur, l'hypothèse avec la mise en place du *nudge* est que le niveau des contributions devrait augmenter. De ce fait, le test correspondant est un test unilatéral. Pour les *Joueurs B*, la $p\text{-value}$ associée à un tel test est 0.072. Ainsi, le *nudge* induit une hausse marginale du niveau des contributions. Nous garderons toutefois la $p\text{-value}$ du test bilatéral car c'est le test adapté dans notre cas.

Concernant l'effet du *nudge* sur le niveau des contributions pour les *Joueurs B*, nous pouvons observer sur la figure 3.2 qu'à l'exception de la période 8, le niveau des contributions avec le *nudge* est toujours plus élevé que celui pour le groupe de contrôle. Il s'avère que si nous considérons les sept premières périodes de traitement, le niveau des contributions avec la mise en place du *nudge* est significativement plus élevé que celui observé avec le groupe de contrôle (test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.012$). Ainsi, nous pourrions penser que notre *nudge* est un instrument de court terme.

Ce dernier point constitue l'une des deux différences avec la mise en place de la taxe. En effet, le niveau des contributions, pour chaque type de joueurs, est significativement plus élevé sous la mise en place de la taxe (durant les 15 périodes) par comparaison avec le groupe de contrôle (test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.042$ pour les *Joueurs A*, et $p\text{-value} = 0.008$ pour les *Joueurs B*). Le deuxième point est qu'il n'y a pas de différence significative entre les niveaux des contributions des *Joueurs A* et *B* (test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.166$). Il semblerait donc que, contrairement au *nudge*, la réaction à la taxe ne dépend pas directement de la sensibilité environnementale.

Nous obtenons ainsi le résultat suivant :

Résultat 2 : *a) La taxe induit une augmentation significative du niveau des contributions pour les Joueurs A et B par comparaison avec le groupe de contrôle (sur l'ensemble des 15 périodes). Le nudge n'induit une augmentation du niveau des contributions que pour les Joueurs B durant 7 périodes.*

b) Les niveaux des contributions des Joueurs A et B ne diffèrent pas (significativement) sous la mise en place de la taxe, mais diffèrent (significativement) sous la mise en place du nudge.

Comme évoqué plus haut, ces deux instruments diffèrent pour deux raisons : contrairement à la taxe, ce *nudge* dépend directement de la sensibilité environnementale et, lorsqu'il est efficace, l'augmentation des contributions ne se fait pas durant toute sa mise en place.

Dans la section suivante nous analysons les déterminants des décisions individuelles.

3.3.3 Analyse des décisions individuelles

Afin d'analyser les décisions individuelles, nous adoptons la même stratégie employée par Préget *et al.* (2016). Les auteurs estiment un modèle Tobit avec effets aléatoires corrélés, dont la méthode est basée sur l'article de Wooldridge (2005). En particulier, ce dernier propose une solution afin d'estimer des modèles en données de panel non-linéaires.

En effet, nous souhaitons contrôler pour l'effet de la contribution à la période $t - 1$ sur le choix de la contribution à la période t . Inclure une telle variable crée un problème d'endogénéité.²³ Wooldridge (2005) a ainsi proposé de conditionner la distribution de l'effet non-observé sur la valeur initiale (ici la contribution à la période 1) et sur un ensemble de variables exogènes. Le coefficient de la contribution à la première période sera noté α_1 . Les coefficients des variables exogènes (qui seront les niveaux de pollution aux périodes précédentes) seront associés au vecteur α_2 .

Dans notre expérience, les sujets pouvaient choisir un niveau de contribution compris entre 0 et 10 jetons.²⁴ Notons a_{it} la contribution de l'individu i à la période t (comme dans le modèle présenté en début de chapitre). Le modèle que nous estimons est donc :

$$a_{it} = \begin{cases} 0 & \text{if } a_{it}^* \leq 0 \\ a_{it}^* & \text{if } 0 < a_{it}^* < 10 \\ 10 & \text{if } a_{it}^* \geq 10 \end{cases}$$

Le modèle latent est donné par

$$a_{it}^* = \rho a_{i,t-1} + z_{it}\gamma + \lambda_i + v_{it}$$

avec γ le vecteur des variables indépendantes, λ_i est un effet aléatoire individuel et v_{it} l'erreur standard de la régression, supposée suivre une loi Normale. A partir de cette spécification, nous pouvons écrire la fonction de vraisemblance pour chaque individu :

$$\prod_{t=1}^{15} f_t(a_{it}|z_{it}, a_{i,t-1}, \lambda_i; \theta)$$

avec l'ensemble des paramètres qui vont être estimés, regroupés dans le vecteur θ . Par ailleurs, comme dans le papier de Wooldridge (2005), nous faisons l'hypothèse que $h(\lambda_i|a_{i1}, z_i; \delta)$ désigne la distribution conditionnelle de λ_i par rapport à (a_{i1}, z_i) , avec δ l'ensemble des paramètres, et $z_i \equiv (z_{i1}, \dots, z_{i15})$. En effet, cette hypothèse supplémentaire est nécessaire car, pour estimer notre modèle, il faut intégrer la vraisemblance par rapport à λ_i . Ainsi,

23. L'endogénéité peut venir du fait que le choix de la décision en période t peut être corrélée avec la décision qui été prise en période $t - 1$.

24. Puisque le niveau des contributions est censuré, il semble approprié d'analyser les décisions individuelles par un modèle Tobit.

la vraisemblance individuelle s'écrit maintenant :

$$l_i(\theta, \delta) = \int \left(\prod_{t=1}^{15} f_t(a_{it}|z_{it}, a_{i,t-1}, \lambda_i; \theta) \right) h(\lambda_i|a_{i1}, z_i; \delta) \eta(d\lambda_i)$$

avec $\eta(d\lambda_i)$ une mesure σ -finie. Enfin, la densité conditionnelle de λ_i est notée

$$\lambda_i|a_{i1}, z_i \sim N(\alpha_0 + \alpha_1 a_{i1} + z_i \alpha_2, \sigma_\lambda^2)$$

Les résultats de cette estimation sont présentés dans le tableau 3.4. La variable *décision*_{*t*-1} désigne la contribution de l'individu *i* à la période *t* - 1. Les variables *t2* et *t3* sont des variables dichotomiques pour les traitements, respectivement avec *nudge* et *taxe*. Elles prennent la valeur 1 si l'individu a reçu le traitement en question. De manière similaire, les variables *sensibilité* et *optimisme* sont des variables dichotomiques prenant respectivement la valeur 1 si l'individu est sensible (score supérieur à 104 au questionnaire GEB), et 1 si l'individu est peu optimiste (score inférieur ou égal à 30 au questionnaire LOT-R). La variable *période* permet de capturer l'effet du temps sur le niveau de contribution. Enfin, nous incluons plusieurs variables socio-démographiques (mais aucune n'est significative) : une variable *genre* (prenant la valeur 1 si l'individu est une femme), une variable pour l'*âge*, pour la *formation* (prenant la valeur 1 si l'individu a reçu une formation en économie), une variable *volontaire* (prenant la valeur 1 si l'individu fait partie d'une association caritative), une variable *sport* (prenant la valeur 1 si l'individu fait partie d'un club sportif), une variable *politique* (prenant la valeur 1 si l'individu fait partie d'un parti politique), et une variable *religion* (prenant la valeur 1 si l'individu est catholique).

Nous avons estimé deux modèles. Dans ces deux cas, les décisions individuelles sont expliquées positivement par la contribution à la première période (significatif à 1%), le niveau de contribution à la période précédente (significatif à 1%), et négativement par la période (significatif à 1%). Les revues de littérature de Ledyard (1995) et Chaudhuri (2011) expliquent que dans les expériences de bien public, les contributions individuelles des sujets diminuent avec le temps. Une raison est que les sujets sont des coopérateurs conditionnels imparfaits (Keser et van Winden (2000), Fischbacher *et al.* (2001)). Au début du jeu, les sujets coopèrent. En revanche, au fur et à mesure des périodes, les sujets réduisent leur niveau de contribution lorsque les autres membres du groupe le font : les sujets ne veulent pas être les seuls à contribuer pour le bien public.

Dans le premier modèle, le traitement avec *taxe* a un effet positif et significatif (à

Tableau 3.4: Régression Tobit.

Variable	(1)		(2)	
	Coeff.	(S.E)	Coeff.	(S.E)
Contribution à la 1ère période	0.500***	(1.020)	0.479***	(0.099)
Décision _{t-1}	0.177***	(0.048)	0.177***	(0.42)
Période	-0.122***	(0.027)	-0.122***	(0.023)
t2	-0.302	(0.772)	-1.765	(1.094)
t3	1.876*	(1.051)	1.756*	(0.972)
Sensibilité	1.981**	(0.825)	1.308	(1.038)
Sensibilité×t2			3.198*	(1.735)
Pollution _{t-1}	-0.191	(0.165)	-0.192	(0.184)
Optimisme	-0.270	(0.577)	-0.290	(0.733)
Constante	0.496	(4.021)	0.517	(3.370)
σ_λ	1.973***	(0.235)	1.904***	(0.226)
σ_v	2.967***	(0.195)	2.967***	(0.182)
LR $\chi^2(17)$	27.587***		27.587***	
Log-likelihood	-3520.575		-3516.689	
Nombre d'individus	124		124	
Nombre d'observations	1736		1736	

Les erreurs standards (entre parenthèses) sont calculées selon la méthode du bootstrap
Significativité statistique : 1% (***), 5% (**) et 10% (*)

10%) sur le niveau des contributions individuelles, quelle que soit la sensibilité des sujets. Par ailleurs, la variable *sensibilité* a également un effet positif et significatif (à 5%) sur le niveau des contributions. Ce n'est pas le cas de la variable *optimisme* qui n'est pas significative. De-même, le traitement avec *nudge* n'a aucun effet significatif sur le niveau des contributions. En revanche, nous avons vu avec l'analyse non-paramétrique que l'effet du *nudge* sur les contributions à l'échelle du groupe n'était pas le même selon les groupes d'individus (peu sensibles avec les *Joueurs A*, ou très sensibles avec les *Joueurs B*).

De ce fait, nous avons estimé un second modèle, dans lequel nous avons ajouté la variable croisée *sensibilité*×*t2* afin de capturer l'effet sur le niveau de contribution d'être sensible et de recevoir le *nudge*. Le coefficient de cette variable est positif et significatif (à 10%). D'où le résultat suivant,

Résultat 3 : *La sensibilité environnementale est un déterminant de la réaction au nudge proposé dans cette expérience.*

Ainsi, ce résultat semble aller dans la direction du modèle présenté dans ce chapitre ainsi que le précédent. Néanmoins, ce résultat peut être nuancé dans la mesure où nous avons vu, au début de cette section, que nous ne pouvions pas exclure la possibilité que les sujets ne diffèrent pas dans leurs caractéristiques intrinsèques dans le groupe de contrôle.

Par ailleurs, nous avons calculé le ratio de vraisemblance pour chacun des deux modèles.

Ce ratio compare la vraisemblance du modèle dynamique avec celle d'un modèle statique (sans la variable $décision_{t-1}$). Dans les deux cas, le test est significatif (à 1%), ce qui conforte le recours à un modèle dynamique.²⁵

3.4 Analyse de l'efficacité des instruments

Jusqu'à présent, nous nous sommes concentré sur les effets des traitements, ainsi que sur les déterminants des décisions individuelles. Dans une optique de comparaison de ces deux instruments, nous allons procéder à une analyse des gains en bien-être à l'échelle du groupe. Deux mesures de la performance sont considérées : l'efficacité et la robustesse. Spraggon (2002) a été le premier à s'intéresser à la mesure de l'efficacité pour quantifier la performance de la taxe ambiante. Plus précisément, cette dernière mesure l'amélioration en bien-être par rapport à l'optimum social. Plus tard, Cochard *et al.* (2005) et Willinger *et al.* (2014) ont complété l'approche par le calcul de la robustesse. Willinger *et al.* (2014) précisent que cette dernière est une mesure de la *prédictibilité* d'un instrument, car des niveaux d'efficacité proches devraient être observés si la mise en place des instruments est répétée dans le temps avec exactement les mêmes conditions.

Dans la sous-section suivante, nous analysons l'efficacité de chaque instrument. Nous étudions leur robustesse dans la deuxième sous-section.

3.4.1 Efficacité des instruments

Afin de mesurer l'amélioration en bien-être due à la mise en place d'instruments incitatifs (principalement la taxe ambiante), Spraggon (2002) a proposé le taux d'efficacité comme indicateur. Notons W^o le bien-être du groupe en l'absence de régulation (calculé avec les équilibres privés théoriques), et W^* le bien-être du groupe à l'optimum social.²⁶ Enfin, notons W le bien-être du groupe observé. Le taux d'efficacité à la période t , noté ϵ_t , est défini par :

$$\epsilon_t = \frac{E(W_t) - E(W^o)}{E(W^*) - E(W^o)}$$

Ainsi, avec un instrument calibré de telle façon qu'il devrait restaurer l'optimalité sociale, le taux d'efficacité devrait être égal à 100%. Dans notre cas, nous avons vu dans la section précédente que l'investissement socialement optimal, à l'échelle du groupe, n'est pas

25. L'hypothèse nulle de ce test est $H_0 : \rho = \alpha_0 = \alpha_1 = 0$, c'est-à-dire, le modèle est statique.

26. Plus précisément, le bien-être du groupe est calculé à l'aide de l'équation (3.4). Ainsi, en l'absence de régulation, le bien-être du groupe pour les *Joueurs A*, chacun investissant 0 jeton, est égal à 1920 ECU. Pour les *Joueurs B*, investissant chacun 3 jetons, il est égal à 1414.86 ECU. À l'optimum social, le bien-être pour un groupe de *Joueurs A* est de 2086 ECU, et de 1647.40 pour un groupe de *Joueurs B* (dans les deux cas, l'équation (3.4) est évaluée pour une contribution individuelle égale à 10 jetons).

atteint (en moyenne). Notons par ailleurs que nous travaillons ici en bien-être espéré, car la pollution est stochastique. De plus, la taxe est considérée comme un transfert nul dans le calcul du bien-être, car il s'agit d'un transfert au sein de l'économie qui n'est ni gagné ni perdu.

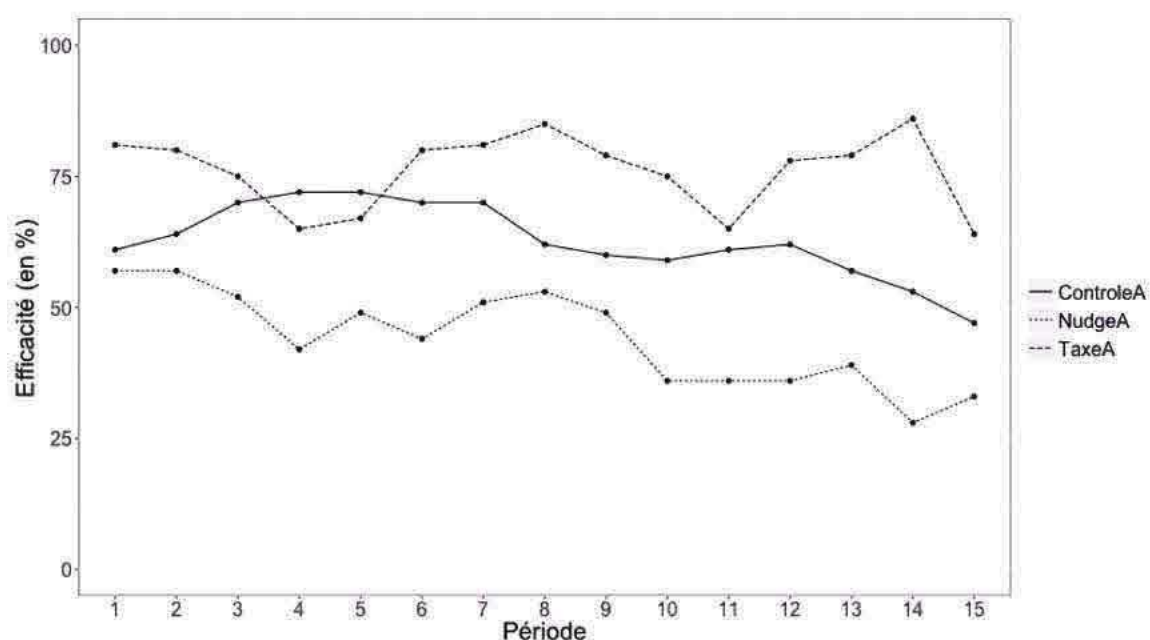
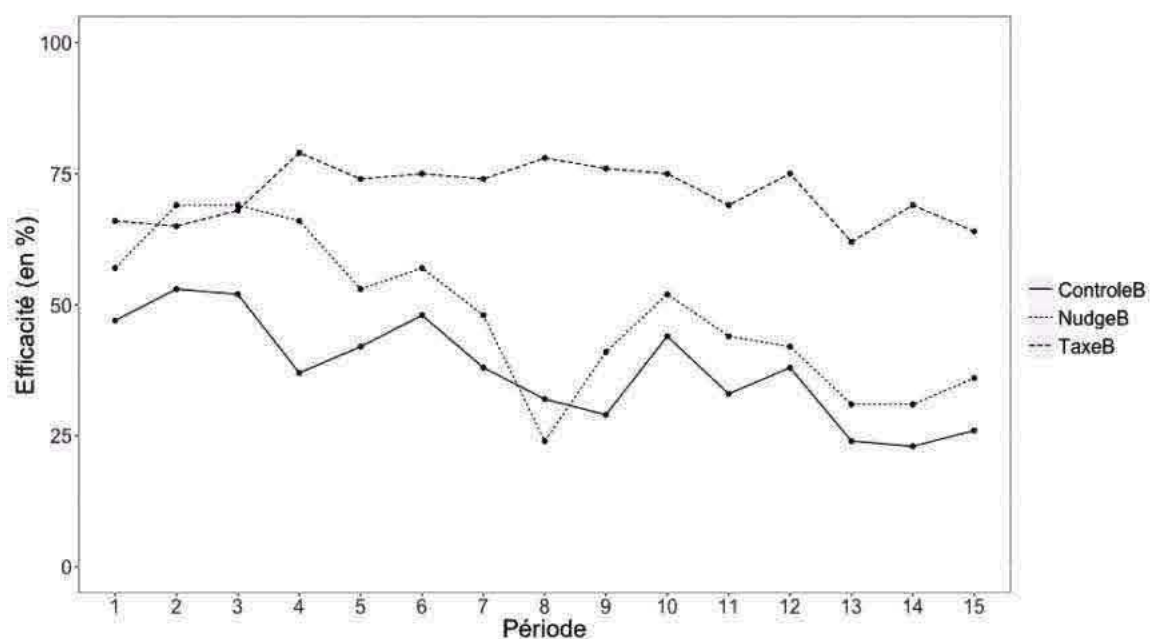
L'évolution de l'efficacité moyenne par groupe et par traitement est présentée avec les figures 3.3 (*Joueurs A*) et 3.4 (*Joueurs B*). Dans le groupe de contrôle, l'efficacité moyenne est plus élevée avec les groupes de *Joueurs A* qu'avec les groupes de *Joueurs B*. Nous avons vu dans la section précédente que les niveaux de contribution des deux types de groupes (*Joueurs A* et *B*) ne différaient pas de manière significative. Cependant, alors qu'au niveau du groupe les *Joueurs A* ne devaient rien investir et les *Joueurs B* devaient investir 12 jetons, les contributions moyennes ont été respectivement de 18.62 et 21.31 jetons (Tableau 3.3). Ceci peut expliquer pourquoi les taux d'efficacité des *Joueurs A* sont plus élevés que pour les *Joueurs B* pour le groupe de contrôle.

Avec le *nudge*, l'efficacité semble diminuer par rapport au groupe de contrôle pour les groupes de *Joueurs A*, alors qu'elle semble augmenter pour les groupes de *Joueurs B* (à l'exception de la période 8). Avec la mise en place de la taxe, l'efficacité augmente par rapport au groupe de contrôle dans les deux types de groupes, à des niveaux comparables. Pour illustrer le calcul du taux d'efficacité, nous considérons l'exemple suivant à partir des données que nous avons obtenues. Notre exemple concerne le premier groupe de *Joueurs A* à la première période. Dans le groupe de contrôle, la somme des contributions a été de 20 jetons, soit un bien-être du groupe de 2027.05 ECU. Nous rappelons que le bien-être du groupe pour des *Joueurs A* à l'équilibre de Nash est de 1920 ECU, alors qu'il est de 2086 ECU à l'optimum social. Le taux d'efficacité est de 64.49%. Avec le *nudge*, la somme des contributions à la première période a été de 19 jetons, soit un bien-être observé de 2025.14 ECU, et un taux d'efficacité de 63.34%. Enfin, avec la taxe, la somme des contributions, à la première période pour le premier groupe, a été de 25 jetons. Le bien-être observé du groupe est de 2054.68 ECU, et le taux d'efficacité est de 81.13%.²⁷

Dans le tableau 4.7, nous avons reporté les taux d'efficacité moyens (en %) par groupe et par traitement, ainsi que les taux d'efficacité asymptotiques, dont nous détaillons l'estimation plus bas.²⁸ En effet, comme le rappellent Cochard *et al.* (2005) et Willinger *et al.* (2014), l'utilisation des moyennes ne permet pas de prendre en compte la possibilité d'un

27. Notons que les taux illustrés dans les figures 3.3 et 3.4 sont des taux moyens (sur l'ensemble des groupes).

28. Le taux d'efficacité asymptotique correspond au taux d'efficacité que nous pourrions observer à très long terme suivant la mise en place d'un instrument.


 FIGURE 3.3: Efficacité moyenne par groupe et par période selon le traitement (*Joueurs A*)

 FIGURE 3.4: Efficacité moyenne par groupe et par période selon le traitement (*Joueurs B*)

apprentissage de la part des sujets, car la moyenne associe le même poids à chaque période. Pour ce faire, les auteurs se sont inspirés de Noussair *et al.* (1995) pour estimer des valeurs asymptotiques qui prennent en compte cette possibilité d'apprentissage, en incluant une variable pour la période.²⁹ Ainsi, nous avons estimé le modèle suivant (Noussair *et al.*

29. Plus précisément, la variable considérée est l'inverse de la période $\left(\frac{1}{t}\right)$, afin d'estimer, avec le temps, le taux d'efficacité seul. En effet, plus le jeu est avancé dans le temps (c'est-à-dire plus t est grand), moins cette variable est élevée, et plus nous tendons vers le taux d'efficacité asymptotique.

(1995)) :

$$\epsilon_{it} = \epsilon^\infty + \epsilon^0 \frac{1}{t} + \mu_i + v_{it} \quad (3.10)$$

avec l'indice i pour le groupe et t désigne la période. La variable aléatoire μ_i capture les effets aléatoires au niveau du groupe, et nous supposons qu'elle est normalement distribuée. v_{it} est un terme d'erreur. ϵ^∞ désigne l'efficacité asymptotique lorsque t tend vers l'infini. Plus cette valeur approche 100 pour un instrument donné, plus cet instrument est robuste. ϵ^0 est la variable permettant de prendre en compte l'apprentissage éventuel au cours des périodes. Enfin, l'efficacité en première période est estimée par $\epsilon^\infty + \epsilon^0$.

Tableau 3.5: Moyenne des taux d'efficacité par groupe et par traitement (en %) et taux d'efficacité asymptotiques (en gras) .

	Contrôle	Nudge	Taxe
Groupes A	62.68 61.44	44.27 39.05	75.97 74,83
Groupes B	37.79 32.59	47.89 41.13	71.19 72.49

Comme observé sur les deux figures précédentes, le taux d'efficacité moyen pour le groupe de contrôle pour les groupes de *Joueurs A* est supérieur, de manière significative, à celui des *Joueurs B* (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.008$). Le taux d'efficacité moyen est maximum durant la mise en place de la taxe pour les deux groupes, et diffère significativement du taux moyen d'efficacité observé avec les groupes de contrôle (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.070$ pour les *Joueurs A*, et $p\text{-value} = 0.006$ pour les *Joueurs B*) et les groupes ayant reçu le *nudge* (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.020$ pour les *Joueurs A*, et $p\text{-value} = 0.035$ pour les *Joueurs B*). La mise en place du *nudge* diminue significativement l'efficacité au sein des groupes de *Joueurs A* par rapport au groupe de contrôle (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.055$), mais n'induit pas de hausse significative par rapport au groupe de contrôle pour les *Joueurs B* (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.296$).

Suite à l'analyse des contributions que nous avons effectuée dans la section précédente, nous pouvions nous attendre à ces résultats. Cependant, nous voyons que cette analyse nous permet d'affiner notre propos car nous avons détecté un effet d'éviction sur le bien-être du groupe pour les *Joueurs A* avec le *nudge*. Cet effet n'avait pas été détecté dans la section précédente. Nous revenons sur une interprétation de ce résultat à la fin de cette sous-section.

Afin de confirmer les résultats précédents, nous estimons les taux d'efficacité asymptotiques selon l'équation (3.10) présentée plus haut. Le tableau 4.10 détaille ces estimations par groupe et par traitement.

Tableau 3.6: Estimation des taux d'efficacité asymptotiques.

Sequence	Contrôle		Nudge		Taxe	
	Gr. A	Gr. B	Gr. A	Gr. B	Gr. A	Gr. B
ϵ^0 (%)	5.61	23.53	23.58	30.65	5.14	-5.83
Err. St.	0.058	0.076	0.077	0.097	0.060	0.066
p-value	0.336	0.002	0.002	0.002	0.393	0.377
ϵ^∞ (%)	61.44	32.59	39.05	41.13	74.83	72.49
Err. St.	0.033	0.036	0.086	0.055	0.055	0.068
p-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Nous pouvons tester si les différences en termes d'efficacité (asymptotique) sont significatives.³⁰ Les résultats sont reportés dans les tableaux 3.7 et 3.8.

Tableau 3.7: p -values des tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique (Groupes de *Joueurs A*).

	Contrôle A	Nudge A
Nudge A	0.015	
Taxe A	0.037	0.000

Tableau 3.8: p -values des tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique (Groupes de *Joueurs B*).

	Contrôle B	Nudge B
Nudge B	0.194	
Taxe B	0.000	0.000

À partir de la lecture de ces tableaux, nous pouvons remarquer que l'efficacité asymptotique est significativement plus élevée avec la taxe pour les deux types de joueurs. Pour les *Joueurs A*, cette dernière est également significativement plus élevée dans le groupe de contrôle que sous la mise en place du *nudge*.

Par ailleurs, nous pouvons également tester si les coefficients de l'efficacité asymptotique diffèrent entre les deux types de joueurs. Nous les calculons pour un même type d'instrument incitatif mis en place. Le taux d'efficacité asymptotique dans le groupe de contrôle pour les *Joueurs A* est significativement supérieur à celui des *Joueurs B* (p -value = 0.000). Une fois les instruments incitatifs mis en place, plus aucune différence significa-

30. Nous appliquons la méthode proposée par Cochard *et al.* (2005). Afin de tester, par exemple, les efficacités asymptotiques $\epsilon_{\text{contrôle}}^\infty$ et $\epsilon_{\text{nudge}}^\infty$ (respectivement entre le contrôle et la mise en place du *nudge*) pour un type de joueurs donné, on calcule la statistique $z = \frac{(\epsilon_{\text{contrôle}}^\infty - \epsilon_{\text{nudge}}^\infty)}{(S_{\text{contrôle}}^2 - S_{\text{nudge}}^2)^{0.5}}$, avec $S_{\text{contrôle}}^2$ et S_{nudge}^2 les erreurs standards des coefficients $\epsilon_{\text{contrôle}}^\infty$ et $\epsilon_{\text{nudge}}^\infty$.

tive n'est observée entre les deux types de joueurs ($p\text{-value} = 0.840$ avec le *nudge* et $p\text{-value} = 0.787$ avec la taxe).

Ces observations sont résumées dans le résultat suivant,

Résultat 4 : *La taxe et le nudge induisent des niveaux d'efficacité différents. En particulier,*

a) la taxe est l'instrument induisant l'efficacité la plus élevée par rapport à la mise en place du nudge.

b) la mise en place du nudge a un effet négatif sur le bien-être total pour les groupes de Joueurs A.

Ce résultat semble appeler à cibler les individus concernant la mise en place du *nudge* que nous considérons dans cette expérience. En effet, un effet d'éviction au niveau du bien-être à l'échelle du groupe apparaît pour les individus les moins sensibles à l'environnement. Cet effet n'apparaît pas avec la mise en place de la taxe. Nous pouvons trouver une interprétation dans l'ouvrage de Joule et Beauvois (2014), dans lequel les auteurs discutent la notion d'*engagement*, c'est-à-dire "le lien qui existe entre l'individu et ses actes et, plus précisément, ses "actes comportementaux"" (p. 70). Ainsi, pour qu'un individu s'engage dans une action, ce dernier doit avoir par exemple une motivation à le faire. Pour les *Joueurs A*, c'est-à-dire ceux étant peu sensibles à l'environnement, le *nudge* pourrait être perçu comme une information qui vient renforcer cette absence de lien.

Dans la sous-section suivante nous étudions la robustesse des instruments que nous avons considérés dans cette expérience.

3.4.2 Robustesse des instruments

Cochard *et al.* (2005) et Willinger *et al.* (2014) ont également proposé de mesurer la robustesse (ou variabilité de l'efficacité) des instruments incitatifs. En particulier, ces auteurs mesurent la robustesse en termes absolus (avec la variabilité des contributions à l'échelle du groupe), et en termes relatifs (avec la variabilité de l'efficacité). La variabilité inter-groupes (ou entre groupes) mesure, pour chaque période, la variation en termes de contributions à l'échelle d'un groupe, par rapport à la moyenne des contributions de l'ensemble des groupes. Elle est donnée par

$$\frac{\left(\sum_{i=1}^I \frac{(A_i - \bar{A}_i)^2}{I} \right)^{0.5}}{\bar{A}_i}$$

où A_i désigne la somme des contributions du groupe i , et $\bar{A}_i$ la moyenne des contributions de l'ensemble des groupes. Cochard *et al.* (2005) précisent que cet indicateur mesure davantage l'absence de robustesse. En effet, une valeur du coefficient calculé élevée traduit une situation dans laquelle l'efficacité, entre groupes, est très volatile, alors que les conditions de mise en place de l'instrument sont les mêmes d'un groupe à l'autre.

Nous calculons également la variabilité inter-périodes (ou entre périodes) des contributions moyennes à l'échelle du groupe, qui nous renseigne également sur la robustesse d'un instrument. En effet, si un instrument est efficace, les contributions ne devraient pas beaucoup évoluer dans le temps. Pour la calculer, nous appliquons la méthode de Willinger *et al.* (2014). En particulier, cette dernière est donnée par

$$\frac{\left(\sum_{t=1}^{15} \frac{(A_t - \bar{A}_t)^2}{15} \right)^{0.5}}{\bar{A}_t}$$

avec A_t la somme des contributions à l'échelle du groupe à la période t , et $\bar{A}_t$ la moyenne des contributions totales du groupe sur l'ensemble des périodes.

Enfin, la variabilité inter-périodes de l'efficacité mesure, pour un groupe donné, l'évolution de l'efficacité dans le temps. Elle est notée $|\Delta\epsilon_{it}|$ et est égale à $|\epsilon_{it} - \epsilon_{it-1}|$. Plus l'écart entre deux périodes est petit en valeur absolue, plus la robustesse entre ces deux périodes est élevée.

Dans le tableau 4.11, nous présentons la variabilité inter-périodes des contributions par type de groupe selon le traitement. Cette variabilité est égale à 23.91% dans le groupe de contrôle pour les *Joueurs A*, et à 18.77% pour les *Joueurs B*, ce qui ne représente pas une différence significative (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.315$). Suite à la mise en place du *nudge*, la variabilité inter-périodes des contributions augmente, de manière significative, à hauteur de 45.71% dans les groupes de *Joueurs A* (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.037$). En revanche, la mise en place du *nudge* ne change pas de manière significative la variabilité inter-périodes des contributions pour les groupes de *Joueurs B* (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.676$).³¹ Enfin, la mise en place de la taxe ne change pas de manière significative la variabilité inter-périodes des contributions par rapport au groupe de contrôle pour les groupes de *Joueurs A* (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.337$), et réduit significativement cette dernière pour les groupes de *Joueurs B* (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral,

31. Les variabilités inter-périodes des contributions entre les groupes de *Joueurs A* et *B* diffèrent significativement (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.037$) sous la mise en place du *nudge*.

$p\text{-value} = 0.083$).³² La mise en place de la taxe réduit également significativement la variabilité inter-périodes des contributions par rapport à celle obtenue sous la mise en place du *nudge* pour les deux types de joueurs (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.020$ pour les *Joueurs A*, et $p\text{-value} = 0.083$ pour les *Joueurs B*).

Tableau 3.9: Variabilité moyenne inter-périodes (en %) des contributions par groupe selon le traitement.

	Contrôle	Nudge	Taxe
Groupes A	23.91	45.71	18.83
Groupes B	18.77	21.75	12.46

Tableau 3.10: Variabilité moyenne inter-groupes (en %) des contributions par groupe selon le traitement.

	Contrôle	Nudge	Taxe
Groupes A	23.68	58.64	24.47
Groupes B	16.24	18.74	18.71

L'analyse de la variabilité inter-groupes des contributions est présentée dans le tableau 3.10.³³ La variabilité inter-groupes des contributions est significativement plus faible dans les groupes de *Joueurs B* par rapport aux groupes de *Joueurs A* dans le groupe de contrôle (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.075$). La mise en place de la taxe ne permet pas de réduire significativement cet écart entre les deux types de joueurs (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.013$). De même, il n'y a pas de différence significative pour un même type de joueurs entre le groupe de contrôle et le traitement avec taxe (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.534$ pour les *Joueurs A*, et $p\text{-value} = 0.384$ pour les *Joueurs B*). En ce qui concerne la mise en place du *nudge*, l'écart dans la variabilité inter-groupes entre les deux types de joueurs n'est également pas réduit de manière significative (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.000$). En revanche, cette variabilité augmente entre le groupe de contrôle et le traitement avec *nudge* de manière significative pour les *Joueurs A* (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.000$), mais ne varie pas pour les *Joueurs B* (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.694$). Enfin, la mise en place du *nudge* augmente la variabilité entre groupes par rapport à celle observée sous la mise en place de la taxe pour les *Joueurs A* (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.000$), mais ne diffère pas pour les *Joueurs B* (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.561$).

32. Les variabilités inter-périodes des contributions entre les groupes de *Joueurs A* et *B* diffèrent significativement (Test de Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral, $p\text{-value} = 0.070$) sous la mise en place de la taxe.

33. A nouveau, nous appliquons la méthode de Willinger *et al.* (2014).

Nous avons rappelé au début de cette section que l'étude de la moyenne ne permet pas de tenir compte de l'apprentissage de la part des sujets. Nous terminons l'étude de la variabilité des contributions par l'estimation de l'efficacité asymptotique entre les périodes t et $t - 1$. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.11.

Tableau 3.11: Estimation de la variabilité de l'efficacité asymptotique entre périodes.

Sequence	Contrôle		Nudge		Taxe	
	Gr. A	Gr. B	Gr. A	Gr. B	Gr. A	Gr. B
Δ^0 (%)	-19.34	-4.18	-9.92	-18.50	-23.63	0.53
Err. St.	0.063	0.121	0.107	0.131	0.095	0.108
p-value	0.002	0.729	0.352	0.158	0.013	0.961
Δ^∞ (%)	12.74	14.55	14.13	19.96	14.75	13.71
Err. St.	0.016	0.025	0.022	0.032	0.021	0.039
p-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

À nouveau nous pouvons tester si les différences entre les coefficients de la variabilité de l'efficacité asymptotique entre périodes sont significatives. Nous appliquons la même méthode que pour les tests des coefficients de l'efficacité asymptotique. Les résultats sont reportés dans les tableaux 3.12 et 3.13.

Tableau 3.12: *p-values* des tests de comparaison des coefficients de la variabilité de l'efficacité asymptotique entre périodes (Groupes de *Joueurs A*).

	Contrôle	Nudge
Nudge	0.610	
Taxe	0.447	0.841

Tableau 3.13: *p-values* des tests de comparaison des coefficients de la variabilité de l'efficacité asymptotique entre périodes (Groupes de *Joueurs B*).

	Contrôle	Nudge
Nudge	0.184	
Taxe	0.857	0.215

Nous ne trouvons aucune différence significative entre les valeurs des coefficients de la variabilité de l'efficacité asymptotique entre périodes. De même, en testant la significativité des différences entre les coefficients pour un même type d'instrument mis en place, mais avec des types de joueurs différents (en comparant les *Joueurs A* et *B* entr eux), aucune différence significative n'est trouvée ($p\text{-value} = 0.542$ pour le groupe contrôle, $p\text{-value} = 0.134$ pour le *nudge* et $p\text{-value} = 0.818$ pour la taxe).

Nous analysons enfin la variabilité de l'efficacité moyenne. Cette dernière est présentée dans le tableau 3.14. Nous reportons dans les tableaux 3.15 et 3.16 les résultats des tests de comparaisons entre les coefficients obtenus.

Tableau 3.14: Variabilité de l'efficacité moyenne entre période (en %) par groupe selon le traitement.

	Contrôle	Nudge	Taxe
Groupes A	12.29	16.14	10.90
Groupes B	16.18	20.52	13.77

Aucune différence significative au niveau de la variabilité de l'efficacité moyenne inter-périodes n'est observée, à la fois entre les traitements, et entre les deux types de joueurs.

 Tableau 3.15: *p-values* des tests de comparaison des coefficients de la variabilité l'efficacité moyenne inter-périodes (Groupes de *Joueurs A*).

	Contrôle	Nudge
Nudge	0.121	
Taxe	0.915	0.111

 Tableau 3.16: *p-values* des tests de comparaison des coefficients de la variabilité l'efficacité moyenne inter-périodes (Groupes de *Joueurs B*).

	Contrôle	Nudge
Nudge	0.296	
Taxe	0.648	0.235

Aucune différence significative n'est détectée entre les groupes de *Joueurs A* et *B* pour un même traitement (*p-value* = 0.121 pour le groupe de contrôle, *p-value* = 0.144 pour le *nudge* et *p-value* = 0.456 pour la taxe). Cette observation semble indiquer qu'aucun instrument ne domine l'autre concernant la robustesse de l'efficacité.

La variabilité de l'efficacité asymptotique inter-groupes est estimée par le modèle en série temporelle suivant :

$$SG_t = SG^\infty + SG^0 \frac{1}{t} + v_t \quad (3.11)$$

où SG_t désigne la variabilité de l'efficacité inter-groupes à la période t (calculée par l'écart-type de l'efficacité entre groupes à la période t), v_t est le terme d'erreur qui suit un processus autorégressif d'ordre 1 (AR(1)), avec $v_t = \rho v_{t-1} + \lambda_t$, et λ_t est un résidu identiquement et indépendamment distribué. Dans le tableau 3.17, nous présentons les résultats de cette estimation.

Nous reportons les résultats des comparaisons des coefficients de la variabilité de l'efficacité asymptotique inter-groupes dans les tableaux 3.18 et 3.19.

Nous pouvons remarquer, pour les groupes de *Joueurs A*, que la variabilité de l'efficacité asymptotique inter-groupes ne diffère pas (de manière significative), suivant la mise en

Tableau 3.17: Estimation de la variabilité de l'efficacité asymptotique inter-groupes.

Sequence	Contrôle		Nudge		Taxe	
	Gr. A	Gr. B	Gr. A	Gr. B	Gr. A	Gr. B
SG^0 (%)	-12.59	-5.00	-4.68	-14.29	-5.82	-4.89
Err. St.	0.194	0.049	0.203	0.083	0.072	0.073
p-value	0.515	0.305	0.818	0.086	0.420	0.504
SG^∞ (%)	15.59	15.92	24.31	21.47	14.95	22.38
Err. St.	0.032	0.021	0.043	0.020	0.019	0.023
p-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

 Tableau 3.18: *p-values* des tests de comparaison des coefficients de la variabilité de l'efficacité asymptotique inter-groupes (Groupes de *Joueurs A*).

	Contrôle	Nudge
Nudge	0.103	
Taxe	0.865	0.047

 Tableau 3.19: *p-values* des tests de comparaison des coefficients de la variabilité de l'efficacité asymptotique inter-groupes (Groupes de *Joueurs B*).

	Contrôle	Nudge
Nudge	0.056	
Taxe	0.039	0.764

place du *nudge* et de la taxe, de celle observée avec le groupe de contrôle.³⁴ Par ailleurs, la situation opposée se produit avec les groupes de *Joueurs B*, car la variabilité de l'efficacité asymptotique inter-groupes est plus élevée avec le *nudge* et la taxe, par rapport au groupe de contrôle.

Aucune différence significative n'est détectée au niveau du groupe de contrôle entre les deux types de joueurs (*p-value* = 0.932). De-même, aucune différence significative n'est observée entre les deux types de joueurs pendant la mise en place du *nudge* (*p-value* = 0.549). En revanche, la variabilité de l'efficacité entre groupes est plus grande, de manière significative, chez les *Joueurs B* que chez les *Joueurs A* pendant la mise en place de la taxe (*p-value* = 0.013).

Nous pouvons résumer l'ensemble de ces observations dans le résultat suivant,

Résultat 5 : *Pour les groupes de Joueurs A, la dominance de la taxe par rapport au nudge en ce qui concerne la robustesse n'est que partiellement vérifiée. Pour les groupes de Joueurs B, aucun instrument ne domine l'autre.*

En effet, nous avons vu, pour les groupes de *Joueurs A*, que la taxe pouvait induire

34. Nous notons cependant une différence significative entre les groupes avec *nudge* et ceux avec taxe (pour les groupes de *Joueurs A*). La variabilité de l'efficacité asymptotique inter-groupes est plus faible avec la taxe.

une meilleure robustesse de l'efficacité par rapport au *nudge* (d'après les variabilités de l'efficacité inter-périodes et inter-groupes), mais que ces résultats n'étaient pas toujours confirmés (par la variabilité de l'efficacité inter-périodes asymptotique, par la variabilité de l'efficacité moyenne, et par la variabilité inter-groupes asymptotique).

Contrairement à la sous-section précédente, nous ne pouvons pas clairement trancher en faveur de la taxe car les résultats sont plus ambigus. Néanmoins, pour les groupes de *Joueurs A*, si nous considérons ce résultat avec la dominance partielle de la taxe, ainsi que le résultat précédent avec l'effet d'éviction sur leur bien-être, nous pourrions penser que la taxe puisse être préférée du point de vue des décideurs publics. Cependant, nous ne devons pas oublier, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, que la taxe peut être plus difficile à mettre en place à cause de son acceptabilité sociale. Par ailleurs, nous pouvons conclure, comme dans la sous-section précédente, que ce résultat semble indiquer qu'il est nécessaire de cibler correctement les individus lors de la mise en place d'un *nudge* similaire à celui que nous proposons.

3.5 Discussion des résultats

L'expérience proposée dans ce chapitre nous a permis d'affiner les différences entre la mise en place d'une taxe et celle du *nudge* considéré. Les différents résultats que nous avons obtenus peuvent avoir des conséquences en termes d'aide à la décision des agents.

Premièrement, d'après les résultats que nous avons obtenus au cours de cette expérience, la réaction au *nudge* que nous proposons semble dépendre directement de la sensibilité environnementale, contrairement à la réaction à la taxe mise en place. Ce résultat semble ainsi aller dans la direction du modèle que nous avons proposé. Par ailleurs, ce résultat est similaire à ce qu'ont obtenu Marks *et al.* (1999) et Croson et Marks (2001) : les contributions recommandées n'augmentent le niveau des contributions qu'en présence de sujets ayant une évaluation hétérogène du bien public.

Du de vue des politiques publics, il semble que la mise en place d'un tel *nudge* requière un ciblage des individus les plus réceptifs de la part des décideurs publics. Ce constat paraît renforcé si nous considérons les résultats que nous avons obtenus dans la section précédente avec l'analyse du bien-être. Nous avons mis en évidence un effet d'éviction sur le bien-être total du groupe auprès des sujets les moins sensibles à l'environnement. Dans la littérature, cet effet d'éviction a été documenté dans le cadre de la mise en place d'incitations monétaires. Frey (1992) avance que l'utilisation d'incitations monétaires dans le cadre de la régulation environnementale pourrait induire un effet d'éviction sur l'éthique

environnementale des individus. De manière générale, cette idée qu'un instrument monétaire puisse induire de tels effets d'éviction a notamment été reprise par Bénabou et Tirole (2003, 2006). Bénabou et Tirole (2003) analysent l'impact de la mise en place d'une incitation extrinsèque sur la motivation des individus. Les auteurs considèrent un modèle de principal-agent dans lequel le principal a une information sur la difficulté de la tâche à effectuer (ou sur la capacité de l'agent à réaliser cette tâche correctement), et met en place une incitation extrinsèque (surveillance, incitation monétaire, provision d'une information, etc.). L'agent doit fournir un niveau d'effort, mais n'a pas connaissance de la difficulté de la tâche. Il se sert de l'incitation extrinsèque pour avoir une idée de cette difficulté. Les auteurs identifient ainsi deux effets : l'*effet confiance* et l'*effet profitabilité*. L'effet confiance concerne le fait que l'agent, lorsqu'il découvre le paiement que lui propose le principal, peut se questionner sur sa capacité à réussir la tâche (le paiement peut signaler une tâche très difficile), et ainsi décourager l'agent. L'effet profitabilité intervient lorsque la probabilité de succès d'une tâche dépend de la capacité de l'agent. Lorsque le principal devrait payer plus cher les agents qui ont de meilleures capacités, mais qu'il décide d'accorder un bonus à ceux qui ont une moins bonne capacité (car cela lui revient moins cher), ce bonus peut envoyer le signal à ces agents qu'ils sont moins bons que les autres, et ainsi les décourager. L'effet des récompenses sur la motivation est également l'objet d'étude de Bénabou et Tirole (2006). Dans ce deuxième article, les agents peuvent participer à une activité pro-sociale (contribuer à un bien public, aider un ami, etc.). Chaque agent évalue différemment les gains (en utilité) de leur participation à une telle activité. La participation à cette activité pro-sociale rapporte également des gains en réputation à l'agent, qui doit arbitrer entre participer à cette activité ou consommer des biens de marché. Les auteurs montrent que la mise en place d'une incitation extrinsèque peut changer la signification de l'action pro-sociale : l'agent agirait de manière pro-sociale pour obtenir la récompense, ce qui nuirait à sa réputation. Ainsi, la mise en place d'une incitation pourrait réduire la participation à des activités pro-sociales.

Concernant notre expérience, l'argumentation n'est pas la même car nous n'observons pas cet effet avec la taxe, mais avec le *nudge* pour les individus les moins sensibles à l'environnement. Dans notre cas, l'hypothèse pourrait être la suivante : suggérer à un individu d'agir dans une direction donnée (comme contribuer au compte environnement dans notre expérience), alors que celui-ci a une faible motivation pour la tâche en question (comme pour les *Joueurs A*), aurait pour effet de renforcer le désintérêt de l'individu pour la tâche. Dans la section précédente, nous avons établi un lien avec la notion d'engagement

de Joule et Beauvois (2014).

Deuxièmement, lorsque notre *nudge* parvient à induire une hausse significative du niveau des contributions, celle-ci n'est pas durable, contrairement à la hausse des contributions induites par la mise en place de la taxe. Ce résultat semble indiquer que notre *nudge* est un instrument de court terme, allant ainsi à l'encontre des résultats sur les *nudges* environnementaux abordés dans le premier chapitre (Schultz *et al.* (2007), Nolan *et al.* (2008), Goldstein *et al.* (2008), Allcott (2011), Ayres *et al.* (2013), Costa et Kahn (2013), Ferraro et Price (2013)). Ceci pourrait s'expliquer par deux raisons. La première raison étant que le *nudge* que nous proposons n'est pas le même que ceux proposés dans ces études (utilisation de normes descriptives et injonctives, de comparaisons sociales, d'appels moraux). Ainsi, notre *nudge* n'aurait qu'un effet de court terme. La deuxième raison est que nous opposons des résultats obtenus en laboratoire à des résultats obtenus sur le terrain. Une expérience en laboratoire a un aspect artificiel, alors qu'une expérience de terrain s'inscrit davantage dans la réalité (Harrisson et List (2004)). Cette expérience demande aux sujets d'imaginer de contribuer pour limiter une pollution fictive. Ceci peut constituer une limite à notre expérience. De plus, le fait d'élucider la sensibilité environnementale au début de l'expérience pourrait pousser les sujets à se comporter de façon à être en accord avec les réponses données. De ce fait, nos résultats méritent d'être considérés avec prudence. Pour pallier cette limite, l'idéal serait de mener une expérience de terrain afin que les sujets se comportent naturellement. Par ailleurs, nous pourrions tester la mise en place d'un *nudge* différent si l'essoufflement du *nudge* mis en place dans cette expérience venait à se confirmer. Ceci permettrait une poursuite des efforts engagés de la part des sujets.

Par ailleurs, après avoir classé les sujets selon leurs caractéristiques intrinsèques (sensibilité environnementale et optimisme), nous n'avons pas réussi à démontrer que les sujets différaient dans leurs niveaux de contributions individuelles. D'autres études semblent nécessaires pour confirmer notre résultat établissant que la réaction à notre *nudge* dépend directement de la sensibilité environnementale, à l'instar de l'expérience de terrain que nous suggérons.

3.6 Conclusion

L'expérience proposée dans ce chapitre nous a permis d'obtenir des résultats allant dans le sens des prédictions théoriques obtenues dans ce chapitre, ainsi que le précédent. Nous avons pu préciser deux différences majeures concernant la réaction au *nudge* proposé, par

rapport à la réaction à la taxe mise en place. D'un côté, notre *nudge* dépend directement de la sensibilité environnementale des sujets et, lorsqu'il induit une hausse significative des contributions, celle-ci se fait sur une courte période. D'un autre côté, la réaction à la taxe ne dépend pas directement de la sensibilité environnementale, et cet instrument induit une hausse significative des contributions durant toute sa période de mise en place.

Cependant, nous avons également abordé le fait que ces résultats sont à considérer avec une certaine distance, dans la mesure où ce sont des résultats obtenus en laboratoire. Dans un tel contexte, le comportement des sujets peut différer de ce que l'on peut observer dans la réalité.

Nous avons abordé la notion d'effet d'éviction sur le bien-être total suite à la mise en place du *nudge* sur les sujets les moins sensibles à l'environnement. D'un point de vue théorique, Bénabou et Tirole (2003, 2006) ont détaillé cet effet concernant les incitations monétaires (comme nous l'avons vu dans la discussion précédente). Goeschl et Perino (2012) ont, à l'aide d'une approche expérimentale, confirmé la présence d'un tel effet d'éviction sur la motivation intrinsèque des sujets suite à la mise en place d'une taxe pour réduire les quantités produites (et donc le niveau de pollution). Cet effet peut également survenir après le retrait des instruments incitatifs, ce que nous ne pouvions pas observer dans cette expérience. Aussi, l'étude des effets sur le long terme au niveau des contributions, après le retrait de ces instruments, est-elle prise en compte dans le chapitre quatre.

APPENDICE

Preuve de la proposition 4

i) La condition de premier ordre pour un régulateur qui a une information incomplète concernant la perception du risque des individus, mais qui connaît leur sensibilité environnementale, est donnée par

$$-u'(w - a^*) + \sum_i^N (b'(A) (qd_P(\underline{P}, s^j) + (1 - q)d_P(\bar{P}, s^j))) = 0 \quad (3.12)$$

avec a^* étant le niveau socialement optimal de contribution. Cette expression peut également être réécrite ainsi

$$\begin{aligned} & -u'(w - a^*) + b'(A) \left(qd_P(\underline{P}, s^j) + (1 - q)d_P(\bar{P}, s^l) \right) \\ & + \sum_{-i}^{N-1} \left(b'(A) \left(qd_P(\underline{P}, s_{-i}^j) + (1 - q)d_P(\bar{P}, s_{-i}^j) \right) \right) = 0 \end{aligned} \quad (3.13)$$

avec $-i$ désignant tout autre individu que l'individu i , et s_{-i}^j leur sensibilité environnementale. La condition de premier ordre pour une solution privée intérieure est donnée par (3.3). En soustrayant (3.13) de (3.3), toutes deux étant évaluées en $a_{i,j}^p$, donne après réarrangement

$$b'(A)(\pi_i - q) (d_P(\underline{P}, s^j) - d_P(\bar{P}, s^j)) - \sum_{-i}^{N-1} \left(b'(A) \left(qd_P(\underline{P}, s^j) + (1 - q)d_P(\bar{P}, s^l) \right) \right) < 0$$

avec $b'(A)(\pi_i - q) (d_P(\underline{P}, s^j) - d_P(\bar{P}, s^j)) < 0$ car $d_{PP} \geq 0$ par hypothèse. Finalement, $a_{i,j}^p < a^*$.

Par ailleurs, étant donné que le régulateur considère la somme des utilités de chaque individu en tenant compte de la sensibilité à l'environnement de chacun, l'optimum social est le même pour tous. En effet, quel que soit l'individu concerné, l'impact de la contribution de l'individu est comptabilisé dans le bien-être des $N - 1$ autres individus, comme illustré dans l'équation (3.13). D'où le même optimum social pour tous les individus.

ii) Considérons (3.3) pour les individus (v, l) et (r, l) . En soustrayant la condition de premier ordre de l'individu (v, l) de celle de l'individu (r, l) , toutes les deux évaluées en

$a_{r,l}^P$, on obtient :

$$b'(A) \left(r d_P(\underline{P}, s^l) + (1-r) d_P(\bar{P}, s^l) \right) - b'(A) \left(v d_P(\underline{P}, s^l) + (1-v) d_P(\bar{P}, s^l) \right)$$

En réarrangeant les termes, nous avons :

$$b'(A) \left(d_P(\bar{P}, s^l)(v-r) - d_P(\underline{P}, s^l)(v-r) \right) > 0$$

avec $r < v$ par hypothèse, et $d_P(\bar{P}, s^l) > d_P(\underline{P}, s^l)$ par convexité de la fonction $d(.,.)$ par rapport à P . Et finalement $a_{v,l}^P < a_{r,l}^P$. La preuve de $a_{v,l}^P < a_{r,l}^P < a_{r,h}^P$ est directe en suivant les mêmes étapes que pour cette preuve. Finalement, en suivant toujours les mêmes étapes que pour cette preuve pour $a_{v,h}^P$ et $a_{r,l}^P$, il n'est pas possible de classer ces deux niveaux de contribution. La Proposition 4 est démontrée. ♦

Preuve de la proposition 5

i) Considérons les individus (r, l) et (v, h) . En l'absence d'instrument incitatif, leur condition de premier ordre est donnée par (3.3). Faisons l'hypothèse que ces individus investissent le même montant en l'absence d'incitation externe. Selon la Proposition 4, c'est possible si

$$b'(A) \left(v \left(d_P(\bar{P}, s^h) - d_P(\underline{P}, s^h) \right) - r \left(d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\underline{P}, s^l) \right) + d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h) \right) = 0$$

Considérons maintenant la condition de premier ordre sous la mise en place de la taxe. Pour un individu (π_i, s^j) elle est donnée par (3.6). En soustrayant la condition de premier ordre pour l'individu (v, h) de celle de l'individu (r, l) , toutes deux évaluées en $a_{r,l}^t$, donne

$$b'(A) \left(v \left(d_P(\bar{P}, s^h) - d_P(\underline{P}, s^h) \right) - r \left(d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\underline{P}, s^l) \right) + d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h) \right)$$

Nous avons fait l'hypothèse que $d_{PPs^j} = 0$, impliquant que la fonction $d_P(P, s^j)$ est additive en P et s^j . Nous avons ainsi $d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h)$ qui est constant en $a_{i,j}$ pour tout (π_i, s^j) .

Si $d_{PPP} = 0$, alors $v \left(d_P(\bar{P}, s^h) - d_P(\underline{P}, s^h) \right) - r \left(d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\underline{P}, s^l) \right)$ est constant en a_{π_i, s^j} . Donc,

$$b'(A) \left(v \left(d_P(\bar{P}, s^h) - d_P(\underline{P}, s^h) \right) - r \left(d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\underline{P}, s^l) \right) + d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h) \right) = 0$$

et $a_{r,l}^t = a_{v,h}^t$.

Si $d_{PPP} < 0$, alors le groupe de termes $v(d_P(\bar{P}, s^h) - d_P(\underline{P}, s^h) - r(d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\underline{P}, s^l))$ est plus élevé sous la mise en place de la taxe qu'en son absence. Nous avons donc

$$b'(A) \left(v \left(d_P(\bar{P}, s^h) - d_P(\underline{P}, s^h) \right) - r \left(d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\underline{P}, s^l) \right) + d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h) \right) > 0$$

et $a_{r,l}^t < a_{v,h}^t$.

Si $d_{PPP} > 0$, alors le groupe de termes $v(d_P(\bar{P}, s^h) - d_P(\underline{P}, s^h) - r(d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\underline{P}, s^l))$ est moins élevé sous la mise en place de la taxe qu'en son absence. Nous avons ainsi

$$b'(A) \left(v \left(d_P(\bar{P}, s^h) - d_P(\underline{P}, s^h) \right) - r \left(d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\underline{P}, s^l) \right) + d_P(\bar{P}, s^l) - d_P(\bar{P}, s^h) \right) > 0$$

et $a_{r,l}^t > a_{v,h}^t$.

Les preuves des Points ii) et iii) suivent les mêmes étapes que pour cette preuve. La Proposition 5 est démontrée. ♦

Preuve de la proposition 6

i) La condition de premier ordre pour un individu (π_i, s^j) en l'absence d'incitation externe est donnée par (3.3). Sous la mise en place d'un *nudge*, elle est donnée par (3.8). En soustrayant (3.8) de (3.3), toutes les deux évaluées en $a_{i,j}^p$, donne après simplification

$$g_{a_i, s^j}(a_{i,j}^p - a^* | s^j)$$

qui est négatif. En effet, par hypothèse $g_{a_i}(a_{i,j}^n - a^* | s^j) < 0$. Finalement $a_{i,j}^n > a_{i,j}^p$.

ii) Considérons que les individus (v, h) et (r, l) investissent le même montant à la fois en l'absence d'incitation externe et sous la mise en place de la taxe (ce qui est possible selon le Point ii) de la Proposition 2). D'après la preuve précédente, la différence entre la condition de premier ordre en l'absence d'incitation externe et celle sous la mise en place de la taxe est $g_{a_i}(a_{v,h}^n - a^* | s^h)$ pour l'individu (v, h) , et $g_{a_i}(a_{r,l}^n - a^* | s^l)$ pour l'individu (r, l) .

Par hypothèse, on a $g_{a_i}(. | s^j) < 0$. Et finalement, $a_{v,h}^n > a_{r,l}^n$. La Proposition 6 est démontrée. ♦

Instructions de l'expérience (groupe de contrôle)

Bienvenue

L'expérience à laquelle vous allez participer est destinée à l'étude des décisions. Les instructions sont simples. Si vous les suivez scrupuleusement et que vous prenez de bonnes décisions, vous pourrez gagner une somme d'argent non négligeable.

Toutes vos réponses seront traitées de façon anonyme. Vous indiquerez vos choix à l'ordinateur devant lequel vous êtes assis.

L'expérience comporte deux étapes. Les instructions ci-jointes sont celles de l'étape 1. Les instructions de la deuxième partie vous seront distribuées lorsque l'étape 1 sera terminée.

Votre paiement sera constitué de la somme des gains que vous aurez récoltée au cours de ces quatre étapes. A la fin de la deuxième étape, on vous appellera individuellement pour votre paiement.

A partir de maintenant, nous vous demandons de ne plus parler. Si vous avez une question, levez la main et un expérimentateur viendra vous répondre en privé.

Instructions de la première étape

Au cours de cette première partie, vous allez devoir dire à quel point vous êtes d'accord avec 28 affirmations. Ce sont des affirmations d'ordre général pour mieux vous connaître. Il n'y a aucune bonne ou mauvaise réponse. Essayez de répondre en tenant véritablement compte de votre propre mode de vie.

A la fin de cette première partie, vous recevrez un paiement de 5 euros. Ce paiement est fixe et ne dépend pas des réponses que vous donnerez. Répondez honnêtement : les réponses sont anonymes !

Instructions de la deuxième étape

Au début de l'étape, l'ordinateur va répartir les 24 sujets (vous compris) dans un des 6 groupes de 4 personnes. Le groupe auquel vous serez affecté restera le même tout au long de l'expérience. A aucun moment, vous ne pouvez connaître l'identité des 3 autres personnes faisant partie de votre groupe parmi les personnes présentes dans la salle.

Par ailleurs, chaque groupe sera constitué de Joueurs A et/ou de Joueurs B. Au début du jeu l'ordinateur vous communiquera quel type de joueur vous êtes. Vous resterez ce type de joueur jusqu'à la fin du jeu. Le type de joueur est déterminé selon vos réponses aux questions précédentes. La suite des instructions vous détaille les décisions que vous devrez prendre.

Contexte

Vous vivez dans une communauté dans laquelle le Gouvernement prévoit un risque de pollution. En particulier, les experts du Gouvernement ont déterminé que la pollution sera faible avec probabilité 0.5, ou élevée avec probabilité 0.5. Pour faire face à ce risque de pollution, vous avez la possibilité d'investir pour réduire le niveau de pollution. Vous disposez, ainsi que les 3 autres membres de votre groupe, d'un budget de 10 jetons. Vous devrez répartir entièrement votre budget de 10 jetons entre un compte privé et un compte environnement.

Le compte privé est un compte individuel servant à votre consommation personnelle. Le compte environnement est un compte collectif servant à améliorer la qualité environnementale. Lorsque vous investissez un jeton dans le compte environnement pour améliorer la qualité de l'environnement, votre investissement profitera à l'ensemble du groupe. En revanche, lorsque vous investissez un jeton dans le compte privé, cela ne profitera qu'à vous seul. Vous n'aurez qu'à choisir votre niveau d'investissement dans le compte environnement, entre 0 et 10 jetons. Le reste sera automatiquement investi dans le compte privé.

Votre gain total, en fonction de votre investissement dans le compte environnement, est donné par les tableaux fournis. Néanmoins, les gains ne seront pas les mêmes selon que vous êtes Joueur A ou Joueur B. Pour chaque type de joueur, deux tableaux vous sont fournis : un pour le cas où la pollution est faible, l'autre pour le cas où la pollution est élevée. Les gains présents dans le tableau sont exprimés en ECU. Le taux de conversion est $40 \text{ ECUS} = 1 \text{ euro}$.

L'ordinateur mettra à votre disposition un simulateur de gains. Vous pourrez simuler votre niveau d'investissement dans le compte environnement. L'ordinateur donnera alors le gain du Joueur A (dans les deux cas de pollution) ainsi que celui du Joueur B (dans les deux cas de pollution également).

Exemple 1 : considérons que vous ayez investi 3 jetons dans le compte environnement, et que les 3 autres membres de votre groupe aient investi 10 jetons au total. Supposons de plus que la pollution pour cette période était faible.

- Si vous êtes Joueur A, votre gain pour la période est alors de 670 ECUS
- Si vous êtes Joueur B, votre gain pour la période est alors de 622 ECUS

Exemple 2 : considérons que vous ayez investi 7 jetons dans le compte environnement, et que les 3 autres membres de votre groupe aient investi 15 jetons au total. Supposons de plus que la pollution pour cette période était élevée.

- Si vous êtes Joueur A, votre gain pour la période est alors de 350 ECUS
- Si vous êtes Joueur B, votre gain pour la période est alors de 120 ECUS

Vous disposerez de 3 minutes pour pouvoir faire toutes les simulations de gains que vous souhaitez. Vous devrez ensuite indiquer le nombre de jetons que vous souhaitez investir dans le compte environnement entre 0 et 10. Le niveau de pollution sera déterminé par un tirage au sort par la nature.

Le déroulement de l'étape

Avant de commencer cette étape, vous devrez répondre à des questions de compréhension.

Le jeu commencera une fois que tout le monde aura répondu à ces questions. Ce jeu dure 15 périodes. L'ordinateur vous communiquera à la fin de cette période un résumé des informations utiles.

Tableaux des gains (groupe de contrôle)

Gains (en ECU) – Pollution faible – Joueurs A

Contributions des autres membres du groupe

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	31
0	668	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	680	681	682	682	683	684	684	685	685	686	686	687	687	688	688	68
1	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	678	679	680	681	682	683	684	684	685	685	686	686	687	687	688	688	68
2	664	665	666	667	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	677	678	678	679	680	681	681	682	682	683	683	684	684	685	68
3	661	662	663	664	665	666	667	667	668	669	670	671	672	673	674	674	675	676	677	677	678	678	679	679	680	680	681	681	682	68
4	659	659	660	661	662	663	664	664	665	666	667	667	668	669	669	670	671	672	672	673	673	674	674	675	675	676	676	677	677	67
5	655	656	657	658	659	660	660	661	662	663	664	665	666	667	667	668	668	669	669	670	670	671	671	672	672	673	673	674	674	67
6	652	653	654	654	655	656	657	658	658	659	660	660	661	662	663	663	664	664	665	665	666	666	667	667	668	668	668	669	669	66
7	648	649	650	650	651	652	653	653	654	655	656	657	657	658	659	659	660	660	661	661	662	662	663	663	664	664	665	665	666	66
8	644	644	645	646	647	648	648	649	650	650	651	652	653	653	654	655	655	656	656	657	657	658	658	659	659	660	660	661	662	66
9	639	640	641	641	642	643	644	644	645	646	647	647	648	649	649	650	650	651	651	652	652	653	653	654	654	655	655	656	656	65
10	634	635	636	637	638	638	639	640	640	641	642	642	643	643	644	644	645	645	646	646	646	647	647	648	648	649	649	650	651	64

Gains (en ECU) – Pollution élevée – Joueurs A

Contributions des autres membres du groupe																															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	31
0	293	296	300	304	308	312	316	320	324	328	332	335	339	343	347	350	354	358	361	365	369	372	376	379	383	386	390	393	397	400	40
1	294	298	302	306	310	313	317	321	325	329	333	336	340	344	348	351	355	359	362	366	369	373	377	380	384	387	391	394	397	401	40
2	295	299	303	307	310	314	318	322	326	330	333	337	341	345	348	352	356	359	363	366	370	374	377	381	384	388	391	394	398	401	40
3	295	299	303	307	311	315	319	322	326	330	334	337	341	345	349	352	356	359	363	367	370	374	377	381	384	388	391	394	398	401	40
4	296	299	303	307	311	315	319	322	326	330	334	337	341	345	348	352	356	359	363	366	370	373	377	380	384	387	391	394	397	401	40
5	295	299	303	307	311	315	318	322	326	330	333	337	341	344	348	352	355	359	362	366	369	373	376	380	383	387	390	393	397	400	40
6	295	299	303	306	310	314	318	322	325	329	333	336	340	344	347	351	354	358	361	365	368	372	375	379	382	386	389	392	396	399	40
7	294	298	302	305	309	313	317	320	324	328	332	335	339	342	346	350	353	357	360	364	367	371	374	377	381	384	388	391	394	397	40
8	293	296	300	304	308	312	315	319	323	326	330	334	337	341	344	348	352	355	359	362	365	369	372	376	379	382	386	389	392	396	39
9	291	295	299	302	306	310	314	317	321	325	328	332	335	339	343	346	350	353	357	360	363	367	370	374	377	380	384	387	390	393	39
10	289	293	297	300	304	308	311	315	319	322	326	330	333	337	340	344	347	351	354	358	361	364	368	371	374	378	381	384	388	391	39

Gains (en ECU) – Pollution faible – Joueurs B

Contributions des autres membres du groupe																																		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
0	603	605	608	610	612	614	616	619	621	623	625	627	629	631	633	635	637	639	641	643	645	647	649	650	652	654	656	658	659	661	66			
1	603	605	607	609	612	614	616	618	620	622	624	626	628	630	632	634	636	638	640	642	644	646	648	650	651	653	655	657	658	660	66			
2	602	604	606	609	611	613	615	617	619	621	623	625	627	629	631	633	635	637	639	641	643	645	647	648	650	652	654	655	657	659	66			
3	601	603	605	607	609	612	614	616	618	620	622	624	626	628	630	632	634	636	638	639	641	643	645	647	648	650	652	654	655	657	65			
4	599	601	604	606	608	610	612	614	616	618	620	622	624	626	628	630	632	634	636	638	639	641	643	645	646	648	650	652	653	655	65			
5	597	600	602	604	606	608	610	612	614	616	618	620	622	624	626	628	630	632	634	635	637	639	641	642	644	646	648	649	651	652	65			
6	595	597	599	602	604	606	608	610	612	614	616	618	620	622	624	625	627	629	631	633	634	636	638	640	641	643	645	646	648	650	65			
7	592	595	597	599	601	603	605	607	609	611	613	615	617	619	621	622	624	626	628	630	631	633	635	637	638	640	642	643	645	646	64			
8	589	592	594	596	598	600	602	604	606	608	610	612	614	615	617	619	621	623	625	626	628	630	632	633	635	636	638	640	641	643	64			
9	586	588	590	592	594	596	598	600	602	604	606	608	610	612	614	616	617	619	621	623	624	626	628	629	631	633	634	636	637	639	64			
10	582	584	587	589	591	593	595	597	598	600	602	604	606	608	610	612	613	615	617	619	620	622	624	625	627	628	630	632	633	635	63			

Gains (en ECU) – Pollution élevée – Joueurs B

Contributions des autres membres du groupe																																
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
0	35	40	45	50	55	61	66	71	76	81	86	91	97	102	107	112	117	122	126	131	136	141	146	151	156	161	165	170	175	180	1	
1	37	42	48	53	58	63	68	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119	124	129	134	139	143	148	153	158	163	167	172	177	182	1	
2	39	45	50	55	60	65	70	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	135	140	145	150	155	160	164	169	174	179	183	1	
3	41	46	52	57	62	67	72	77	82	87	93	98	103	108	112	117	122	127	132	137	142	147	151	156	161	166	170	175	180	184	1	
4	43	48	53	58	63	69	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119	124	128	133	138	143	148	152	157	162	167	171	176	181	185	1	
5	44	49	54	59	64	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	119	124	129	134	139	144	148	153	158	163	167	172	177	181	186	1	
6	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	134	139	144	149	153	158	163	168	172	177	182	186	1	
7	45	50	55	60	65	70	76	81	86	91	95	100	105	110	115	120	125	130	134	139	144	149	153	158	163	167	172	177	181	186	1	
8	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	129	134	139	144	148	153	158	162	167	172	176	181	185	1	
9	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	109	114	119	124	129	133	138	143	148	152	157	162	166	171	175	180	184	1	
10	44	49	54	59	64	69	74	79	84	89	94	99	104	108	113	118	123	128	132	137	142	146	151	156	160	165	169	174	179	183	1	

General Ecological Behavior Scale

1) J'utilise des ampoules à basse consommation d'énergie.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

2) Si on me propose un sachet en plastique dans un magasin, je le prends.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

3) Je tue les insectes avec des insecticides.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

4) Je collecte et recycle le papier

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

5) Lorsque je fais des activités (du sport) à l'extérieur, je reste dans les zones qui y
sont réservées.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

6) J'attends d'avoir assez de linge à laver pour lancer une machine à laver.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

7) J'utilise un nettoyant spécifique pour la salle de bain, plutôt qu'un nettoyant pour
toutes les surfaces.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

8) Je lave mon linge sale sans effectuer de prélavage.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

9) Je réutilise mes sacs pour aller faire des achats.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

10) J'utilise des piles rechargeables.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

11) L'hiver, je monte le chauffage pour ne pas avoir à porter de pull

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

12) J'achète des canettes de soda en aluminium.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

13) Je dépose les bouteilles en verre vides dans les conteneurs adaptés.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

14) L'hiver, j'aère pendant de longues périodes pour laisser l'air frais entrer.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

15) Pour les longs voyages (plus de 6h), je prends l'avion.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

16) Mon système de chauffage est coupé la nuit.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

17) J'achète des produits ayant des emballages recyclables.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

18) L'hiver, je réduis le chauffage lorsque je pars de chez moi pour une durée supérieure à 4h.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours
(+5)

19) Pour me rendre dans les zones proches, j'utilise les transports en commun, j'utilise mon vélo ou j'y vais à pied.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours (+5)

20) J'achète des vêtements fabriqués à partir de matières naturelles (soie, laine, coton ou lin).

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours (+5)

21) Je préfère prendre une douche plutôt qu'un bain.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours (+5)

22) J'utilise les transports en commun ou le vélo, ou je me déplace à pied pour aller travailler (ou aller dans d'autres lieux).

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours (+5)

23) Je laisse couler l'eau jusqu'à obtenir la bonne température.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours (+5)

24) Je jette les piles usagées à la poubelle.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours (+5)

25) J'éteins la lumière lorsque je quitte une pièce.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours (+5)

26) Je laisse couler l'eau lorsque je me lave les dents.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours (+5)

27) J'éteins mon ordinateur lorsque je ne l'utilise pas.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours (+5)

28) Je me douche (prends un bain) plus d'une fois par jour.

Jamais (+1) Rarement (+2) De temps en temps (+3) Souvent (+4) Toujours (+5)

Life Orientation Test

- 1) Dans des périodes incertaines, je m'attends généralement à ce que ça se passe bien
a) Pas du tout d'accord b) Pas d'accord c) Neutre d) D'accord e) Totalelement d'accord
- 2) Il est facile pour moi de me détendre
a) Pas du tout d'accord b) Pas d'accord c) Neutre d) D'accord e) Totalelement d'accord
- 3) Si quelque chose peut tourner à mon désavantage, ce sera le cas
a) Pas du tout d'accord b) Pas d'accord c) Neutre d) D'accord e) Totalelement d'accord
- 4) Je suis toujours optimiste à propos de mon avenir
a) Pas du tout d'accord b) Pas d'accord c) Neutre d) D'accord e) Totalelement d'accord
- 5) J'apprécie beaucoup mes amis
a) Pas du tout d'accord b) Pas d'accord c) Neutre d) D'accord e) Totalelement d'accord
- 6) Il est important pour moi de rester occupé
a) Pas du tout d'accord b) Pas d'accord c) Neutre d) D'accord e) Totalelement d'accord
- 7) Je m'attends rarement à ce que les choses aillent dans mon sens
a) Pas du tout d'accord b) Pas d'accord c) Neutre d) D'accord e) Totalelement d'accord
- 8) Je ne me vexe pas facilement
a) Pas du tout d'accord b) Pas d'accord c) Neutre d) D'accord e) Totalelement d'accord
- 9) Je m'attends rarement à ce que de bonnes choses m'arrivent
a) Pas du tout d'accord b) Pas d'accord c) Neutre d) D'accord e) Totalelement d'accord
- 10) En général, je m'attends à ce qu'il m'arrive plus de bonnes choses que de mauvaises choses

a) Pas du tout d'accord b) Pas d'accord c) Neutre d) D'accord e) Totalelement
d'accord

Questionnaire socio-économique

1) Votre niveau de diplôme :

- Licence
- Master
- Doctorat

2) Votre domaine d'études :

- Sciences dures (mathématiques, chimie, biologie, physique, informatique...)
- Droit
- Économie et gestion, math-éco, sciences politiques
- Sociologie, psychologie
- Langues, littérature
- Autres (Précisez)

3) Votre âge :

4) Votre sexe :

- Masculin
- Féminin

5) Etes-vous né(e) en France ?

- Oui
- Non
- Si non, de quel pays êtes-vous originaire ?

6) Veuillez indiquer combien de frères et soeurs plus âgés vous avez :

7) Veuillez indiquer combien de frères et soeurs plus jeunes vous avez :

8) Vivez-vous en couple ?

- Oui
- Non

9) Quelle est votre position religieuse ?

- Athée/agnostique
- Catholique
- Protestant
- Orthodoxe

- Musulman
- Juif
- Hindouiste
- Bouddhiste
- Autre

10) Comment vous voyez-vous ? Etes-vous généralement une personne qui prend des risques ou essayez-vous de les éviter ? Veuillez cocher une case sur l'échelle ci-dessous, où 0 signifie "peur du risque" et 10 signifie "prêt à prendre des risques" :

11) À quel point diriez-vous que vous êtes heureux en ce moment ? Veuillez indiquer votre bonheur sur l'échelle suivante, où 0 indique "pas du tout heureux" et 10 indique "extrêmement heureux" :

12) En règle générale, quelle est la confiance que vous accordez à l'État, au gouvernement ?

- Absolument confiance
- Confiance
- Neutre sur la question
- Peu confiance
- Pas du tout confiance

13) En règle générale, quelle est la confiance que vous accordez aux ONG (organisations non gouvernementales telles que MSF, WWF, Greenpeace, etc.) ?

- Absolument confiance
- Confiance
- Neutre sur la question
- Peu confiance
- Pas du tout confiance

14) En règle générale, quelle est la confiance que vous accordez à votre famille ?

- Absolument confiance
- Confiance
- Neutre sur la question
- Peu confiance
- Pas du tout confiance

15) En règle générale, quelle est la confiance que vous accordez à vos amis ?

- Absolument confiance
- Confiance
- Neutre sur la question
- Peu confiance
- Pas du tout confiance

16) En règle générale, quelle est la confiance que vous accordez à vos collègues de travail ?

- Absolument confiance
- Confiance
- Neutre sur la question
- Peu confiance
- Pas du tout confiance

17) Quand vous faites confiance, sur quoi vous basez-vous principalement ?

- La réputation
- Votre propre avis

18) De manière générale, faites-vous confiance facilement ou pensez-vous que la personne en face de vous cherche à tirer "profit" de vous ?

- Je fais confiance facilement
- Je pense que l'autre cherche à tirer profit de moi

19) Avez-vous eu l'une de ces activités au cours des derniers mois ?

- Activités bénévoles ou caritatives
- Participer à un club sportif, à une amicale ou un autre type de club (réflexion, jeux, etc.)
- Activités d'une communauté religieuse (église, synagogue, mosquée, etc.)
- Participer aux activités d'une organisation politique ou syndicale

20) Si oui, au cours des quatre dernières semaines, quelle était la fréquence de votre engagement ?

- Tous les jours ou presque
- Une fois par semaine ou presque
- Moins fréquemment

21) Si oui, pour laquelle des raisons suivantes ?

- Pour me rendre utile
- Parce qu'on avait besoin de moi
- Parce que cela me plaît
- Parce que je m'y sentais obligé(e)
- Pour mon accomplissement personnel
- Pour gagner de l'argent
- Pour utiliser ou entretenir mes compétences
- Pour aucune de ces fréquences

22) Avez-vous déjà participé à une expérience économique ?

- Oui
- Non

Chapitre 4

Étude de la persistance des effets d'une taxe et d'un *nudge*¹

Jusqu'à présent, nous avons considéré les effets d'une taxe et d'un *nudge* uniquement à la date de leur mise en place. Cependant, les effets de ces instruments sur le niveau des contributions pourraient persister après leur retrait. Autrement dit, les individus pourraient apprendre des incitations. Plus précisément, ils pourraient avoir une prise de conscience et se rendre compte que ces instruments sont mis en place car ils sous-contribuent par rapport à l'optimum social. L'objectif de ce chapitre est double. En premier lieu, il s'agit d'analyser la présence d'effets de persistance de ces deux types d'incitations, lorsque nous arrêtons leur mise en place. Dans un second temps, nous étudions la possibilité que notre *nudge* puisse compléter la taxe en aidant les individus à prendre conscience qu'ils sont taxés car leur comportement n'est pas optimal. Pour ce faire, nous considérons la mise en place d'un instrument mixte (taxe et *nudge*). L'objectif est ainsi de vérifier s'il est possible de combiner les avantages individuels de chaque instrument.

En effet, nous avons vu dans le premier chapitre que, lorsque les taxes sont correctement calibrées, ces dernières sont efficaces, en particulier en économie de l'environnement (Cropper et Oates (1992), Helfand *et al.* (2003)). Cependant, lorsque celles-ci sont arrêtées, un effet d'éviction peut apparaître : les individus contribuent alors à un niveau plus bas que celui observé avant la mise en place des instruments. Deci (1971) a proposé une expérience pour observer l'effet d'une récompense extrinsèque pour effectuer une tâche (en l'occurrence une récompense monétaire) sur la motivation à effectuer cette dernière. Des sujets ont été recrutés pour résoudre des puzzles, sur 3 jours différents (4 puzzles par jour).

1. Ce chapitre a donné lieu au miméo Ouvrard (2016).

Dans le groupe de traitement, les sujets ont été payés un dollar par puzzle réalisé en moins de 13 minutes, lors du deuxième jour (dans le groupe de contrôle les sujets n'ont rien reçu pour la tâche). Le troisième jour, la récompense monétaire a été retirée. Lors du deuxième jour, l'auteur montre que les sujets ayant reçu un paiement pour la réalisation des puzzles passent plus de temps par puzzle, en moyenne, que les sujets du groupe de contrôle : 313.9 secondes par puzzle pour les sujets traités, contre 205.7 secondes pour les sujets du groupe de contrôle. En revanche, lors du troisième jour, les sujets ayant reçu le traitement passent moins de temps par puzzle, en moyenne, que les sujets du groupe de contrôle : 198.5 secondes par puzzle pour les sujets traités, contre 241.8 secondes pour les sujets du groupe de contrôle. Deci explique ainsi que les sujets traités n'ont plus la même motivation pour la tâche car la récompense monétaire a modifié leur intérêt dans celle-ci. Ce résultat a également été observé dans d'autres études de psychologues (Deci (1972), Kruglanski *et al.* (1971), et Deci *et al.* (1999) pour une revue complète).² Plusieurs économistes ont également analysé l'effet des incitations monétaires sur la motivation des individus (Frey et Jegen (2001), Bénabou et Tirole (2003, 2006), Ariely *et al.* (2009), Gneezy *et al.* (2011)).³ Nous avons mis en avant dans le chapitre précédent qu'un *nudge* seul, basé sur l'annonce de la contribution socialement optimale, n'était pas aussi efficace qu'une taxe sur les contributions non fournies par rapport à l'optimum social. Cependant, nous avons également vu dans le premier chapitre que les effets des incitations non monétaires telles que les *nudges* pouvaient se prolonger dans le temps, après l'arrêt de ces incitations (Ferraro *et al.* (2011), Allcott et Rogers (2014), Bernedo *et al.* (2014)). Ainsi, en combinant une taxe avec un *nudge*, l'objectif est d'allier l'efficacité de la taxe avec la persistance des effets des *nudges*. Noussair et Tucker (2005) rappellent que de tels instruments mixtes ont déjà été utilisés, à l'instar des politiques pour lutter contre l'utilisation des automobiles après avoir consommé de l'alcool (amendes et spots publicitaires) ou contre la consommation de drogues.

2. Deci (1972) propose une expérience similaire à celle de Deci (1971). L'auteur s'intéresse dans ce papier à la comparaison entre l'effet d'une récompense monétaire sur le temps passé à la résolution de 4 puzzles, avec celui d'un encouragement verbal. Comme pour Deci (1971), les sujets ayant reçu la récompense monétaire après la réalisation des puzzles ont passé moins de temps à leur résolution, par comparaison avec ceux n'ayant rien reçu. Cependant, les sujets ayant été rémunérés avant la résolution des puzzles ont augmenté le temps passé à leur résolution, par comparaison avec le groupe de contrôle. Une interprétation est que les sujets se sentaient redevables de l'expérimentateur. Concernant les encouragements verbaux, ceux-ci ont eu un effet positif sur les hommes (qui ont augmenté le temps passé à la résolution d'un puzzle par rapport au groupe de contrôle), mais un effet négatif sur les femmes (qui ont réduit le temps passé à la résolution d'un puzzle par rapport au groupe de contrôle). Dans leur expérience, Kruglanski *et al.* (1971) ont également analysé l'effet d'une récompense monétaire sur la réalisation d'une tâche relevant de la créativité. Dans une première tâche, les sujets devaient proposer le plus de titres possibles pour un paragraphe. Dans la seconde tâche, les sujets devaient inventer une histoire en utilisant le plus de mots possibles d'une liste en contenant 50. Par rapport au groupe de contrôle, les sujets ayant été rémunérés se sont montrés moins créatifs, ainsi que moins enthousiastes dans leur évaluation de l'intérêt porté à la tâche.

3. Dans le chapitre précédent, nous avons déjà discuté des modèles de Bénabou et Tirole (2003, 2006).

D'un point de vue théorique, Farhi et Gabaix (2015) se sont également intéressés à une telle combinaison. Nous avons vu dans le premier chapitre que ces auteurs ont modélisé le *nudge* comme une taxe psychologique, apparaissant dans la contrainte budgétaire *perçue* par les individus recevant le *nudge*. Farhi et Gabaix montrent que, si la taxe est mise en place sans objectif de redistribution des revenus de cette dernière, alors la taxe et le *nudge* sont des substituts. En revanche, si le paramètre de la "*nudgeabilité*" et l'utilité marginale sociale du revenu sont corrélés, alors la taxe et le *nudge* sont des compléments. Par exemple, nous pourrions illustrer cette situation avec le cas d'un agent pauvre très réceptif au *nudge*. Comme nous l'avons expliqué dans le deuxième chapitre, nous avons adopté une démarche différente en modélisant la réaction au *nudge* comme une désutilité : les agents subissent un coût moral dès lors qu'ils s'éloignent du niveau annoncé. Cette désutilité n'apparaît pas dans la contrainte budgétaire.

L'association d'instruments monétaires et non monétaires a déjà donné lieu à des tests expérimentaux.⁴ Noussair et Tucker (2005) ont testé expérimentalement la combinaison de punitions monétaires et non monétaires afin d'augmenter le niveau des contributions pour un bien public. Les auteurs comparent cette combinaison avec chaque instrument utilisé individuellement. Noussair et Tucker obtiennent que la combinaison des instruments induit le niveau des contributions le plus élevé, ainsi que le bien-être social le plus élevé, par rapport à l'utilisation des instruments de manière séparée. Dans une autre expérience de contribution volontaire à un bien public, Kroll *et al.* (2007) ont considéré la mise en place de points de punition (qui diminuent le gain des sujets recevant ces points) en plus d'un système de vote portant sur le niveau de contribution au bien public (non contraignant). Ces auteurs montrent que la mise en place du système de vote seul ne permet pas de maintenir la coopération dans le temps, au contraire de la combinaison du vote et des points de punition.

Contrairement à l'expérience proposée dans le chapitre précédent, celle que nous mettons en place dans ce chapitre est décontextualisée. En effet, l'objectif est également de vérifier si la réaction au *nudge* que nous proposons dépend du contexte. Par ailleurs, le protocole expérimental que nous proposons est directement inspiré de celui proposé par Bruttel et Friehe (2014) et Lefebvre et Stenger (2016). Plus précisément, nous adoptons leur protocole car il permet d'étudier la persistance des effets des instruments incitatifs que nous considérons. Cependant, notre protocole diffère sur plusieurs points. Premièrement, contrairement à leurs expériences, nous considérons une fonction de gain non linéaire.⁵

4. Les instruments non monétaires étudiés ne relevaient pas nécessairement de l'approche du *nudge*.

5. Dans un jeu de bien public, lorsqu'une fonction de gain est linéaire, l'équilibre de Nash est de ne

Ensuite, nous considérons à la fois des groupes de *Partenaires* et d'*Étrangers* pour tester l'effet de la dynamique du groupe sur la réaction aux différents instruments considérés.⁶ Par ailleurs, nous considérons l'association d'un *nudge* et d'une taxe, alors que chez Bruttel et Friehe (2014) et Lefebvre et Stenger (2016) les instruments monétaires sont comparés sans être associés. De plus, ces auteurs ne considèrent pas la mise en place d'une taxe, mais considèrent des punitions monétaires que les sujets se donnent entre eux. Enfin, nous proposons une analyse de l'efficacité des instruments.

Nous commençons par proposer un modèle simple et décontextualisé dans la section 1. Il s'agit d'un modèle de contributions volontaires à un bien public comme ceux proposés par Bergstrom *et al.* (1986) ou plus récemment par Figuières *et al.* (2013). Dans la section 2, nous détaillons le protocole expérimental que nous avons mis en place, ainsi que les hypothèses comportementales. Les résultats sont détaillés dans la section 3. Comme dans le chapitre précédent, nous complétons notre analyse par une étude de l'efficacité relative de chaque instrument dans la section 4. L'ensemble des résultats est discuté dans la section 5. La section 6 conclut ce chapitre.

4.1 Un modèle théorique simplifié de contributions volontaires à un bien public

Dans cette section, nous proposons un modèle afin d'obtenir des prédictions théoriques que nous testerons avec l'expérience proposée dans ce chapitre. Plus précisément, nous considérons le modèle de contributions volontaires à un bien public de Bergstrom *et al.* (1986). Ce modèle entretient également des liens avec celui de Figuières *et al.* (2013), mais contrairement à ces chercheurs, la fonction de bénéfice lié au bien public n'est pas linéaire (comme nous l'avons expliqué dans l'introduction). Par ailleurs, contrairement à Bergstrom *et al.* (1986), nous considérons la mise en place d'instruments incitatifs (taxe, *nudge* et instrument mixte). Nous commençons par développer le modèle en l'absence d'incitations externes. Nous détaillons ensuite la mise en place de la taxe, du *nudge* et de l'instrument mixte afin d'augmenter le niveau des contributions.

rien investir dans le compte public, et l'optimum social est d'investir toute sa dotation. Néanmoins, le comportement généralement observé dans ces expériences est que les sujets investissent entre 40% et 60% de leur dotation dans les premières périodes (Ledyard (1995)). Ainsi, une fonction linéaire ne permet pas de prendre en compte ce comportement.

6. Avec des groupes de *Partenaires*, les sujets restent dans le même groupe d'une période à l'autre. En revanche, avec des groupes d'*Étrangers*, les sujets changent de groupe à la fin de chaque période.

4.1.1 Hypothèses de base

Considérons une économie constituée de n individus. Chaque agent a une dotation fixe w pouvant être répartie entre la consommation privée, $w - a_i$, et les contributions a_i pour le bien public. La fonction d'utilité de l'individu i est donnée par :

$$U^i(a_i) = w - a_i + v(A) \quad (4.1)$$

avec A étant la somme des contributions individuelles pour le bien public, et $v(\cdot)$ la fonction de bénéfice liée aux contributions pour le bien public. Faisons l'hypothèse que la fonction $v(\cdot)$ est concave, avec $v_{a_i}(\cdot) > 0$ et $v_{a_i a_i}(\cdot) < 0$. Cette formulation est différente de celle proposée par Figuières *et al.* (2013), qui considèrent une fonction d'utilité linéaire dans la consommation privée, ainsi que dans le bénéfice lié à la consommation du bien public. Dans les expériences de bien public, la fonction mise en place pour le calcul des gains monétaires est souvent linéaire (Ledyard (1995)). Celle-ci présente l'avantage d'être facilement compréhensible par les sujets. Néanmoins, cette fonction n'est pas en adéquation avec le comportement des sujets généralement observé dans les expériences de biens publics (Ledyard (1995), Chaudhuri (2011)). En effet, ces derniers investissent généralement des niveaux positifs, alors que la prédiction théorique, au niveau privé, est de ne rien contribuer. Par ailleurs, cette formulation diffère également de celle que nous avons proposée dans les deux chapitres précédents, car l'utilité de la consommation est linéaire, et nous ne considérons pas de dommage lié à la pollution (notre modèle est décontextualisé).

Avec cette formulation, l'équilibre de Nash est positif (Bergstrom *et al.* (1986), Isaac et Walker (1998), Laury et Holt (2008)). La condition de premier ordre pour l'individu i est telle que :

$$-1 + v_{a_i}(A^{pri}) = 0 \quad (4.2)$$

avec A^{pri} le niveau des contributions pour lequel le bénéfice marginal des contributions est égal au coût marginal. Du fait de la concavité de la fonction de bénéfice lié au bien public (fonction $v(\cdot)$), nous n'obtenons pas de solutions individuelles, mais au niveau du groupe. Dans la suite de ce chapitre, nous parlerons de niveau *agrégé* (au niveau du groupe) des contributions. En ré-arrangeant cette équation, le niveau agrégé des contributions est donné par l'équation suivante :

$$A^{pri} = v_{a_i}^{-1}(1) \quad (4.3)$$

Notons $\mathbf{a}$ le profil des contributions des n individus, et A_{-i} le niveau total des contributions

des $n-1$ individus autres que l'individu i . On peut ainsi définir un équilibre de Nash comme suit :

Définition : $\mathbf{a}$ est un équilibre de Nash, si et seulement si, pour chaque individu :

- i) $A_{-i} < A^{pri}$, et l'individu i contribue $a_i = A^{pri} - A_{-i}$, ou
- ii) $A_{-i} \geq A^{pri}$, et l'individu i ne contribue rien ($a_i = 0$).

L'intuition est la suivante : chaque agent cherche à égaliser le coût marginal des contributions avec $v_{a_i}(A^{pri})$. Si le bénéfice obtenu des autres individus, autres que l'individu i , est inférieur à $v_{a_i}(A^{pri})$, alors l'individu i va contribuer afin d'atteindre ce niveau. En revanche, si le bénéfice obtenu des autres individus est supérieur à $v_{a_i}(A^{pri})$, alors l'individu i n'a pas intérêt à contribuer.

À partir de la condition d'équilibre (4.3), nous pouvons montrer que tous les individus sous-contribuent par rapport à l'optimum social. En particulier, considérons un régulateur utilitariste qui maximise la somme des utilités individuelles. Son programme est :

$$\max_{a_i} \sum_{i=1}^n (w - a_i + v(A)) \quad (4.4)$$

L'optimum social agrégé, A^* , est donné par :

$$A^* = v_{a_i}^{-1} \left(\frac{1}{n} \right) \quad (4.5)$$

Étant donné que la fonction $v_{a_i}(\cdot)$ est décroissante par rapport à a_i par hypothèse, nous avons $v_{a_i}^{-1} \left(\frac{1}{n} \right) > v_{a_i}^{-1}(1)$. Ainsi, $A^* > A^{pri}$. Ceci est un résultat classique dans la littérature des contributions volontaires à un bien public ((Bergstrom *et al.* (1986), Figuières *et al.* (2013)). Plus précisément, comme expliqué dans les chapitres précédents, ce résultat est dû au fait que les individus ne prennent pas en compte l'impact de leurs contributions dans le bénéfice des autres individus, lorsqu'ils calculent leur équilibre privé.

4.1.2 Mise en place d'instruments incitatifs

Sachant que les agents économiques sous-contribuent par rapport à l'optimum social, nous considérons trois instruments afin d'augmenter le niveau des contributions : une taxe, un *nudge* et un instrument mixte.

Mise en place d'une taxe

Comme dans le chapitre précédent, la taxe considérée est une taxe linéaire sur la différence entre un niveau de référence et la contribution des individus. Contrairement au chapitre précédent, les équilibres obtenus dans ce modèle sont multiples. En effet, nous venons d'expliquer que le niveau de contribution d'un individu dépend de la somme des contributions des $n - 1$ autres individus. De ce fait, le niveau de référence choisi pour la taxe est l'optimum social symétrique. En effet, tous les individus ont les mêmes préférences dans notre modèle. Il n'y a donc pas de raison de faire contribuer certains plus que d'autres.

Supposons que le régulateur puisse observer les contributions individuelles de chacun. Considérons la taxe linéaire $t(a_i)$ sur les contributions non fournies par rapport à l'optimum social symétrique, avec

$$t(a_i) = \begin{cases} \tau(a^* - a_i) & \text{si } a_i < a^* \\ 0 & \text{si } a_i \geq a^* \end{cases} \quad (4.6)$$

τ est le taux marginal de taxation, et a^* la contribution socialement optimale symétrique.

La fonction d'utilité de l'individu i devient :

$$U^i(a_i) = w - a_i - \tau(a^* - a_i) + v(A) \quad (4.7)$$

À l'équilibre, le niveau total des contributions du groupe sous la mise en place de la taxe, A^t , est donné par :

$$A^t = v_{a_i}^{-1}(1 - \tau) \quad (4.8)$$

Notons par ailleurs que l'optimum social peut être atteint si nous fixons $\tau = \frac{n-1}{n}$. Pour le voir, il suffit de considérer les équations (4.5) et (4.8), et d'égaliser les arguments des fonctions $v_{a_i}^{-1}(\cdot)$. Néanmoins, dans l'expérience présentée dans ce chapitre, nous ne mettrons pas en place la taxe optimale. En effet, nous nous intéressons également à un instrument mixte, qui prend la forme de la taxe que nous utilisons, complétée par notre *nudge*. Nous souhaitons vérifier si ce dernier peut aider à faire comprendre aux sujets que s'ils sont taxés, c'est parce que leur comportement n'est pas optimal.

Nous obtenons la proposition suivante,

Proposition 7 *Considérons un régulateur qui peut observer les contributions individuelles. S'il met en place une taxe linéaire telle que définie par l'équation (4.6), $\forall \tau > 0$, alors le niveau agrégé des contributions augmente.*

Nous démontrons ce résultat dans l'appendice, pour tout $\tau > 0$.

Notons que la taxe que nous proposons est similaire à celle proposée par Falkinger (1996). L’auteur a proposé de taxer (ou subventionner) les agents selon leur distance par rapport à la moyenne des contributions des autres agents du même groupe. Ce mécanisme a été testé dans l’expérience de Falkinger *et al.* (2000). Néanmoins, le désavantage d’un tel mécanisme est que le taux de taxe (ou de subvention) optimal peut être élevé. En particulier, dans leur expérience, Falkinger *et al.* (2000) mettent en place des taux de taxe compris entre 66% et 100%. Comme nous l’avons évoqué dans le premier chapitre, nous pouvons nous interroger sur l’acceptation sociale de tels taux.

Mise en place d’un *nudge*

La taxe présentée dans le paragraphe précédent est coûteuse en information pour le régulateur. Une alternative réside dans la mise en place d’un *nudge* tel que celui présenté dans les deux chapitres précédents⁷ Dès lors que nos agents s’éloignent du niveau annoncé, ils subissent un coût moral. Celui-ci est défini par la fonction suivante :

$$g(a_i - \hat{a}) \tag{4.9}$$

avec $\hat{a}$ le niveau de contribution annoncé par le régulateur. Dans ce chapitre, le *nudge* consiste en l’annonce de la contribution socialement optimale symétrique. En effet, comme nous l’avons expliqué précédemment, les équilibres induits par la concavité de la fonction de bénéfice lié au bien public sont multiples. Nous choisissons l’équilibre symétrique, car étant donné que les individus ont les mêmes préférences (par hypothèse), il n’y a pas de raison de faire contribuer davantage certains individus que d’autres.

Nous faisons l’hypothèse que $g_{a_i}(\cdot) \leq 0$ si $a_i - \hat{a} \leq 0$, et $g_{a_i a_i}(\cdot) > 0$. Par ailleurs, dans le cadre de l’expérience proposée dans la section suivante, nous travaillons dans un cadre décontextualisé. En effet, dans les deux chapitres précédents, nous avons considéré un cadre adapté à l’analyse de contributions volontaires pour améliorer la qualité environnementale. Dans ce chapitre, nous considérons un modèle plus général, dans lequel nous n’imposons pas de contexte. Ainsi, contrairement aux chapitres précédents, le *nudge* que nous mettons en place ne s’appuie pas sur la sensibilité environnementale des individus.⁸ Pour ces raisons, la fonction de coût moral $g(a_i - \hat{a})$ que nous proposons est très proche de celle proposée par Figuières *et al.* (2013). La différence par rapport à ces auteurs est que ces derniers

7. Nous ne revenons pas sur ce type de *nudge*, mais l’idée générale est de créer un point de référence pour les individus (Tversky et Kahneman (1974)).

8. À l’aide de l’expérience que nous proposons dans ce chapitre, nous pourrions ainsi vérifier si la réaction au *nudge* que nous proposons dépend d’une caractéristique intrinsèque des individus, comme leur sensibilité environnementale.

ne considèrent pas une annonce de la part du régulateur, mais un objectif moral que les individus se fixent eux-mêmes.

La fonction d'utilité de l'individu i est maintenant donnée par :

$$U^i(a_i) = w - a_i + v(A) - g(a_i - \hat{a}) \quad (4.10)$$

À l'équilibre, le niveau total des contributions du groupe sous la mise en place du *nudge*, A^n , est donné par :

$$A^n = v_{a_i}^{-1}(1 + g_{a_i}(a_i^n - \hat{a})) \quad (4.11)$$

Nous obtenons la proposition suivante.

Proposition 8 *Considérons un régulateur qui met en place un nudge (annonce de la contribution socialement optimale symétrique). Alors,*

- a) si un équilibre existe, c'est un équilibre symétrique.*
- b) le niveau agrégé des contributions augmente par rapport au niveau agrégé en l'absence d'instrument incitatif.*
- c) l'optimalité sociale n'est pas atteinte.*

Nous démontrons ce résultat dans l'appendice.

Le point a) est dû au fait que tous nos individus ont les mêmes préférences, contrairement aux deux chapitres précédents. D'un point de vue technique, l'équilibre symétrique est dû à la convexité de la fonction de coût moral. Une fonction de coût moral linéaire ne permettrait pas un tel équilibre. La présence du coût moral explique également le point b).

Concernant le point c), nous ne pouvons pas donner de prédiction théorique plus précise car, comme nous l'avons indiqué dans le deuxième chapitre, le *nudge* va induire une réaction psychologique auprès des individus. Ainsi, nous pouvons anticiper le sens de cette réaction (si l'individu va augmenter ou réduire son niveau de contribution), mais nous ne pouvons pas la quantifier. Au contraire, avec la taxe présentée dans la sous-section précédente, il est possible d'obtenir des prédictions théoriques claires. En effet, suite à la mise en place de la taxe, les individus intègrent les coûts monétaires liés à cette dernière dans la contrainte budgétaire ($w - a_i - \tau(a^* - a_i)$), et il est possible de calculer l'équilibre exact.

À ce titre, nous pouvons rappeler la différence entre la taxe et notre *nudge* : la taxe impose un coût monétaire à l'individu (si ce dernier contribue moins que l'optimum social

symétrique), alors que le *nudge* impose un coût moral à l'individu (dès lors que ce dernier dévie de l'optimum social symétrique). Pour le voir, nous pouvons réécrire la fonction d'utilité $U^i(a_i)$ en faisant apparaître l'utilité de la consommation comme dans les chapitres précédents :

$$U^i(a_i) = u(c_i) + v(A)$$

avec $u'(\cdot) > 0$, $u''(\cdot) = 0$, et $c_i = w - a_i$. Ainsi, la fonction d'utilité avec la taxe s'écrit :

$$U^i(a_i) = u(w - a_i - \tau(a^* - a_i)) + v(A)$$

alors qu'avec la fonction de coût moral elle s'écrit :

$$U^i(a_i) = u(w - a_i) + v(A) - g(a_i - \hat{a})$$

Du fait de la linéarité de l'utilité de la consommation, il ne semble pas y avoir de différence dans ce modèle entre la fonction de coût moral $g(a_i - \hat{a})$, et la fonction de la taxe $\tau(a^* - a_i)$. L'écriture que nous venons de proposer a pour objectif de saisir cette différence.

Une autre différence avec la taxe est qu'il n'est pas nécessaire, pour le régulateur, de connaître les niveaux des contributions individuelles de chacun. L'annonce est faite de manière indépendante aux contributions individuelles. Seuls les agents qui dévient de l'optimum social symétrique devraient ajuster leurs contributions.

Mise en place d'un instrument mixte

Comme nous l'avons précisé en introduction, nous nous proposons de compléter la taxe par notre *nudge* afin que les individus comprennent qu'ils sont taxés car leur comportement n'est pas optimal. Nous souhaitons ainsi vérifier s'il est possible de combiner les avantages de chaque instrument pris séparément : l'efficacité de la taxe (Cropper et Oates (1992), Helfand *et al.* (2003)), et l'acceptabilité sociale des *nudges* (Jung et Mellers (2016), Reisch et Sunstein (2016)). Nous avons vu dans le chapitre précédent que la mise en place d'incitations monétaires peut induire un effet d'éviction sur le niveau des contributions (Bénabou et Tirole (2003, 2006), Gneezy et Rustichini (2000)). Nous avons également vu, au contraire, que la mise en place des *nudges* pouvait induire un effet d'apprentissage de la part des individus, du fait de la présence d'une persistance de leurs effets même lorsque leur mise en place est arrêtée (Ferraro *et al.* (2011), Allcott et Rogers (2014), Bernedo *et al.* (2014)). L'inconvénient d'un tel instrument, comme pour la mise en place du *nudge*

seul, est qu'il n'est pas possible d'obtenir des prédictions théoriques claires, car la réaction au *nudge* est une réaction psychologique intrinsèque à chaque individu. Nous pouvons toutefois indiquer le sens de variation du niveau des contributions.

Sous la mise en place d'un instrument mixte, la fonction d'utilité de l'individu i devient :

$$U^i(a_i) = w - a_i - \tau(a^* - a_i) + v(A) - g(a_i - \hat{a}) \quad (4.12)$$

À l'équilibre, le niveau total des contributions du groupe sous la mise en place de l'instrument mixte, A^m , est donné par :

$$A^m = v_{a_i}^{-1}(1 - \tau + g_{a_i}(a_i^m - \hat{a})) \quad (4.13)$$

Nous obtenons la proposition suivante.

Proposition 9 *Considérons un régulateur qui met en place un instrument mixte. Alors,*

- a) si un équilibre existe, c'est un équilibre symétrique.*
- b) le niveau agrégé des contributions augmente par rapport au niveau agrégé en l'absence d'instrument incitatif.*
- c) le niveau agrégé des contributions est supérieur à celui obtenu sous la mise en place de chaque instrument considéré de manière séparée.*

Nous démontrons ce résultat dans l'appendice.

Un des avantages de la mise en place d'un tel *nudge* avec la taxe est que nous pourrions nous attendre, théoriquement, à une coordination dans le choix des contributions individuelles. Rappelons que la mise en place de la taxe seule conduit à des équilibres multiples. Par ailleurs, d'après le point c) de cette proposition, nous pouvons nous attendre à ce que l'instrument mixte induise les niveaux de contributions les plus élevés parmi tous les instruments considérés.

Dans la section suivante, une expérience est proposée pour tester ces instruments. Nous n'avons pas introduit la notion d'apprentissage dans notre modèle. En effet, les individus pourraient apprendre de la mise en place des instruments. De fait, deux hypothèses peuvent être opposées. La première étant que, dès lors que les incitations sont retirées, les agents économiques reviennent à un niveau de contribution égal à celui que nous observerions en l'absence d'instrument incitatif. La deuxième étant que les agents économiques apprennent de la mise en place de ces instruments et que, lorsque ces derniers sont retirés, les agents

contribuent à un niveau similaire, ou intermédiaire, à celui observé sous la mise en place des instruments (niveau qui reste supérieur à celui observé en l'absence d'instrument incitatif). La deuxième partie de l'expérience nous permettra de trancher entre ces deux hypothèses.

4.2 Protocole expérimental et procédure

Nous commençons par détailler le protocole de l'expérience avec les différents traitements. Nous considérerons ensuite les hypothèses comportementales. Nous rapprocherons enfin cette expérience de celles existant sur des sujets similaires. Comme nous l'avons expliqué en introduction, ce protocole expérimental est inspiré de celui proposé par Bruttel et Friehe (2014) et Lefebvre et Stenger (2016).

4.2.1 Cadre général de l'expérience

L'expérience a été mise en place entre novembre 2015 et mars 2016 au sein du Laboratoire d'Économie Expérimentale de Strasbourg (LEES). Au total, 8 sessions ont été organisées, chacune avec 20 sujets (soit un total de 160 sujets), d'une durée d'une heure environ. Le gain moyen des sujets a été de 12.67 euros.

Au début de l'expérience, les sujets ont été assignés de manière aléatoire à un ordinateur, puis les instructions ont été lues à voix haute. Si les sujets avaient des questions, un expérimentateur venait leur répondre de manière privée. Les sujets ont été informés qu'ils joueraient à deux jeux. Nous avons distribué les instructions du second jeu lorsque le premier fut terminé. Chaque jeu consistait en un jeu de bien public se déroulant sur 10 périodes. Durant les 10 premières périodes, les sujets ont reçu une incitation (différente selon le traitement) à contribuer pour le bien public (à l'exception du groupe de contrôle). Puis, durant la deuxième série de 10 périodes, les incitations ont été retirées (afin d'observer si nous avons des effets de persistance des instruments incitatifs).

Avant le début du jeu, les sujets ont été répartis de manière aléatoire à un groupe de 4 personnes (soit 5 groupes par session). À chaque période, les sujets étaient dotés de 20 jetons à répartir entre un compte privé et un compte public. Les instructions expliquaient aux sujets qu'un investissement d'un jeton dans le compte privé leur profiterait de manière privée. En revanche, un investissement d'un jeton dans le compte public profiterait à l'ensemble du groupe. Pour faciliter la tâche des sujets, nous leur avons donné un tableau pour visualiser les gains possibles en fonction de leur investissement dans le compte public, ainsi que de l'investissement des 3 autres membres de leur groupe. Comme pour l'expérience présentée dans le chapitre précédent, un simulateur était disponible afin que

les sujets puissent estimer leurs gains.

Lorsque les 10 premières périodes de jeu ont été terminées, les sujets ont reçu les instructions pour les 10 autres périodes (sans instrument incitatif). Un questionnaire socio-démographique a complété cette dernière partie.

Enfin, afin de vérifier la bonne compréhension des sujets, un questionnaire de compréhension (10 questions) a été mis en place avant le début du premier jeu.

Description des traitements

En plus d'un groupe de contrôle, différents traitements ont été mis en place pour tester les instruments incitatifs présentés dans la section précédente.

Dans le groupe de contrôle (T1), les sujets ont joué deux fois 10 périodes sans aucun instrument incitatif.

Un *nudge* a été mis en place dans le traitement T2, pendant 10 périodes. Au début de chaque période, les sujets pouvaient lire le message suivant sur leur écran :

"La meilleure solution pour votre groupe est que chaque sujet investisse 16 jetons dans le compte public."

Ce message est similaire à celui mis en place dans l'expérience présentée dans le chapitre précédent. Cependant, comme nous travaillons avec une expérience décontextualisée, nous avons retiré la notion d'environnement dans ce message.

Comme dans l'expérience proposée dans le chapitre précédent, la mise en place du *nudge* peut soulever une préoccupation concernant la possibilité d'un effet de demande de l'expérimentateur (Zizzo (2010)). Dans les instructions, nous avons indiqué aux sujets qu'avant de prendre leur décision, un message apparaîtrait à l'écran. Nous leur avons rappelé qu'ils seraient libres de suivre, ou non, l'indication donnée par le message, et que toutes les décisions seraient prises de manière anonyme. Par ailleurs, l'expérimentateur qui a conduit les sessions n'est pas un enseignant de l'université de Strasbourg.

Dans le traitement T3, si les sujets investissaient moins que l'investissement socialement optimal symétrique, alors ils étaient taxés sur la différence entre ces deux valeurs.

Dans le dernier traitement (T4), un instrument mixte a été mis en place. Nous avons complété la taxe mise en place dans le traitement T3 par un message normatif, afin de faire prendre conscience aux sujets qu'ils étaient taxés car leur comportement n'est pas optimal. L'utilisation du même message que celui mis en place dans le traitement T2 aurait été

redondant étant donné que les sujets savaient que s'ils investissaient moins de 16 jetons, ils seraient taxés sur la différence. De ce fait, nous avons ajouté la notion de gain total du groupe. Plus précisément, à la fin de chaque période, si les sujets investissaient moins de 16 jetons, alors ils pouvaient lire le message suivant :

"Vous avez contribué x jetons dans le compte public. Votre groupe a gagné y ECU. Un groupe dans lequel tous les sujets contribuent 16 jetons gagnerait 1440 ECU."

L'objectif de ce message était de faire intégrer aux sujets qu'un investissement de 16 jetons devrait être la norme. Comme dans l'expérience présentée dans le chapitre précédent, les messages ont été formulés de la manière la plus neutre possible. Delaney et Jacobson (2015) mettent en place des messages non neutres avec des émoticônes. L'inconvénient de messages non neutres est qu'ils peuvent être plus facilement critiqués par rapport à la manipulation des sujets qu'ils induisent.

Les sujets ont été arrangés en groupes fixes (*Partenaires*). Pour étudier l'effet de la dynamique de groupe sur la réaction des individus aux instruments proposés, nous avons répliqué chaque traitement en groupes d'*Étrangers* (à la fin de chaque période, les sujets ont été placés dans un nouveau groupe de manière aléatoire). Avec les groupes d'*Étrangers*, l'idée était d'isoler l'effet des instruments sur le niveau des contributions. Cependant, l'inconvénient avec de tels groupes est que les observations au niveau du groupe ne sont plus indépendantes : à chaque changement de groupe, un sujet va affecter "l'histoire" d'autres individus. De ce fait, nous n'obtenons qu'une seule observation indépendante pour chaque session. Nous ne pourrions pas mener d'analyses non paramétriques sur ces sujets. Nous analyserons les décisions individuelles dans la section suivante (à l'aide d'une analyse économétrique).

Paramètres de l'expérience

La fonction des gains pour le groupe de contrôle et le traitement avec *nudge* (T2) était :

$$\pi_i = 10 \left(20 - a_i + 4\sqrt{A} \right) \quad (4.14)$$

avec π_i le gain du sujet i , a_i son investissement dans le compte public et A la somme des investissements du groupe dans le compte public. Rappelons qu'une telle fonction, linéaire dans le gain lié au compte privé, et concave dans le bénéfice lié aux investissements dans le compte public, induit des équilibres multiples, ce qui peut compliquer le choix des sujets

Tableau 4.1: Résumé des traitements

Traitement	Valeur de τ	Annonce	Message normatif	Équilibre de Nash au niveau du groupe
T1	0	Non	Non	4
T2	0	Oui	Non	>4
T3	0.5528	Non	Non	44
T4	0.5528	Non	Oui	>44

(Laury et Holt (2008)). À nouveau, le choix de cette fonction est motivé par le fait qu’une fonction linéaire dans la consommation privée et le gain lié au bien public, ne permet pas d’expliquer les comportements généralement observés dans les jeux de biens publics (comme nous l’avons discuté en introduction).⁹

Pour le traitement avec taxe (T3) et avec instrument mixte (T4), la fonction pour les gains monétaires était :

$$\pi_i = 10 \left(20 - a_i - \tau(16 - a_i) + 4\sqrt{A} \right) \quad (4.15)$$

avec τ le taux de taxation, égal à 0.5528. Nous rappelons que ce n’est pas le taux de la taxe optimale. En effet, nous souhaitons comparer une taxe non optimale avec la mise en place d’un instrument mixte, pour étudier la possibilité que les sujets comprennent, avec l’instrument mixte, qu’ils sont taxés car leur comportement n’est pas optimal.

Les différents traitements, avec les équilibres attendus, sont résumés dans le tableau 4.1.

4.2.2 Hypothèses comportementales

Si nous considérons les périodes 1 à 10, selon les prédictions théoriques de la section précédente, nous devrions observer un niveau agrégé des contributions plus élevé dans les traitements T2, T3 et T4, par comparaison avec le groupe de contrôle (T1). Cependant, étant donné que nous ne pouvons pas donner de prédictions claires concernant le niveau des contributions attendu sous la mise en place du *nudge*, nous ne pouvons pas anticiper quel instrument, entre la taxe seule et le *nudge*, induira le niveau agrégé des contributions le plus élevé. Nous pouvons néanmoins anticiper que l’instrument mixte est l’instrument qui induira le niveau agrégé des contributions le plus élevé, car cet instrument est censé intégrer les avantages de chaque instrument (taxe et *nudge*) pris séparément.

9. Une fonction similaire a été utilisée par Sefton et Steinberg (1996), Isaac et Walker (1998), Chan *et al.* (1999), Chan *et al.* (2002).

Enfin, nous devrions observer une variance plus faible au niveau des contributions à l'échelle du groupe sous la mise en place du *nudge* et de l'instrument mixte. En effet, nous avons mis en évidence dans la section précédente que la mise en place de ces instruments pouvait permettre une coordination des décisions individuelles.

Si nous considérons les périodes 11 à 20, nous pouvons formuler deux hypothèses. En effet, deux résultats différents sont possibles selon la littérature portant sur le sujet.

La première hypothèse est que, dès que les instruments seront retirés (traitements T2, T3 et T4), les sujets retourneront à des niveaux de contributions similaires à ceux observés dans le groupe de contrôle (T1), en adéquation avec les travaux de Goeschl et Perino (2012) et Bruttel et Friehe (2014). Pour le cas du traitement avec taxe (T3), un effet d'éviction (ou de relâchement) peut apparaître (Frey et Jegen (2001), Bénabou et Tirole (2003, 2006)). Dans cette littérature, cet effet est dû au fait que les individus sont forcés à agir dans une direction donnée, alors qu'ils ne présentent pas d'intérêt dans la tâche. Une autre raison pourrait simplement être que les sujets n'ont pas intérêt à garder un niveau d'investissement plus élevé, car cela ne satisferait pas leur programme privé de maximisation.

La deuxième hypothèse est que les niveaux de contributions dans les groupes ayant reçu un traitement ne vont pas revenir directement à un niveau similaire à celui observé dans le groupe de contrôle, illustrant ainsi un effet de persistance. Lefebvre et Stenger (2016) obtiennent un résultat dans ce sens avec leur expérience sur la mise en place de récompenses (ou de punitions) monétaires et non monétaires. En particulier, pour les traitements T2 et T4 (respectivement avec *nudge* et instrument mixte), nous pouvons espérer que les sujets comprennent que ces incitations sont mises en place car leur comportement n'est pas optimal.

Enfin, nous pouvons à nouveau formuler deux hypothèses concurrentes concernant l'effet de l'appariement des sujets (*Partenaires* ou *Étrangers*) sur la réaction aux instruments incitatifs proposés. Les résultats ne vont pas tous dans la même direction dans la littérature expérimentale portant sur l'étude des comportements de groupes de *Partenaires* ou d'*Étrangers*. Notons que ces études ne portent pas sur l'étude des comportements de ces types de groupes en présence d'instruments incitatifs. Nous nous servons seulement des résultats de ces expériences pour formuler nos hypothèses.

Notre première hypothèse pourrait être que la réaction aux instruments incitatifs ne dépend pas de l'appariement des sujets. Autrement dit, la dynamique des groupes n'affecte pas la réponse à une incitation. Dans son expérience, Weimann (1994) ne trouve pas de différence dans les contributions entre les groupes de *Partenaires* et d'*Étrangers*.

L'hypothèse alternative serait alors que la dynamique des groupes aurait une influence sur la réaction des sujets aux instruments incitatifs. Plusieurs expériences ont mis en évidence que les groupes d'*Étrangers* contribuaient davantage que les groupes de *Partenaires* (Andreoni (1988), Palfrey et Prisbrey (1996)), alors que le résultat inverse a également été mis en avant par d'autres chercheurs (Croson (1996), Sonnemans et al. (1999), Fehr et Gächter (2000), Keser et van Winden (2000)).

Keser et van Winden (2000) et Fischbacher *et al.* (2001) ont émis l'hypothèse que les sujets sont des coopérateurs conditionnels. Dès lors que les autres sujets contribuent, un coopérateur conditionnel contribuera dans les mêmes proportions. Néanmoins, afin de mieux expliquer le déclin des contributions dans le temps, Fischbacher et Gächter (2010) ont précisé que la plupart des sujets étaient des coopérateurs conditionnels *imparfaits* : ils ne contribuent pas tout à fait dans les mêmes proportions que les autres membres du groupe, mais un peu moins.

4.2.3 Relation avec les expériences similaires

Cette expérience entretient des liens similaires à ceux établis avec l'expérience présentée dans le chapitre précédent, en particulier avec les expériences portant sur les instruments non monétaires (Masclét *et al.* (2003), Rege et Telle (2004), Dugar (2010, 2013), Delaney et Jacobson (2015), Lefebvre et Stenger (2016)) et celles portant sur les jeux de bien public avec recommandations (Marks *et al.* (1999), Croson et Marks (2001), Oxoby et Spraggon (2007), Dal Bó et Dal Bó (2014)).

Enfin, cette expérience s'inscrit également dans la lignée des expériences ayant analysé la persistance des effets des incitations dans le temps. Masclét *et al.* (2003) ont mis en place une expérience dans laquelle les sujets ont la possibilité de désapprouver le comportement des autres membres du groupe avec des sanctions monétaires ou non monétaires (selon le traitement) prenant la forme de points à distribuer. Contrairement au jeu que nous proposons, le jeu se déroule en trois fois 10 périodes. Durant les périodes 1 à 10 et 21 à 30, les sujets n'avaient pas la possibilité de sanctionner les autres membres de leur groupe. Comme évoqué plus haut, notre protocole est plus proche de celui mis en place par Lefebvre et Stenger (2016), qui se proposent de tester la persistance des effets des récompenses monétaires et non monétaires, en plus de celle des effets des sanctions monétaires et non monétaires. Les auteurs considèrent deux fois 15 périodes de jeu. Durant la période 1 à 15, les sujets reçoivent l'un des 4 traitements (en sus du groupe de contrôle). Tous les traitements sont arrêtés durant la deuxième série de 15 périodes. Lefebvre et Stenger

trouvent une persistance des effets des incitations après leur retrait. Notre protocole est également proche de celui de Bruttel et Friehe (2014), qui proposent un jeu de bien public sur deux fois 10 périodes (durant les 10 premières périodes, les sujets ont la possibilité de punir les autres sujets en allouant des points de punition). Une fois ces incitations retirées, les auteurs ne trouvent pas de persistance des effets.

Dans la section suivante, nous présentons les résultats de cette expérience.

4.3 Résultats

Dans la première sous-section, nous commençons par analyser les effets des différents instruments incitatifs considérés sur les investissements à l'échelle du groupe. Nous ne mènerons pas de tests non paramétriques sur les données obtenues avec les groupes d'*Étrangers*, car comme nous l'avons expliqué plus haut, nous ne disposons pas d'assez d'observations indépendantes pour le faire. Nous analyserons ces données dans la deuxième sous-section, avec l'analyse économétrique.

4.3.1 Analyse des contributions moyennes par groupe

Les moyennes des contributions par groupe sont détaillées dans le tableau 4.2. Nous rappelons que pour les groupes de *Partenaires*, nous avons 5 groupes indépendants par traitement. Tant pour les groupes de *Partenaires* que d'*Étrangers*, nous pouvons remarquer que la mise en place des instruments incitatifs semble induire un niveau de contribution supérieur à celui observé dans le groupe de contrôle.¹⁰ Une fois le traitement terminé, seuls ceux ayant reçu le *nudge* parmi les groupes de *Partenaires* semblent avoir un niveau de contribution supérieur à celui observé dans le groupe de contrôle. Au contraire, tous ceux ayant reçu un traitement dans les groupes d'*Étrangers* continuent à contribuer plus que le niveau observé dans les groupes de contrôle.

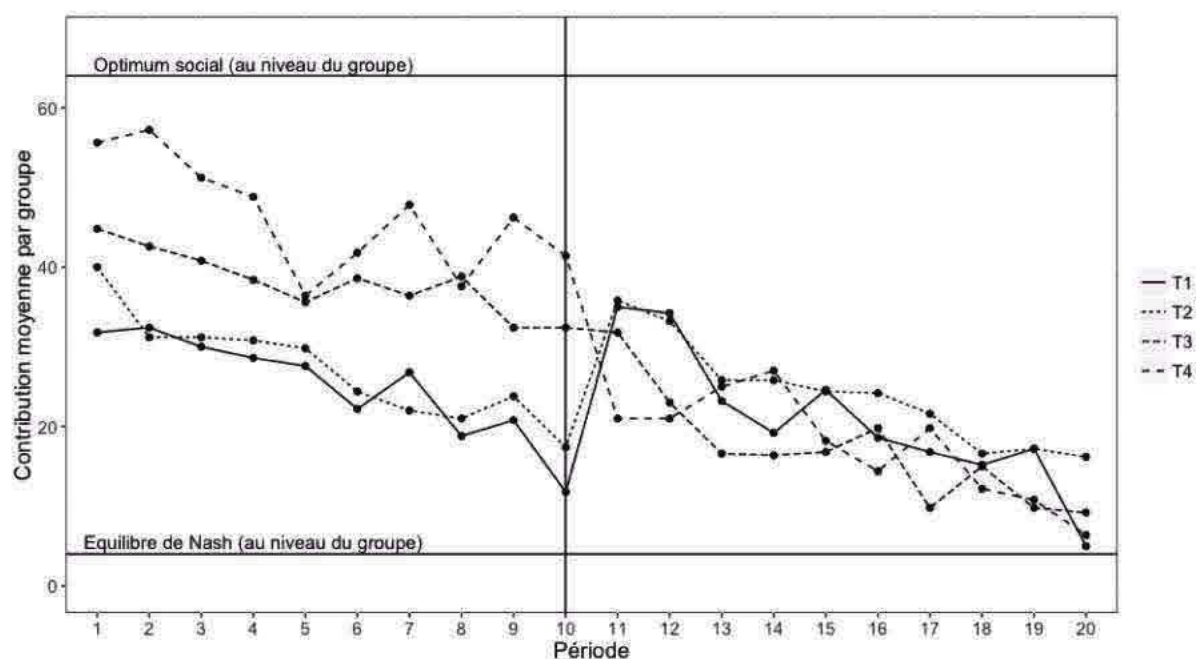
La dynamique des niveaux des contributions à l'échelle du groupe est illustrée avec les figures 4.1 et 4.2.

Nous retrouvons les tendances que nous avons observées avec le tableau 4.2. A l'aide de la figure 4.1, nous pouvons noter un effet de fin de jeu clair à la période 10 pour les groupes de contrôle et ceux ayant reçu le *nudge*. De même, nous pouvons noter un effet de reprise pour ces deux types de groupe à la période 11. Ces deux phénomènes sont connus

10. Nous n'effectuerons pas de comparaison des niveaux des contributions à l'échelle du groupe entre les groupes de *Partenaires* et d'*Étrangers*, car nous ne possédons pas d'assez d'observations indépendantes pour les groupes d'*Étrangers*.

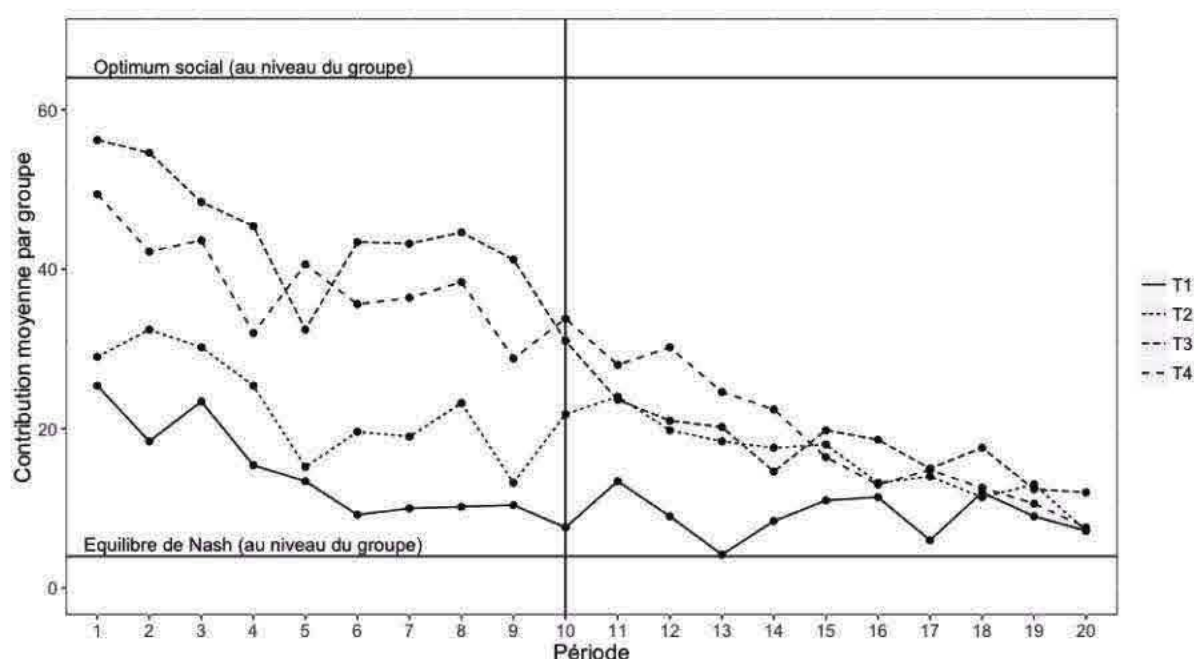
Tableau 4.2: Moyenne des contributions par groupe (écart-type entre parenthèses).

		Partenaires	Étrangers
		Moyenne (Écart-type)	Moyenne (Écart-type)
Contrôle (T1)	Périodes 1-10	25.08 (8.07)	14.44 (2.42)
	Périodes 11-20	20.90 (5.14)	9.14 (2.17)
Nudge (T2)	Périodes 1-10	27.16 (11.01)	22.90 (2.50)
	Périodes 11-20	24.08 (14.62)	15.66 (2.72)
Taxe (T3)	Périodes 1-10	38.08 (11.48)	44.04 (3.21)
	Périodes 11-20	16.82 (2.26)	17.48 (2.27)
Instrument mixte (T4)	Périodes 1-10	46.4 (5.43)	38.08 (3.45)
	Périodes 11-20	17.58 (6.85)	18.02 (4.81)

FIGURE 4.1: Contributions moyennes par groupe et par période (Groupes de *Partenaires*)

et documentés dans la littérature portant sur les jeux de biens publics (voir en particulier la revue de littérature de Ledyard (1995)). Par ailleurs, à partir de la période 11, nous pouvons remarquer une diminution claire du niveau des contributions à l'échelle du groupe pour ceux ayant reçu l'instrument mixte.

Concernant les groupes d'*Étrangers* (figure 4.2), nous pouvons noter un léger effet de


 FIGURE 4.2: Contributions moyennes par groupe et par période (Groupes d'*Étrangers*)

fin de jeu pour les groupes ayant reçu la taxe seule, ainsi qu'un léger effet de reprise pour le groupe de contrôle. Contrairement aux groupes de *Partenaires*, les effets des instruments incitatifs mis en place de la période 1 à 10 semblent persister durant la seconde partie du jeu. Nous vérifierons cette observation lors de l'analyse économétrique de la sous-section suivante.

Afin de confirmer ces observations, nous commençons par mener un test (non paramétrique) de Mann-Whitney-Wilcoxon (bilatéral) sur les niveaux des contributions à l'échelle du groupe (pour les groupes de *Partenaires*). Le tableau 4.3 détaille les résultats.

Tableau 4.3: Test de comparaison de moyennes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral)

	T1	T2	T3
T2	0.835		
T3	0.144	0.144	
T4	0.012	0.012	0.296

Bien que les mises en place du *nudge* (T2) et de la taxe (T3) induisent des niveaux de contribution supérieurs à ceux observés dans le groupe de contrôle, ces effets ne sont pas significatifs ($p - value = 0.835$ pour le *nudge*, et $p - value = 0.144$ pour la taxe). Seul l'instrument mixte induit un effet positif et significatif sur le niveau des contributions par rapport au groupe de contrôle ($p - value = 0.012$). Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent, la prédiction théorique pour la taxe seule était que le niveau

des contributions devait augmenter par rapport à celui du groupe de contrôle (hypothèse unilatérale). Avec un test de Mann-Whitney-Wilcoxon unilatéral, nous obtenons une p – *value* égale à 0.072. Par conséquent, même si le test approprié est un test bilatéral, nous ne pouvons exclure le fait que la mise en place de la taxe seule (T3) induit une augmentation marginale du niveau des contributions par rapport au groupe de contrôle. Nous obtenons le résultat 1,

Résultat 1 : *L’instrument mixte est le seul instrument qui induit une augmentation significative du niveau des contributions à l’échelle du groupe, par rapport au groupe de contrôle. La taxe seule n’induit qu’une augmentation marginale du niveau des contributions.*

Pour la taxe seule, rappelons qu’il ne s’agit pas de la taxe optimale. En effet, nous souhaitons tester un instrument mixte (taxe et *nudge*).

Dans le modèle présenté dans la section 1, nous avons expliqué que le *nudge* pouvait permettre une coordination des décisions individuelles. Pour tester ce point, nous utilisons le test de Klinger-Killeen, qui est un test non paramétrique d’égalité des variances (des contributions à l’échelle du groupe). Le tableau 4.4 détaille les résultats.

Tableau 4.4: Test d’égalité des variances (Klinger-Killeen)

	T1	T2	T3
T2	0.950		
T3	0.638	0.421	
T4	0.725	0.501	0.863

Nous remarquons que les variances de chaque traitement ne diffèrent pas significativement les unes des autres. Nous obtenons le résultat 2,

Résultat 2 : *La mise en place du nudge, et de l’instrument mixte, ne permet pas une coordination dans le choix des décisions d’investissement dans le bien public par rapport au groupe de contrôle.*

Ce résultat n’est pas surprenant dans la mesure où nous avons montré que le *nudge* seul n’a aucun effet sur le niveau des contributions : les sujets n’ont pas eu de prise de conscience concernant le fait que les contributions dans le bien public augmentaient le bien-être du groupe.

Tableau 4.5: Test de comparaison de moyennes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral)

	T1	T2	T3
T2	1.000		
T3	0.403	1.000	
T4	0.296	0.676	1.000

4.3.2 Analyse de la persistance des effets des instruments incitatifs

La dynamique des contributions entre les périodes 11 et 20 est illustrée avec la figure 4.1 pour les groupes de *Partenaires*, et avec la figure 4.2 pour les groupes d'*Étrangers*. Les groupes ayant reçu le *nudge* (T2) semblent contribuer de manière similaire aux sujets du groupe de contrôle jusqu'à la période 13, puis semblent contribuer plus que ces derniers jusqu'à la dernière période. La dynamique des contributions est différente pour les groupes ayant reçu la taxe (T3) et l'instrument mixte (T4) : ces derniers semblent contribuer moins que les sujets du groupe de contrôle.

Pour vérifier ce constat, nous menons un test de Mann-Whitney-Wilcoxon sur les niveaux des contributions (à l'échelle du groupe). Le tableau 4.5 détaille les résultats. Nous obtenons le résultat 3,

Résultat 3 : *Une fois la mise en place des instruments incitatifs arrêtée, nous ne trouvons pas de persistance des effets de ces derniers par rapport au groupe de contrôle.*

Concernant la taxe, nous avons évoqué dans la sous-section portant sur les hypothèses comportementales la possibilité d'un effet de relâchement au niveau des contributions. D'après le tableau 4.2, les moyennes des contributions par groupe dans les traitements avec la taxe (T3) et avec l'instrument mixte (T4) sont inférieures à celle observée dans les groupes de contrôle, ce qui semble aller dans le sens de l'hypothèse évoquée. Cette différence n'est cependant pas significative. Pour ceux ayant reçu le traitement avec *nudge* (T2), le fait que nous ne trouvions pas de persistance des effets n'est pas surprenant car dans la sous-section précédente, nous n'avions pas trouvé d'augmentation (significative) du niveau des contributions sous la mise en place de cet instrument.

Dans la sous-section suivante, nous analysons les déterminants des décisions individuelles.

4.3.3 Analyse des décisions individuelles

Pour analyser les décisions individuelles, nous suivons une méthode similaire à celle mise en place dans le chapitre précédent. C'est également la méthode mise en place par Bruttel et Friehe (2014) et Lefebvre et Stenger (2016).

Les sujets pouvant investir entre 0 et 20 jetons, nous optons à nouveau pour un modèle Tobit. Notons a_{it} la contribution de l'individu i à la période t . Le modèle que nous estimons est :

$$a_{it} = \begin{cases} 0 & \text{si } a_{it}^* \leq 0 \\ a_{it}^* & \text{si } 0 < a_{it}^* < 20 \\ 20 & \text{si } a_{it}^* \geq 20 \end{cases}$$

Le modèle latent est donné par

$$a_{it}^* = \rho g_{-i,t-1} + z_{it}\gamma + \lambda_i + v_{it}$$

avec $g_{-i,t-1}$ la contribution des autres membres du groupe de l'individu i à la période $t-1$, γ le vecteur des variables indépendantes, λ_i est un effet aléatoire individuel et v_{it} l'erreur standard de la régression.

Les résultats de cette estimation sont présentés dans le tableau 4.6. La variable *Autres t-1* désigne la contribution des autres membres du groupe de l'individu i à la période précédente. La variable *Période* permet d'appréhender l'effet du temps sur le niveau des contributions. Les variables *T2*, *T3* et *T4* sont des variables dichotomiques prenant la valeur 1 si l'individu a reçu le traitement correspondant. Pour les estimations des décisions de contribuer entre les périodes 11 à 20, nous incluons également les variables croisées *T2×période*, *T3×période* et *T4×période* afin de saisir l'évolution de l'effet du traitement avec le temps. La variable *Risque* est une variable dichotomique prenant la valeur 1 si l'individu se perçoit comme une personne aimant prendre des risques dans la vie (voir questionnaire socio-démographique en appendice).

Enfin, nos estimations comprennent également une variable pour l'*Âge*, pour le *Genre* (variable dichotomique prenant la valeur 1 si l'individu est une femme), sur la perception du *Bonheur* (prenant la valeur 1 si l'individu se sent heureux actuellement dans sa vie), une variable *Profit* (prenant la valeur 1 si l'individu pense que les autres individus veulent généralement profiter de lui), une variable *Bénévole* (prenant la valeur 1 si l'individu fait partie d'une association caritative), ainsi qu'une variable *Expérience* (prenant la valeur 1 si l'individu a déjà participé à une expérience en laboratoire en économie). Les coefficients

Tableau 4.6: Régression Tobit.

	Partenaires		Étrangers	
	Périodes 1 to 10	Périodes 11 to 20	Périodes 1 to 10	Périodes 11 to 20
Décision				
Autres t-1	0.037 (0.037)	0.076** (0.039)	-0.004 (0.025)	-0.009 (0.026)
Période	-0.460*** (0.115)	-0.673*** (0.200)	-0.545*** (0.120)	0.104 (0.143)
T2	1.186 (1.650)	0.326 (2.251)	3.718 (2.505)	12.837** (3.859)
T3	3.410* (1.944)	-2.793* (1.516)	9.143*** (2.541)	9.808* (5.124)
T4	4.947*** (1.787)	-1.272 (2.932)	8.004*** (2.105)	19.878*** (5.100)
T2×période		0.180 (0.273)		-0.665** (0.239)
T3×période		0.277 (0.222)		-0.469** (0.234)
T4×période		0.090 (0.342)		-1.109*** (0.298)
Risque	3.950** (1.830)	0.684 (1.143)	-0.472 (1.640)	-0.707 (1.547)
Constante	-6.672 (10.583)	5.612 (10.341)	6.154 (9.488)	-2.654 (7.485)
σ_λ	4.945*** (0.572)	3.233*** (0.582)	5.187*** (0.601)	4.662*** (0.578)
σ_v	5.990*** (0.398)	5.128*** (0.457)	5.586*** (0.345)	4.319*** (0.297)
Log-likelihood	-1961.423	-1788.596	-1828.179	-1518.198
Nombre d'individus	80	80	80	80
Nombre d'observations	720	720	720	720

Les erreurs standards (entre parenthèses) sont calculées selon la méthode du bootstrap
Significativité statistique : 1% (***), 5% (**) et 10% (*)

des variables présentées dans ce paragraphe ne sont pas significatifs, et ne sont pas détaillés dans le tableau 4.6.

Nous considérons dans un premier temps les régressions pour les groupes de *Partenaires*. Durant les périodes 1 à 10, nous pouvons noter que le traitement avec l'instrument mixte (T4) a un effet positif et significatif (à 1%) sur le niveau des contributions. Par ailleurs, le traitement avec taxe (T3) a également un effet positif et faiblement significatif (à 10%) sur le niveau des contributions. Nous retrouvons ainsi l'idée de significativité marginale évoquée au début de cette section. Comme attendu au vu des résultats obtenus avec les tests non paramétriques, le traitement avec *nudge* (T2) n'a pas d'effet significatif sur le niveau des contributions individuelles. La période du jeu explique également de manière

négative et significative (à 1%) le niveau des contributions : les sujets réduisent leur niveau de contribution avec le temps, ce qui est une tendance généralement observée dans les jeux de biens publics (Ledyard (1995), Chaudhuri (2011)). Enfin, le fait qu'un sujet aime prendre des risques a un effet positif et significatif (à 5%) sur le niveau des contributions. Une explication pourrait être que durant les 10 premières périodes du jeu, les sujets n'ont qu'une connaissance imparfaite des autres sujets, et il y a une part d'incertitude sur la manière dont les autres membres du groupe vont jouer. Ainsi, les sujets prenant généralement des risques dans leur vie accepteraient de prendre le risque de contribuer malgré cette incertitude.

Concernant les périodes 11 à 20, périodes durant lesquelles il n'y a plus d'instrument incitatif, nous pouvons remarquer qu'à nouveau la période du jeu explique de manière négative et significative (à 1%) le niveau des contributions. Comme nous pouvions nous y attendre d'après les résultats des tests non paramétriques, nous ne trouvons pas d'effet de persistance des instruments incitatifs mis en place durant les 10 périodes précédentes. Cependant, contrairement aux résultats des tests non paramétriques du début de cette section, le fait d'avoir reçu la taxe au cours des 10 périodes précédentes a un effet négatif et (faiblement) significatif (à 10%) sur le niveau des contributions. Ainsi, la taxe semblerait induire un effet d'éviction (ou de relâchement) sur la décision de contribuer. Une explication pourrait être que les sujets se sont sentis forcés de contribuer durant la mise en place de la taxe, et relâchent leur effort une fois celle-ci retirée.

Cet effet n'est pas présent auprès des sujets ayant reçu le traitement avec l'instrument mixte (T4), ce qui laisserait à penser que l'ajout du *nudge* permet de limiter cet effet. Enfin, nous pouvons remarquer que le coefficient de la variable *Risque* n'est plus significatif. En revanche, le niveau de contribution des autres membres du groupe a un effet positif et significatif (à 5%) sur la décision de contribuer. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les sujets connaissent les autres membres du groupe, et considèrent l'histoire du groupe dans leur choix de contribuer.

Concernant les groupes d'*Étrangers* durant les périodes 1 à 10, nous pouvons remarquer qu'à nouveau, seuls les traitements avec la taxe (T3) et avec l'instrument mixte (T4) ont un effet positif et significatif sur le niveau des contributions individuelles. Cependant, le traitement avec la taxe induit un effet positif supérieur à celui obtenu avec l'instrument mixte. Par ailleurs, le fait que le traitement avec le *nudge* (T2) n'induit pas d'effet significatif sur le niveau des contributions pourrait nous mener à conclure que l'échec de notre *nudge* est indépendant de la dynamique des groupes au niveau des contributions. Avec l'étude des contributions individuelles entre les périodes 11 et 20, nous nuancerons

ces propos.

La période de jeu a, à nouveau, un effet négatif et significatif sur le niveau des contributions. Enfin, la variable *Risque* n'a pas d'effet significatif sur le niveau des contributions. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les sujets, sachant qu'ils changeraient de groupe à chaque période, ne pouvaient pas former de croyances sur l'attitude des autres membres de leur groupe.

Si nous considérons les périodes 11 à 20, nous pouvons noter que, contrairement aux groupes de *Partenaires*, les coefficients de tous les traitements sont positifs et significatifs. Ainsi, tous les traitements induiraient un effet de persistance. Rappelons que la seule différence entre les groupes de *Partenaires* et d'*Étrangers*, est le fait que les sujets changent de groupe à chaque période pour les *Étrangers*. Ainsi, une explication pour expliquer la présence de la persistance des effets des incitations, pour les groupes d'*Étrangers*, pourrait être que la dynamique des groupes l'a emporté sur l'effet des traitements, une fois les incitations arrêtées pour les groupes de *Partenaires*.

Par ailleurs, les coefficients associés aux variables croisées $T2 \times \text{période}$, $T3 \times \text{période}$ et $T4 \times \text{période}$ étant négatifs et significatifs, nous pouvons conclure que cette persistance tend à disparaître avec le temps, pour revenir à des niveaux de contribution similaires à ceux observés dans le groupe de contrôle. Enfin, contrairement aux groupes de *Partenaires*, le niveau des contributions des autres membres du groupe à la période précédente n'a pas d'effet significatif sur la décision de contribuer. Ceci renforce l'idée que la dynamique des groupes n'a pas d'influence sur les niveaux de contribution au sein des groupes d'*Étrangers*.

Nous obtenons le résultat 4,

Résultat 4 : *Les effets des instruments monétaires et non monétaires sont persistants, après l'arrêt des traitements, dans les groupes d'Étrangers.*

Ce résultat laisse à penser que les sujets auraient appris de leur mise en place. Ce résultat est surprenant pour les groupes ayant reçu le *nudge* (T2). Une interprétation pourrait être que cet instrument n'a pas permis une augmentation du niveau des contributions individuelles, mais a induit un apprentissage d'une certaine norme de contribution. Le fait que les sujets suivent cette norme ou non, dépendrait de la dynamique des contributions au niveau du groupe, car nous n'observons pas d'effet significatif du coefficient associé au traitement avec *nudge* dans l'estimation pour les groupes de *Partenaires*.

4.4 Analyse de l'efficacité des instruments

Comme dans le chapitre précédent, nous allons déterminer l'efficacité relative de chaque instrument.¹¹ Puis, nous étudierons leur robustesse. Contrairement au chapitre précédent, nous menons une analyse *post*-traitement, en analysant le bien-être des groupes après la période de traitement. Nous pourrions ainsi déterminer si l'efficacité induite par la mise en place d'un instrument se maintient après son retrait.

4.4.1 Taux d'efficacité

Nous commençons par analyser l'efficacité à l'échelle du groupe, selon le traitement. Comme dans le chapitre précédent, notons W^o le bien-être du groupe en l'absence de régulation (calculé avec les équilibres privés théoriques), et W^* le bien-être du groupe à l'optimum social.¹² W désigne le bien-être du groupe observé. Le taux d'efficacité ϵ_t à la période t est défini par :

$$\epsilon_t = \frac{W_t - W^o}{W^* - W^o}$$

Notons que le taux d'efficacité peut être négatif car l'équilibre de Nash agrégé est positif. Ainsi, dès lors que le niveau total des contributions à l'échelle du groupe est inférieur à l'équilibre de Nash, ce taux est négatif.

L'efficacité moyenne par groupe et par traitement est présentée avec la figure 4.3. Nous ne considérons que les groupes de *Partenaires* car nous ne possédons pas assez d'observations indépendantes pour les tests non paramétriques, et économétriques, avec les groupes d'*Étrangers*.

Nous commençons par analyser les périodes 1 à 10. Sous la mise en place de la taxe (T3) et de l'instrument mixte (T4), le taux d'efficacité semble relativement stable (oscillant autour des 90%). En revanche, le taux d'efficacité moyen dans le groupe de contrôle et le traitement avec *nudge* (T2) diminue progressivement avec le temps, et devient négatif à la dernière période. Pour le groupe de contrôle, nous avons rappelé dans la section précédente que la dynamique du niveau des contributions suit généralement une tendance décroissante dans les jeux de bien public (Ledyard (1995), Chaudhuri (2011)). Ainsi, la diminution du taux d'efficacité observée ici reflète cette dynamique. Pour le traitement avec *nudge*, cette dynamique du taux d'efficacité peut s'expliquer par le fait que nous avons vu que notre

11. À nouveau, cette analyse est basée sur les travaux de Spraggon (2002), Cochard *et al.* (2005) et Willinger *et al.* (2014).

12. Le bien-être du groupe est calculé à l'aide de l'équation (4.4). D'après cette équation, le bien-être du groupe en l'absence de régulation est de 1280 ECU, et il est de 1440 ECU à l'optimum social.

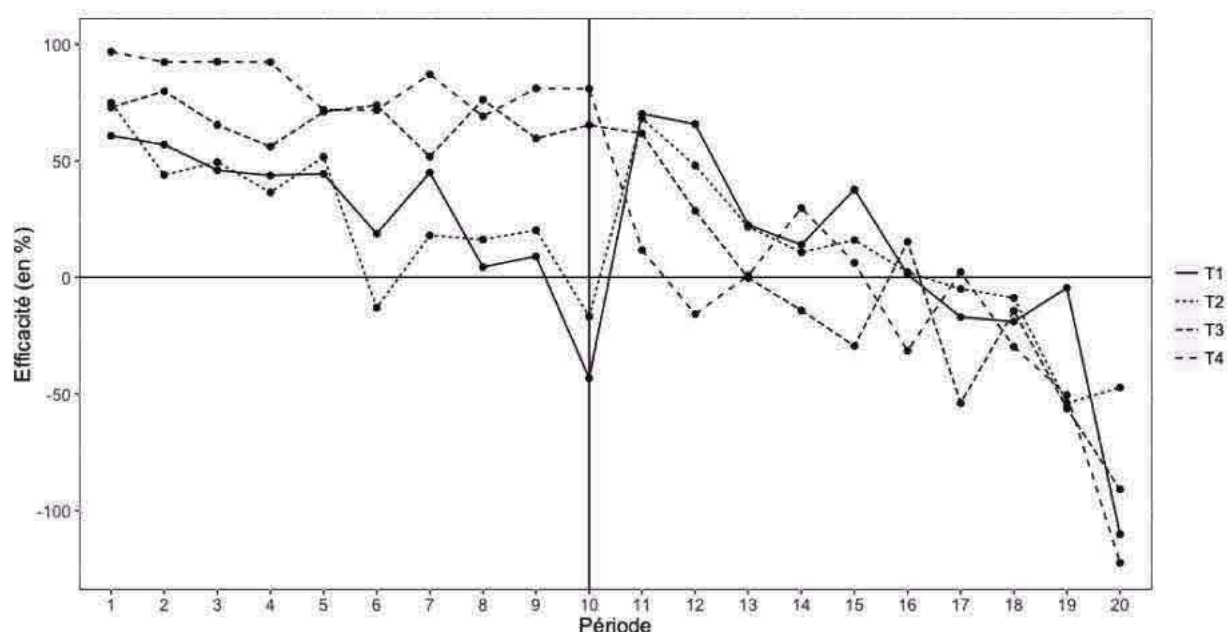


FIGURE 4.3: Efficacité moyenne par groupe et par période selon le traitement (Groupes de *Partenaires*)

nudge n'a pas été efficace.

Afin d'illustrer le calcul du bien-être, nous considérons l'exemple de la première période pour chaque traitement. À l'équilibre de Nash, le bien-être du groupe est égal à 1280 ECU. À l'optimum social, il est égal à 1440 ECU. Dans le groupe de contrôle, le bien-être total moyen observé du groupe a été de 1384.26 ECU, soit un taux d'efficacité de 60.75%. Dans le traitement avec *nudge*, le bien-être total moyen observé du groupe a été de 1400 ECU, soit un taux d'efficacité de 75.00%. Dans le traitement avec taxe, le bien-être total moyen observé du groupe a été de 1396.75 ECU, soit un taux d'efficacité de 72.97%. Enfin, dans le traitement avec l'instrument mixte, le bien-être total moyen observé du groupe a été de 1434.93 ECU, et un taux d'efficacité de 96.83%.

Une fois les incitations retirées, le taux d'efficacité observé semble plus élevé au sein du groupe de contrôle. De manière générale, ce taux diminue avec le temps et devient négatif à partir de la période 16. Comme nous l'avons vu dans la section précédente, aucun effet de persistance n'est observé parmi les groupes ayant été traités. De ce fait, cette observation est en accord avec le bien-être observé dans cette section. Une interprétation pourrait être que les sujets traités n'ont aucune raison de poursuivre leurs efforts car les incitations ne sont plus en place. De plus, nous avons montré dans la section précédente que les sujets ne semblent pas avoir appris de la mise en place de ces incitations (à savoir que ces instruments incitatifs sont mis en place car le comportement des sujets n'était pas socialement optimal).

Les taux d'efficacité moyens (en %) par groupe et par traitement, ainsi que les taux d'efficacité asymptotiques, sont reportés dans le tableau 4.7.¹³

Tableau 4.7: Moyenne des taux d'efficacité par groupe et par traitement (en %) et taux d'efficacité asymptotique (en gras) .

	T1	T2	T3	T4
Périodes 1 à 10	28.60 8.52*	28.15 5.49*	67.25 63.68	83.63 76.60
Périodes 11 à 20	6.08 -31.08	5.20 -27.82*	-15.37 -53.16	-19.93 -38.83

* : Coefficients non significatifs (à 10%).

Afin d'évaluer la significativité des différences dans les taux d'efficacité moyens entre les différents traitements, nous conduisons des tests de Mann-Whitney-Wilcoxon. Les résultats sont reportés dans les tableaux 4.8 et 4.9.

Tableau 4.8: *p-values* des tests de comparaison des taux d'efficacité (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 1 à 10

	T1	T2	T3
T2	0.821		
T3	0.001	0.002	
T4	0.001	0.000	0.006

Tableau 4.9: *p-values* des tests de comparaison des taux d'efficacité (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 11 à 20

	T1	T2	T3
T2	0.880		
T3	0.273	0.226	
T4	0.199	0.257	1.000

Nous pouvons noter que, durant les périodes 1 à 10 (tableau 4.8), le traitement avec l'instrument mixte (T4) induit un taux d'efficacité qui diffère de manière significative (à 1%) avec les taux observés dans tous les autres traitements. Par rapport à ce que nous avons trouvé dans la section précédente, nous pouvions nous attendre à ce résultat. Avec ce traitement, seul le traitement avec taxe (T3) induit un taux d'efficacité significativement plus élevé (à 1%) que celui observé dans le groupe de contrôle (et également que celui observé dans le traitement avec *nudge* (T2)). Ainsi, comme dans le chapitre précédent,

13. Comme dans le chapitre précédent, les taux d'efficacité asymptotiques sont estimés selon l'équation suivante (Noussair *et al.* (1995)) :

$$\epsilon_{it} = \epsilon^\infty + \epsilon^0 \frac{1}{t} + \mu_i + v_{it}$$

avec l'indice i pour le groupe, et t désigne la période. La variable aléatoire μ_i désigne les effets aléatoires au niveau du groupe, et est supposée normalement distribuée. v_{it} est un terme d'erreur, et ϵ^∞ désigne l'efficacité asymptotique lorsque t tend vers l'infini. Par ailleurs, certains coefficients du taux d'efficacité asymptotique ne sont pas significatifs. Ceci peut en partie s'expliquer par la taille de l'échantillon (50 observations par traitement : 10 taux d'efficacité par groupe).

l'analyse du bien-être des groupes nous permet d'affiner nos résultats. En effet, dans la section précédente, nous avons trouvé que pendant la mise en place des traitements, la taxe n'avait eu qu'un effet marginalement significatif sur le niveau des contributions. Dans cette section, nous montrons cependant que l'effet de la mise en place de la taxe sur le bien-être des groupes est quant à lui clairement significatif.

Concernant les périodes 11 à 20 (tableau 4.9), il n'y a aucune différence significative entre les taux d'efficacité observés dans chaque traitement. À nouveau, ceci peut s'expliquer par le fait que les sujets ne semblent pas avoir appris de la mise en place des instruments incitatifs.

Afin de confirmer ces résultats, nous avons estimé les taux d'efficacité asymptotiques. Les résultats sont reportés dans le tableau 4.10.

Tableau 4.10: Estimation des taux d'efficacité asymptotique.

Séquence	T1		T2		T3		T4	
	1-10	11-20	1-10	11-20	1-10	11-20	1-10	11-20
ϵ^0 (%)	68.57	126.84	77.38	112.73	12.18	129.01	23.98	64.55
Err. St.	0.220	0.288	0.287	0.299	0.153	0.322	0.113	0.423
p-value	0.002	0.000	0.007	0.000	0.425	0.000	0.033	0.127
ϵ^∞ (%)	8.52	-31.08	5.49	-27.82	63.68	-53.16	76.60	-38.83
Err. St.	0.159	0.137	0.244	0.261	0.134	0.128	0.049	0.178
p-value	0.593	0.024	0.822	0.287	0.000	0.000	0.000	0.029

Comme dans le chapitre précédent, nous appliquons la méthode proposée par Cochard *et al.* (2005) pour tester si les coefficients de ces estimations diffèrent de manière significative entre eux. Néanmoins, nous ne pouvons appliquer cette méthode que pour les coefficients significatifs.¹⁴

Durant les périodes 1 à 10, le taux d'efficacité asymptotique obtenu sous la mise en place de la taxe ne diffère pas de celui obtenu sous la mise en place de l'instrument mixte ($p\text{-value} = 0.365$).

Concernant les périodes 11 à 20, le taux d'efficacité asymptotique obtenu avec le groupe de contrôle ne diffère pas de celui obtenu sous la mise en place de la taxe ($p\text{-value} = 0.239$), ni de celui obtenu avec l'instrument mixte ($p\text{-value} = 0.730$). Enfin, les taux d'efficacité asymptotique ne diffèrent pas non plus entre les groupes ayant reçu l'instrument mixte et ceux ayant reçu la taxe ($p\text{-value} = 0.513$).

Le résultat suivant résume l'ensemble de nos observations,

14. En effet, pour les coefficients non significatifs, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse qu'ils sont égaux à 0.

Résultat 4 : a) *Pendant la période de traitement, l'efficacité est la plus grande sous la mise en place de l'instrument mixte, puis sous la mise en place de la taxe.*

b) *Une fois les instruments incitatifs retirés, l'efficacité des groupes ayant été traités ne diffère pas de celle du groupe de contrôle.*

Le résultat du point a) semble aller dans la même direction que ceux trouvés dans la section précédente, à savoir que l'instrument mixte paraît être le meilleur instrument incitatif. Le point b) nuance davantage ces résultats en soulignant le fait qu'une fois le traitement arrêté, l'efficacité observée durant la phase de traitement ne perdure pas. Par ailleurs, nous pouvons noter qu'aucun effet de relâchement n'est observé au niveau de l'efficacité, alors que nous avons détecté un tel effet (au niveau des contributions) pour les sujets ayant reçu la taxe dans la section précédente. Ainsi, le point b) nous permet également de nuancer le résultat observé dans la section précédente : si un relâchement au niveau des contributions est observé, celui-ci n'a pas d'effet significatif sur le bien-être du groupe.

4.4.2 Robustesse

De manière similaire au chapitre précédent, nous complétons notre étude par l'analyse de la robustesse des instruments incitatifs. Cette dernière est déterminée par la variabilité de la performance des instruments en termes absolus (avec la variabilité des contributions à l'échelle du groupe), puis en termes relatifs (avec la variabilité de l'efficacité).

Variabilité des contributions à l'échelle des groupes

La variabilité moyenne des contributions entre périodes, par traitement, est présentée dans le tableau 4.11.¹⁵ Cette mesure permet d'appréhender comment les contributions (pour un groupe donné) varient dans le temps, par rapport à la moyenne des contributions du même groupe sur l'ensemble des périodes.

Nous reportons dans les tableaux 4.12 et 4.13 les résultats des tests non paramétriques afin de tester si les différences dans les variabilités entre périodes sont significatives.

15. Nous rappelons que la variabilité inter-périodes (ou entre périodes) des contributions est donnée par

$$\frac{\left(\sum_{t=1}^{10} \frac{(A_t - \bar{A}_t)^2}{10} \right)^{0.5}}{\bar{A}_t}$$

avec A_t la somme des contributions à l'échelle du groupe à la période t , et $\bar{A}_t$ la moyenne des contributions totales du groupe sur l'ensemble des périodes.

Tableau 4.11: Variabilité moyenne des contributions entre périodes (en %) par groupe selon le traitement.

	T1	T2	T3	T4
Périodes 1 à 10	36.13	39.75	25.02	26.01
Périodes 11 à 20	50.76	47.31	57.31	55.84

Tableau 4.12: *p-value* des tests de comparaison des variabilités des contributions entre périodes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 1 à 10

	T1	T2	T3
T2	0.403		
T3	0.144	0.144	
T4	0.210	0.210	0.676

Tableau 4.13: *p-value* des tests de comparaison des variabilités des contributions entre périodes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 11 à 20

	T1	T2	T3
T2	0.531		
T3	0.531	0.210	
T4	0.835	0.403	0.676

Tant durant les périodes 1 à 10, que durant les périodes 11 à 20, aucune différence significative n'est détectée entre les variabilités entre périodes des différents traitements. Autrement dit, la mise en place des instruments incitatifs n'a pas permis de réduire la variabilité des contributions à l'échelle du groupe dans le temps.

Nous complétons cette analyse par l'étude de la variabilité des contributions entre groupes, présentée dans le tableau 4.14.¹⁶ Cette mesure complète la précédente, en déterminant dans quelle mesure les contributions à l'échelle d'un groupe s'éloignent de la moyenne des contributions de l'ensemble des groupes (pour une période donnée). Si un instrument est robuste, alors cette variabilité devrait être faible.

Tableau 4.14: Variabilité moyenne entre groupes (en %) des contributions par groupe selon le traitement.

	T1	T2	T3	T4
Périodes 1 à 10	41.24	48.20	32.12	23.54
Périodes 11 à 20	38.95	70.32	45.93	56.42

Les résultats des tests non paramétriques, afin de vérifier la significativité des différences

16. La variabilité inter-groupes (ou entre groupes) est donnée par

$$\frac{\left(\sum_{i=1}^I \frac{(A_i - \bar{A}_i)^2}{I} \right)^{0.5}}{\bar{A}_i}$$

où A_i désigne la somme des contributions du groupe i , et $\bar{A}_i$ la moyenne des contributions des groupes.

entre les variabilités des contributions entre groupes selon le traitement, sont présentés dans les tableaux 4.15 et 4.16.

Tableau 4.15: *p-value* des tests de comparaison des variabilités des contributions entre groupes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 1 à 10

	T1	T2	T3
T2	0.241		
T3	0.186	0.017	
T4	0.002	0.000	0.089

Tableau 4.16: *p-value* des tests de comparaison des variabilités des contributions entre groupes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 11 à 20

	T1	T2	T3
T2	0.009		
T3	0.910	0.038	
T4	0.014	0.427	0.141

D'après le tableau 4.15, nous pouvons remarquer que durant les périodes 1 à 10, l'instrument mixte induit une variabilité des contributions plus petite que celles obtenues dans les autres traitements, de manière significative ($p\text{-value} = 0.002$ pour le traitement T1, $p\text{-value} = 0.000$ pour le traitement T2 et $p\text{-value} = 0.089$ pour le traitement T3).

En revanche, si nous considérons les périodes 11 à 20 (tableau 4.16), la variabilité des contributions entre groupes est plus élevée, de manière significative, pour les groupes ayant reçu le *nudge* (T2) ou l'instrument mixte (T4), par comparaison avec le groupe de contrôle ($p\text{-value} = 0.009$ pour le traitement T2, et $p\text{-value} = 0.014$ pour le traitement T4) .

L'ensemble de ces observations est résumé dans le résultat suivant,

Résultat 5 : *a) Durant la période de traitement, l'instrument mixte est le plus robuste d'après la variabilité des contributions entre groupes, mais pas d'après la variabilité des contributions entre périodes. La variabilité des contributions à l'échelle du groupe avec les autres instruments ne diffère pas de celle observée dans le groupe de contrôle.*

b) Après le traitement, aucune différence significative n'est observée entre les sujets traités et ceux du groupe de contrôle d'après la variabilité des contributions entre périodes. Cependant, les contributions à l'échelle des groupes des sujets ayant été traités avec l'instrument mixte et le nudge présentent la variabilité des contributions entre groupes la plus élevée.

Certes l'instrument mixte peut apparaître comme étant l'instrument le plus robuste, mais le point b) de ce résultat appelle cependant à nuancer notre propos car il semblerait

qu'une fois l'instrument mixte retiré, il y ait moins de coordination entre groupes au niveau des contributions.

Dans la sous-section suivante nous présentons l'étude de la variabilité de l'efficacité au niveau des groupes.

Variabilité de l'efficacité à l'échelle des groupes

Nous commençons par l'étude de l'estimation de l'efficacité asymptotique entre les périodes t et $t - 1$. Rappelons que cette dernière est définie par

$$|\Delta\epsilon_{it}| = |\epsilon_{it} - \epsilon_{it-1}|$$

Si un instrument est robuste, alors l'écart dans l'efficacité entre deux périodes, en valeur absolue, devrait être faible.

Les résultats de cette estimation sont détaillés dans le tableau 4.17.

Tableau 4.17: Estimation des taux d'efficacité asymptotiques entre périodes.

Séquence	T1		T2		T3		T4	
	1-10	11-20	1-10	11-20	1-10	11-20	1-10	11-20
Δ^0 (%)	-9.32	-127.86	-66.15	-66.58	-28.74	-124.64	-64.44	91.86
Err. St.	0.253	0.469	0.733	0.544	0.334	0.634	0.261	0.754
p-value	0.713	0.006	0.367	0.221	0.389	0.049	0.013	0.223
Δ^∞ (%)	35.88	71.74	60.15	52.83	31.34	88.01	34.11	46.95
Err. St.	0.083	0.125	0.240	0.134	0.107	0.157	0.070	0.223
p-value	0.000	0.000	0.012	0.000	0.003	0.000	0.000	0.035

Dans les tableaux 4.18 et 4.19, nous exposons les résultats des tests afin de déterminer la significativité des différences dans les coefficients Δ^∞ entre chaque traitement.

Tableau 4.18: Tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique entre périodes (périodes 1 à 10)

	T1	T2	T3
T2	0.337		
T3	0.734	0.271	
T4	0.873	0.298	0.826

Tableau 4.19: Tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique entre périodes (périodes 11 à 20)

	T1	T2	T3
T2	0.303		
T3	0.418	0.089	
T4	0.332	0.818	0.131

Si nous tenons compte de l'apprentissage des sujets en estimant l'efficacité asymptotique entre périodes, nous pouvons remarquer que durant les périodes de traitement (tableau 4.18), aucune différence significative entre les différents coefficients n'est observée. Autrement dit, aucun instrument ne paraît être robuste.

Durant les périodes 11 à 20 (tableau 4.19), la seule différence significative observée entre les coefficients de l'efficacité asymptotique entre périodes concerne le traitement avec *nudge* (T2) par rapport au traitement avec taxe (T3) : l'efficacité asymptotique entre périodes est plus élevée dans ce dernier traitement par rapport au premier.

Nous considérons maintenant l'étude de la variabilité de l'efficacité entre périodes. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.20.

Tableau 4.20: Variabilité moyenne de l'efficacité entre périodes (en %) selon le traitement.

	T1	T2	T3	T4
Périodes 1 à 10	41.63	49.09	24.77	20.35
Périodes 11 à 20	62.65	58.01	67.63	75.33

Les résultats des tests non paramétriques, afin de vérifier la significativité des différences entre les variabilités de l'efficacité entre périodes selon le traitement, sont présentés dans les tableaux 4.21 et 4.22.

Tableau 4.21: *p-value* des tests de comparaison des variabilités de l'efficacité entre périodes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 1 à 10

	T1	T2	T3
T2	0.835		
T3	0.210	0.210	
T4	0.060	0.060	0.835

Tableau 4.22: *p-value* des tests de comparaison des variabilités de l'efficacité entre périodes (Mann-Whitney-Wilcoxon bilatéral) pour les périodes 11 à 20

	T1	T2	T3
T2	0.676		
T3	0.531	0.403	
T4	1.000	0.531	1.000

A nouveau, durant les périodes de traitement nous remarquons que l'instrument mixte semble le plus robuste car, par comparaison avec les groupes de contrôle, la variabilité de l'efficacité entre périodes est significativement plus faible (*p-value* = 0.060). En revanche, durant les périodes 11 à 20, les variabilités de l'efficacité entre périodes ne diffèrent pas, de manière significative, d'un traitement à l'autre.

Enfin, nous estimons l'efficacité asymptotique entre groupes en utilisant le modèle suivant (Cochard *et al.* (2005), Willinger *et al.* (2014)) :

$$SG_t = SG^\infty + SG^0 \frac{1}{t} + v_t \quad (4.16)$$

avec SG_t la variabilité de l'efficacité entre groupes à la période t (calculée en considérant l'écart-type de l'efficacité entre groupes à la période t), v_t le terme d'erreur qui suit un processus autorégressif d'ordre 1 (AR(1)), $v_t = \rho v_{t-1} + \lambda_t$, et λ_t un résidu identiquement et indépendamment distribué. Les résultats de cette estimation sont présentés dans le tableau 4.23.

Tableau 4.23: Estimation des taux d'efficacité asymptotiques entre groupes.

Séquence	T1		T2		T3		T4	
	1-10	11-20	1-10	11-20	1-10	11-20	1-10	11-20
SG^0 (%)	-35.97	-43.20	-55.47	-77.01	8.22	-52.29	-26.68	0.00
Err. St.	0.628	0.678	1.358	0.196	0.403	1.137	0.301	0.710
p-value	0.567	0.524	0.683	0.000	0.839	0.645	0.375	0.999
SG^∞ (%)	55.14	53.82	80.00	95.77	32.88	68.94	26.29	71.64
Err. St.	0.103	0.143	0.275	0.050	0.118	0.240	0.066	0.196
p-value	0.000	0.000	0.004	0.000	0.005	0.004	0.000	0.000

Dans les tableaux 4.24 et 4.25, nous exposons les résultats des tests afin de déterminer la significativité des différences dans les coefficients SG^∞ entre chaque traitement.

Tableau 4.24: Tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique entre groupes (périodes 1 à 10)

	T1	T2	T3
T2	0.395		
T3	0.156	0.197	
T4	0.018	0.057	0.624

Tableau 4.25: Tests de comparaison des coefficients de l'efficacité asymptotique entre groupes (périodes 11 à 20)

	T1	T2	T3
T2	0.006		
T3	0.589	0.276	
T4	0.465	0.234	0.931

D'après le tableau 4.24, l'instrument mixte apparaît à nouveau comme étant l'instrument le plus robuste. En effet, la variabilité de l'efficacité asymptotique entre groupes est significativement plus faible sous sa mise en place par comparaison avec celle observée avec le groupe de contrôle ($p\text{-value} = 0.018$). Par ailleurs, aucun autre instrument ne présente de telle différence significative avec le groupe de contrôle.

Une fois la mise en place des incitations terminée (tableau 4.25), aucun instrument n'induit une variabilité de l'efficacité asymptotique entre groupes significativement plus faible que celle observée dans le groupe de contrôle. Notons par ailleurs que les groupes ayant reçu le *nudge* (T2) présentent une variabilité de l'efficacité asymptotique entre groupes significativement plus élevée que celle obtenue avec le groupe de contrôle ($p\text{-value} = 0.006$).

L'ensemble de ces observations est résumé dans le résultat suivant,

Résultat 6 : *a) Durant la période de traitement, les études de la variabilité de l'efficacité moyenne entre périodes et de l'efficacité asymptotique entre groupes montrent que l'instrument mixte est le plus robuste. Ce résultat n'est cependant pas confirmé par l'étude de l'efficacité asymptotique entre deux périodes.*

*b) Après le traitement, aucune différence significative dans l'efficacité n'est détectée par rapport au groupe de contrôle, à l'exception des sujets ayant reçu le *nudge*, d'après l'étude de l'efficacité asymptotique entre groupes (la variabilité est significativement plus grande que celle observée dans le groupe de contrôle).*

Les résultats de cette section nous ont permis d'affiner ceux que nous avons trouvés dans la section précédente. En particulier, nous avons mis en évidence que durant la période de traitement, l'efficacité observée dans les groupes ayant reçu l'instrument mixte et la taxe était plus élevée, de manière significative, que celle observée dans le groupe de contrôle. Par ailleurs, l'effet de relâchement au niveau des contributions pour les sujets ayant été traités avec la taxe, ne s'est pas traduit par une diminution significative du bien-être, par rapport au groupe de contrôle.

Enfin, nous n'avons pas pu montrer de manière unanime, à l'aide de l'ensemble des analyses conduites, que l'instrument mixte est l'instrument le plus robuste durant la période de traitement. Les résultats sont ainsi mitigés, et des études futures semblent nécessaires afin d'aider à apporter une réponse plus claire.

4.5 Discussion des résultats

Dans ce chapitre, nous avons proposé une expérience qui nous a permis de mettre en avant les différences dans le temps entre une taxe et le *nudge* que nous proposons.

Comme nous l'avons précisé dans le chapitre précédent, notre *nudge* n'est pas aussi efficace qu'une taxe.¹⁷ L'absence de résultat du *nudge* diffère des résultats trouvés par

17. Rappelons tout de même que la taxe que nous avons mise en place n'a induit qu'une augmentation marginale du niveau des contributions.

Delaney et Jacobson (2015) ou de Lefebvre et Stenger (2016). En revanche, nous avons montré que le fait de compléter la taxe par notre *nudge* permettait d'induire une hausse significative du niveau des contributions par rapport au groupe de contrôle. Noussair et Tucker (2005) et Kroll *et al.* (2007) ont également obtenu que la combinaison d'instruments monétaires et non monétaires induit des niveaux de contribution plus élevés que lorsque les incitations sont utilisées de manière séparée. Ce résultat laisserait à penser qu'un *nudge* est davantage à considérer comme un complément plutôt qu'une alternative à un instrument monétaire du type d'une taxe. Cette direction est renforcée par les résultats des estimations des déterminants des décisions individuelles ainsi que par l'analyse de l'efficacité menée dans la section précédente. Nous pouvons également y voir la possibilité que les sujets ont compris que s'ils étaient taxés, c'est parce que leur comportement n'était pas optimal. Cependant, l'absence de persistance des effets de l'instrument mixte, une fois retiré, appelle à nuancer cette interprétation.

Par ailleurs, les résultats pour la taxe seule ne sont pas surprenants. La littérature portant sur les motivations intrinsèques (Gneezy et Rustichini (2000), Frey et Jegen (2001), Bénabou et Tirole (2003, 2006)) mettent en évidence le fait qu'un effet d'éviction peut apparaître lorsque ces incitations sont arrêtées. Une explication est que les agents économiques sont en quelque sorte forcés d'agir dans une direction donnée sous leur mise en place. Cette direction n'est pas nécessairement celle choisie par les agents en l'absence des incitations. Ainsi, lorsque ces dernières sont retirées, les agents diminuent leurs contributions pour compenser le fait qu'on leur ait demandé d'agir dans la direction donnée. Dans leur expérience, Bruttel et Friehe (2014) trouvent un résultat similaire. Goeschl et Perino (2012) proposent une expérience dans laquelle les sujets choisissent le niveau de production d'un bien, et peuvent contribuer pour abattre le niveau de gaz à effet de serre. Ils observent que la taxe a un effet d'éviction (persistant sur le court terme) sur la motivation. Cependant, ils n'observent pas cet effet avec la mise en place de standards d'émission.

Enfin, contrairement aux prédictions théoriques que nous avons formulées, nous ne trouvons pas de coordination dans les décisions individuelles suite à la mise en place de notre *nudge* et de l'instrument mixte. Une explication peut venir du fait que notre *nudge* n'a pas été efficace. Contrairement au chapitre précédent, nous ne nous sommes pas appuyés sur un élément de motivation des sujets (la sensibilité environnementale dans l'expérience précédente). Une deuxième explication, pour les groupes de *Partenaires*, pourrait venir du fait que la dynamique des groupes l'a emporté sur l'effet du *nudge*. Comme abordé plus haut dans ce chapitre, dans les expériences portant sur les jeux de biens publics,

Keser et van Winden (2000), Fischbacher *et al.* (2001) et Fischbacher et Gächter (2010) ont montré que la majorité des sujets sont des coopérateurs conditionnels. Dans notre cas, suite à la mise en place du *nudge*, les sujets auraient pu formuler la croyance que les autres sujets allaient suivre la recommandation, et auraient pu eux-mêmes réduire leur niveau de contribution, induisant ainsi des niveaux de contribution similaires à ceux observés dans les groupes de contrôle.

Rappelons toutefois que nous n'avons pas pu exclure l'hypothèse que les sujets ont appris de la mise en place du *nudge* dans les groupes d'*Étrangers*, car l'effet du traitement (après sa mise en place) était positif et significatif.

Dans l'ensemble, les résultats de cette expérience semblent indiquer qu'il est possible de construire un instrument efficace en combinant deux instruments qui ne sont pas efficaces. Plusieurs études ont proposé la mise en place d'instruments mixtes (rapport de la Commission européenne (2012), Moseley et Stoker (2013), Farhi et Gabaix (2015)), ou ont suggéré de tester de tels instruments (Ferraro et Miranda (2013)). En particulier, si nous considérons les problèmes environnementaux, le rapport de la Commission européenne (2012) explique qu'il s'agit de problèmes complexes, ne pouvant pas nécessairement être résolus à l'aide d'un seul type d'instrument. La combinaison d'instruments traditionnels (à l'image des taxes) avec des instruments comportementaux (tels que les *nudges*) peut se révéler nécessaire. L'objectif étant de corriger le comportement des agents économiques (avec la taxe) tout en leur faisant adopter une nouvelle norme comportementale plus respectueuse de l'environnement (avec le *nudge*).

Certains points de cette expérience pourraient être discutés. Premièrement, nous avons opté pour un protocole expérimental similaire à celui mis en place par Bruttel et Friehe (2014) et Lefebvre et Stenger (2016). Ce protocole ne nous permet pas véritablement d'étudier les effets d'éviction. En effet, il nous aurait fallu connaître le niveau des contributions des sujets traités, avant leur traitement. En ce sens, le protocole proposé par Masclet *et al.* (2003) permet une telle comparaison. Néanmoins, nous pouvons toujours comparer leur niveau de contribution *post*-traitement, avec ceux qui n'ont pas été traités.

Ensuite, nous avons choisi une fonction pour les gains qui diffère de la fonction linéaire généralement utilisée. Le fait que cette fonction soit concave dans le bénéfice lié au bien public induit des équilibres multiples. Laury et Holt (2008) expliquent que des fonctions de ce type peuvent compliquer la tâche des sujets qui doivent trouver l'équilibre et formuler des croyances sur le niveau des contributions des autres membres du groupe.

Enfin, bien que nous étudions la dynamique des groupes à travers un protocole qui

intègre des groupes de *Partenaires* et d'*Étrangers*, nous n'élicitons pas le type de comportement des sujets (coopérateurs conditionnels, passagers clandestins, hybrides). Cette élicitation nous aurait permis d'affiner notre analyse des effets des traitements.

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré que, contrairement aux prédictions théoriques, seul l'instrument mixte a induit un effet positif et significatif sur le niveau des contributions. La taxe seule n'a induit qu'un effet marginalement significatif sur le niveau des contributions (pour les groupes de *Partenaires*).¹⁸ Par ailleurs, à l'aide de l'analyse sur l'efficacité relative de chaque instrument, nous avons montré que l'instrument mixte était le plus efficace et le plus robuste des instruments, pendant la période de traitement. Une fois le traitement terminé, les résultats sont plus nuancés.

Du point de vue des politiques publiques, ces résultats pourraient laisser voir la possibilité de mettre en place des taxes avec des taux plus faibles, en les complétant par des *nudges* du type que nous proposons dans cette thèse. En effet, en considérant les résultats que nous avons obtenus dans ce chapitre, ainsi que le précédent, il semble que notre *nudge* soit davantage à considérer comme un complément, plutôt que comme une alternative aux instruments monétaires.

Par ailleurs, toujours en considérant les résultats de ce chapitre avec ceux du chapitre précédent, nous avons mis en avant le fait que la mise en place de notre *nudge* nécessite de s'appuyer sur une motivation des individus. En effet, dans un cadre décontextualisé, notre *nudge* n'induit pas de hausse significative du niveau des contributions. Dans le chapitre suivant, nous exploitons une idée similaire, et nous proposons un modèle de contributions volontaires à bien public local avec des individus arrangés dans des réseaux fixes. L'idée est de s'appuyer sur la position (géographique ou sociale) dans le réseau des individus.

18. Avec les groupes d'*Étrangers*, la taxe a induit une augmentation positive et significative à 1%.

APPENDICE

Preuve de la proposition 7

Le niveau agrégé des contributions en l'absence de taxe est donné par l'équation (4.2). Sous la mise en place de la taxe linéaire, il est donné par l'équation (4.8). Puisque $1 - \tau < 1 \quad \forall \tau > 0$, nous avons $v_{a_i}^{-1}(1 - \tau) > v_{a_i}^{-1}(1)$. Finalement, $A^t > A^{pri}$. ♦

Preuve de la proposition 8

a) À l'équilibre, la condition de premier ordre de l'individu i sous la mise en place du *nudge* est donnée par :

$$-1 + v_{a_i}(a_i^n + A_{-i}) - g_{a_i}(a_i^n - \hat{a}) = 0$$

Faisons l'hypothèse que tous les autres individus ne contribuent pas au bien public. Notons A^n la solution d'équilibre de l'individu i . Sa condition de premier ordre s'écrit :

$$-1 + v_{a_i}(A^n) - g_{a_i}(A^n - \hat{a}) = 0$$

Pour les autres individus qui ne contribuent pas, leur condition de premier ordre est telle que :

$$-1 + v_{a_i}(A^n) - g_{a_i}(0 - \hat{a}) > 0$$

par convexité de la fonction de coût moral $g(\cdot)$. Finalement, il n'existe pas d'équilibre dans lequel un seul individu contribue la solution d'équilibre, et les autres ne contribuent rien.

Notons par ailleurs que $A^n < \hat{a} \neq A^{pri}$, car sinon la condition de premier ordre n'est pas satisfaite :

$$-1 + v_{a_i}(\hat{a}) - g_{a_i}(0) \neq 0 \quad \forall \hat{a} \neq A^{pri}$$

Montrons maintenant qu'un équilibre symétrique existe. Faisons l'hypothèse qu'un équilibre A^n existe, et considérons le niveau de contribution symétrique $\frac{A^n}{n}$. De plus, faisons l'hypothèse que l'individu i contribue $\frac{A^n}{n} - \varepsilon$, avec $\varepsilon > 0$, et que l'individu j contribue $\frac{A^n}{n} + \varepsilon$, de telle façon que la somme des contributions est égale à A^n .

La condition de premier ordre pour l'individu i est telle que :

$$-1 + v_{a_i}(A^n) - g_{a_i}\left(\frac{A^n}{n} - \varepsilon - \hat{a}\right) > 0$$

et celle de l'individu j est telle que :

$$-1 + v_{a_i}(A^n) - g_{a_i}\left(\frac{A^n}{n} + \varepsilon - \hat{a}\right) < 0$$

Aucun de ces deux individus n'est à l'équilibre. L'individu i a intérêt à augmenter son niveau de contribution, alors que l'individu j a intérêt à le réduire. Ainsi, si un équilibre existe il est symétrique.

b) Supposons que tous les individus contribuent $\frac{A^{pri}}{n}$. Notons que si $\frac{A^*}{n} < A^{pri}$, nous avons nécessairement $\frac{A^*}{n} > \frac{A^{pri}}{n}$ car $A^* > A^{pri}$. La condition de premier ordre pour chaque individu s'écrit :

$$-1 + v_{a_i}(A^{pri}) - g_{a_i}\left(\frac{A^{pri}}{n} - \hat{a}\right) > 0$$

Les individus ne sont pas à l'équilibre et ont intérêt à augmenter leur niveau de contribution. Finalement, $A^N > A^{pri}$.

c) Supposons que tous les individus contribuent $\frac{A^*}{n}$, où A^* est le niveau agrégé des contributions socialement optimal. Dans ce cas, $g_{a_i}\left(\frac{A^*}{n} - \hat{a}\right) = g_{a_i}(0) = 0$. La condition de premier ordre des individus est telle que :

$$-1 + v_{a_i}(A^*) < 0$$

Les individus ne sont pas à l'équilibre et ont intérêt à réduire le niveau de contribution. Finalement, $\frac{A^N}{n} < \frac{A^*}{n}$. ♦

Preuve de la proposition 9

Les preuves des points a) et b) suivent les mêmes étapes que celles des points a) et b) de la Proposition 8.

c) Cas de la taxe : notons A^τ le niveau agrégé des contributions sous la mise en place de la taxe seule, avec un taux marginal de la taxe égal à τ , $\tau < \tau^*$, τ^* étant le taux optimal de taxation. Faisons l'hypothèse que chaque individu contribue $\frac{A^\tau}{n}$. La condition de premier ordre de chaque individu sous la mise en place de l'instrument mixte est ainsi telle que

$$-1 + v_{a_i}(A^\tau) + \tau - g_{a_i}\left(\frac{A^\tau}{n} - \hat{a}\right) > 0$$

Ainsi, les individus ne sont pas à l'équilibre et ont intérêt à augmenter leur niveau de contribution. Nous avons donc $\frac{A^m}{n} > \frac{A^\tau}{n}$. ♦

La comparaison avec la mise en place du *nudge* suit les mêmes étapes.

Instructions de l'expérience (groupe de contrôle)

Bienvenue

L'expérience à laquelle vous allez participer est destinée à l'étude des décisions. Les instructions sont simples. Si vous les suivez scrupuleusement et que vous prenez de bonnes décisions, vous pourrez gagner une somme d'argent non négligeable. Toutes vos réponses seront traitées de façon anonyme. Vous indiquerez vos choix à l'ordinateur devant lequel vous êtes assis. L'expérience comporte deux étapes : l'étape 1 et l'étape 2. Les instructions ci-jointes sont celles de l'étape 1. Les instructions de la deuxième étape vous seront distribuées lorsque l'étape 1 sera terminée. Votre paiement sera constitué de la somme des gains que vous aurez récoltés au cours de ces deux étapes. À la fin de la deuxième étape, on vous appellera individuellement pour votre paiement. À partir de maintenant, nous vous demandons de ne plus parler. Si vous avez une question levez la main et un expérimentateur viendra vous répondre en privé.

Instructions de la première étape

Cadre général de l'expérience

Les 20 personnes qui participent à cette expérience sont réparties aléatoirement en 5 groupes. Chaque groupe est composé de 4 personnes. Vous faites partie de l'un de ces groupes (vous + 3 autres personnes). Vous resterez avec le même groupe tout au long du jeu. Vous ne pourrez pas communiquer avec les membres de votre groupe. Vous ne serez jamais amené à révéler votre identité. Votre nom ne sera jamais associé à l'une de vos décisions. De même, vous ne pourrez pas connaître l'identité des autres membres de votre groupe.

Les gains que vous réaliserez dépendront à la fois des décisions que vous prendrez et des décisions prises par les 3 autres membres de votre groupe. Ces gains seront comptabilisés en points (ECU) à chaque période et convertis en euros à la fin de l'expérience.

La suite des instructions va vous permettre de comprendre comment votre gain sera calculé après chaque période, puis vous exposera le déroulement chronologique de l'expérience.

Votre décision

Cette étape dure 10 périodes. Au début de chaque période, vous disposez de 20 jetons par personne.

À chaque période, votre décision consistera à choisir comment vous allez répartir ces 20 jetons entre 2 comptes : un compte privé et un compte public. Le compte privé est un compte individuel servant à votre consommation personnelle. Le compte public est un compte collectif qui sert à tous les membres de votre groupe. Lorsque vous investissez un jeton dans le compte public, votre investissement profitera donc à l'ensemble du groupe. En revanche, lorsque vous investissez un jeton dans le compte privé, cela ne profitera qu'à vous seul.

Vous déciderez de combien de jetons vous souhaitez investir dans le compte public. Le reste sera automatiquement investi dans le compte privé. Vous ne pourrez donc pas réutiliser les jetons de la période en cours pour les périodes à venir.

Le montant d'argent que vous gagnez à chaque tour dépend de la répartition des jetons que vous placerez dans ces deux comptes et de la répartition des jetons que les autres membres de votre groupe vont placer dans les 2 comptes. Le gain que vous réalisez à chaque période est formé de deux parties :

- une partie qui dépend uniquement de votre propre investissement (investissement dans le compte privé).
- une partie qui dépend à la fois de votre investissement et de celui des 3 autres membres du groupe (investissement dans le compte public).

Votre gain total est donné par le tableau fourni. Ce tableau montre votre gain total en fonction de votre investissement dans le compte public (lu dans la 1ère colonne), ainsi que celui des 3 autres membres de votre groupe (lu dans la 1ère ligne). Les gains sont exprimés en ECU. Le taux de conversion est $500 \text{ ECU} = 1 \text{ euro}$. Vos gains seront cumulés d'une période à une autre.

L'ordinateur mettra à votre disposition un simulateur de gains. Vous pourrez simuler votre niveau d'investissement dans le compte public. L'ordinateur vous donnera alors votre gain en fonction de l'investissement potentiel des 3 autres membres de votre groupe.

Exemple 1 : considérons que vous ayez investi 2 jetons dans le compte public, et que les 3 autres membres de votre groupe aient investi 44 jetons au total. Votre gain sera alors de 451 ECU.

Exemple 2 : considérons que vous ayez investi 12 jetons dans le compte public, et que les 3 autres membres de votre groupe aient investi 17 jetons au total. Votre gain sera alors de 295 ECU.

Vous disposerez de 1 minute pour pouvoir faire toutes les simulations de gains que vous souhaitez. Vous devrez ensuite indiquer le nombre de jetons que vous souhaitez investir entre 0 et 20.

Le déroulement de l'étape

Avant de commencer cette étape, vous devrez répondre à des questions de compréhension.

Le jeu commencera une fois que tout le monde aura répondu à ces questions. Ce jeu dure dix périodes. L'ordinateur vous communiquera à la fin de chaque période votre gain individuel ainsi que le niveau total des contributions de votre groupe.

Instructions de la deuxième étape

Au cours de cette étape, vous allez rejouer au jeu précédent. Vous resterez avec le même groupe que précédemment.

Vous êtes à nouveau doté de 20 jetons à répartir entre le compte privé et le compte public.

Les gains pour cette période sont donnés par les mêmes tableaux que pour la période précédente. Avant de prendre votre décision, vous pourrez simuler vos gains à l'aide du simulateur à votre disposition.

Ce jeu dure dix périodes.

Tableaux des gains (groupe de contrôle)

Contribution des autres membres du groupe

←

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	200	240	257	269	280	289	298	306	313	320	326	333	339	344	350	355	360	365	370	374	379	383	388	392	396	400	404	408	412	415	419
1	230	247	259	270	279	288	296	303	310	316	323	329	334	340	345	350	355	360	364	369	373	378	382	386	390	394	398	402	405	409	413
2	237	249	260	269	278	286	293	300	306	313	319	324	330	335	340	345	350	354	359	363	368	372	376	380	384	388	392	395	399	403	406
3	239	250	259	268	276	283	290	296	303	309	314	320	325	330	335	340	344	349	353	358	362	366	370	374	378	382	385	389	393	396	400
4	240	249	258	266	273	280	286	293	299	304	310	315	320	325	330	334	339	343	348	352	356	360	364	368	372	375	379	383	386	390	393
5	239	248	256	263	270	276	283	289	294	300	305	310	315	320	324	329	333	338	342	346	350	354	358	362	365	369	373	376	380	383	387
6	238	246	253	260	266	273	279	284	290	295	300	305	310	314	319	323	328	332	336	340	344	348	352	355	359	363	366	370	373	377	380
7	236	243	250	256	263	269	274	280	285	290	295	300	304	309	313	318	322	326	330	334	338	342	345	349	353	356	360	363	367	370	373
8	233	240	246	253	259	264	270	275	280	285	290	294	299	303	308	312	316	320	324	328	332	335	339	343	346	350	353	357	360	363	367
9	230	236	243	249	254	260	265	270	275	280	284	289	293	298	302	306	310	314	318	322	325	329	333	336	340	343	347	350	353	357	360
10	226	233	239	244	250	255	260	265	270	274	279	283	288	292	296	300	304	308	312	315	319	323	326	330	333	337	340	343	347	350	353
11	223	229	234	240	245	250	255	260	264	269	273	278	282	286	290	294	298	302	305	309	313	316	320	323	327	330	333	337	340	343	346
12	219	224	230	235	240	245	250	254	259	263	268	272	276	280	284	288	292	295	299	303	306	310	313	317	320	323	327	330	333	336	339
13	214	220	225	230	235	240	244	249	253	258	262	266	270	274	278	282	285	289	293	296	300	303	307	310	313	317	320	323	326	329	332
14	210	215	220	225	230	234	239	243	248	252	256	260	264	268	272	275	279	283	286	290	293	297	300	303	307	310	313	316	319	322	325
15	205	210	215	220	224	229	233	238	242	246	250	254	258	262	265	269	273	276	280	283	287	290	293	297	300	303	306	309	312	315	318
16	200	205	210	214	219	223	228	232	236	240	244	248	252	255	259	263	266	270	273	277	280	283	287	290	293	296	299	302	305	308	311
17	195	200	204	209	213	218	222	226	230	234	238	242	245	249	253	256	260	263	267	270	273	277	280	283	286	289	292	295	298	301	304
18	190	194	199	203	208	212	216	220	224	228	232	235	239	243	246	250	253	257	260	263	267	270	273	276	279	282	285	288	291	294	297
19	184	189	193	198	202	206	210	214	218	222	225	229	233	236	240	243	247	250	253	257	260	263	266	269	272	275	278	281	284	287	290
20	179	183	188	192	196	200	204	208	212	215	219	223	226	230	233	237	240	243	247	250	253	256	259	262	265	268	271	274	277	280	283

→

Votre contribution

Questionnaire socio-économique

1) Votre niveau de diplôme :

- Licence
- Master
- Doctorat

2) Votre domaine d'études :

- Sciences dures (mathématiques, chimie, biologie, physique, informatique...)
- Droit
- Économie et gestion, math-éco, sciences politiques
- Sociologie, psychologie
- Langues, littérature
- Autres (Précisez)

3) Votre âge :

4) Votre sexe :

- Masculin
- Féminin

5) Etes-vous né(e) en France ?

- Oui
- Non
- Si non, de quel pays êtes-vous originaire ?

6) Veuillez indiquer combien de frères et soeurs plus âgés vous avez :

7) Veuillez indiquer combien de frères et soeurs plus jeunes vous avez :

8) Vivez-vous en couple ?

- Oui
- Non

9) Quelle est votre position religieuse ?

- Athée/agnostique
- Catholique
- Protestant
- Orthodoxe

- Musulman
- Juif
- Hindouiste
- Bouddhiste
- Autre

10) Comment vous voyez-vous ? Etes-vous généralement une personne qui prend des risques ou essayez-vous de les éviter ? Veuillez cocher une case sur l'échelle ci-dessous, où 0 signifie "peur du risque" et 10 signifie "prêt à prendre des risques" :

11) À quel point diriez-vous que vous êtes heureux en ce moment ? Veuillez indiquer votre bonheur sur l'échelle suivante, où 0 indique "pas du tout heureux" et 10 indique "extrêmement heureux" :

12) En règle générale, quelle est la confiance que vous accordez à l'État, au gouvernement ?

- Absolument confiance
- Confiance
- Neutre sur la question
- Peu confiance
- Pas du tout confiance

13) En règle générale, quelle est la confiance que vous accordez aux ONG (organisations non gouvernementales telles que MSF, WWF, Greenpeace, etc.) ?

- Absolument confiance
- Confiance
- Neutre sur la question
- Peu confiance
- Pas du tout confiance

14) En règle générale, quelle est la confiance que vous accordez à votre famille ?

- Absolument confiance
- Confiance
- Neutre sur la question
- Peu confiance
- Pas du tout confiance

15) En règle générale, quelle est la confiance que vous accordez à vos amis ?

- Absolument confiance
- Confiance
- Neutre sur la question
- Peu confiance
- Pas du tout confiance

16) En règle générale, quelle est la confiance que vous accordez à vos collègues de travail ?

- Absolument confiance
- Confiance
- Neutre sur la question
- Peu confiance
- Pas du tout confiance

17) Quand vous faites confiance, sur quoi vous basez-vous principalement ?

- La réputation
- Votre propre avis

18) De manière générale, faites-vous confiance facilement ou pensez-vous que la personne en face de vous cherche à tirer "profit" de vous ?

- Je fais confiance facilement
- Je pense que l'autre cherche à tirer profit de moi

19) Avez-vous eu l'une de ces activités au cours des derniers mois ?

- Activités bénévoles ou caritatives
- Participer à un club sportif, à une amicale ou un autre type de club (réflexion, jeux, etc.)
- Activités d'une communauté religieuse (église, synagogue, mosquée, etc.)
- Participer aux activités d'une organisation politique ou syndicale

20) Si oui, au cours des quatre dernières semaines, quelle était la fréquence de votre engagement ?

- Tous les jours ou presque
- Une fois par semaine ou presque
- Moins fréquemment

21) Si oui, pour laquelle des raisons suivantes ?

- Pour me rendre utile
- Parce qu'on avait besoin de moi
- Parce que cela me plaît
- Parce que je m'y sentais obligé(e)
- Pour mon accomplissement personnel
- Pour gagner de l'argent
- Pour utiliser ou entretenir mes compétences
- Pour aucune de ces fréquences

22) Avez-vous déjà participé à une expérience économique ?

- Oui
- Non

Chapitre 5

Un modèle de mise en place d'un *nudge* dans des réseaux¹

Dans les chapitres précédents, nous avons considéré que les contributions d'un individu profitaient à tous les autres. Cependant, ceci n'est possible que lorsque le bien public étudié est *global*, c'est-à-dire que tout le monde peut en profiter. Dans le cas de biens publics *locaux* (école, espaces verts, aires de jeux, etc.), il n'est plus possible de poser cette hypothèse, car des individus éloignés (géographiquement ou socialement) ne peuvent pas nécessairement en profiter. La localisation géographique est une caractéristique des biens publics locaux selon Scotchmer (2002). Pour Tiebout (1956), un bien public local est le produit d'une collectivité locale. En revanche, pour Berglas et Pines (1981), la nature d'un bien (privé, de club ou local) est déterminée selon la proportion de la communauté qui peut en profiter. Lorsque la taille optimale du groupe pouvant profiter du bien public concerné est la communauté, alors le bien est un bien public local. À l'opposé, lorsque la taille optimale du groupe pouvant profiter du bien concerné est la plus petite partie possible de la communauté, alors le bien est un bien privé. Entre les deux se trouve le bien de club.

Dans ce chapitre, nous proposons de considérer un modèle de contributions volontaires à un bien public local dans le cadre des réseaux. Nous définissons ces derniers comme l'ensemble des liens (sociaux ou géographiques) reliant les individus entre eux. Une équipe de chercheurs, des amis, des voisins, sont autant d'exemples de réseaux. Depuis la dernière décennie, les travaux théoriques (Allouch (2015), Bloch et Zenginobuz (2007), Bramoullé et Kranton (2007), Bramoullé *et al.* (2014), Sanditov et Arora (2016)) et expérimentaux (Choi *et al.* (2008, 2011), Rosenkranz and Weitzel (2012)) sur les biens publics en réseaux

1. Ce chapitre a donné lieu au miméo Ouvrard et Stenger (2016). Je remercie Yann Bramoullé pour sa lecture du chapitre.

se sont multipliés.

Notre choix de considérer des agents arrangés en réseaux est motivé par les résultats de plusieurs études qui ont montré que l'appartenance à un réseau peut expliquer la participation à des activités pro-environnementales. Kurz *et al.* (2007) ont mené une étude auprès de 765 individus de la région de Belfast (en Irlande du Nord). Les auteurs montrent que la participation au recyclage est influencée par les attitudes des autres résidents. Un résultat similaire est observé dans l'étude de cas menée par McCallum *et al.* (2007), dans laquelle 6 communautés de Nouvelle-Zélande sont étudiées. Les auteurs montrent que la confiance entre les individus d'une même communauté, la réciprocité, les normes établies ainsi que le réseau en lui-même peuvent expliquer la participation collective à la protection de l'environnement. Dans une autre étude, Videras *et al.* (2012) ont estimé les déterminants des comportements pro-environnementaux à partir des réponses de 452 individus à leur enquête. En plus du niveau d'étude et d'un salaire élevé, les auteurs montrent qu'un lien existe entre le profil écologique d'une famille et les comportements observés à l'échelle d'une communauté.

Le modèle que nous proposons est basé sur celui de Bramoullé et Kranton (2007). Les agents économiques appartiennent à un réseau fixe, et peuvent différer dans le nombre de leurs voisins directs (selon la configuration du réseau considérée). Les voisins directs d'un individu donné peuvent profiter des contributions de cet individu au bien public local, et inversement.² Nous considérons un réseau en cercle (dans lequel tous les individus ont le même nombre de voisins) ainsi qu'un réseau en étoile (dans lequel un individu est central, et tous les autres sont à la périphérie avec pour seul voisin l'individu du centre). L'intérêt et l'objectif joint de ces réseaux sont de pouvoir comparer ces structures opposées dans leurs caractéristiques (par rapport au nombre de voisins directs et à la centralité de l'individu au centre dans le réseau en étoile), et d'étudier l'impact de la configuration du réseau sur les contributions des individus. En effet, comme observé chez Bramoullé et Kranton (2007) et Bramoullé *et al.* (2014), nous nous attendons à ce que la place de l'individu au sein du réseau détermine son niveau de contribution.

De manière similaire aux chapitres précédents, et en considérant les résultats des expériences de terrain (dont Allcott (2011), Costa et Kahn (2013), Ferraro et Price (2013)), nous considérons la mise en place d'un *nudge* dans un réseau afin d'augmenter le niveau des contributions. Cependant, contrairement aux chapitres précédents, et étant donné que la place de l'individu dans le réseau peut déterminer son niveau de contribution, le régulateur

2. Les autres individus du réseau sont des voisins *indirects* : leurs contributions au bien public ne profitent pas à l'individu concerné.

n'annoncera pas nécessairement le même message à chaque individu. En effet, les agents étant hétérogènes dans le nombre de leurs voisins directs, le contenu annoncera à certains de contribuer plus que d'autres. Ceci est dû à la position des agents dans le réseau. Par exemple, dans le réseau en étoile, l'individu du centre a tous les individus à la périphérie comme voisins directs, alors que ces derniers n'ont que l'individu du centre comme voisin direct. Ainsi, l'investissement dans le bien public d'un individu à la périphérie profite à l'individu du centre et à lui-même. En revanche, lorsque l'individu du centre investit dans le bien public, son investissement profite à tout le réseau. Comme nous le verrons dans le modèle présenté dans ce chapitre, c'est pour cette raison qu'à l'optimum social dans le réseau en étoile, il est plus efficace que l'individu du centre contribue la solution socialement optimale, et que les individus à la périphérie ne contribuent rien.

Bien que pouvant être difficiles à mettre en place par rapport au niveau d'information nécessaire, Sunstein (2013) préconise de tels *nudges* personnalisés lorsque les individus sont hétérogènes dans leurs caractéristiques.³ Dans notre cas, il s'agit d'une hétérogénéité spatiale : les agents n'ont pas la même visibilité. Enfin, dans le modèle de Bramoullé et Kranton (2007), les équilibres de Nash sont multiples. Du fait d'une *incertitude stratégique* (Van Huyck *et al.* (1990), Tallon (2006)), "à savoir l'incertitude sur les actions et les croyances des autres, dans la modélisation d'une situation d'interaction" (Tallon (2006), p.105), il peut être difficile pour les individus de se coordonner.

Cette politique de mise en place de *nudges* est possible dans le cas d'un régulateur parfaitement informé de la place des individus dans le réseau. Dans ce chapitre, nous considérons également le cas d'un régulateur en situation d'information incomplète : il connaît la configuration du réseau (en cercle ou en étoile), mais ne connaît pas la place de chaque individu dans celui-ci. Dans ce contexte, la mise en place d'un *nudge* différencié n'est plus possible dans le réseau en étoile du fait de l'hétérogénéité des individus. Nous adoptons ainsi une stratégie différente en ciblant un type d'individus (au centre ou à la périphérie) avec le contenu du *nudge*. Nous montrons que cette stratégie ne permet pas nécessairement d'augmenter le niveau total des contributions si le bon type d'individus n'est pas correctement ciblé.

Par rapport à Bramoullé et Kranton (2007), nous nous différencions sur deux points. Premièrement, nous nous intéressons à l'étude des optima sociaux (ces auteurs se sont

3. Dans les chapitres 2 et 3, les agents étaient hétérogènes concernant leur sensibilité environnementale. Nous aurions pu envisager la mise en place d'un *nudge* différencié. Cependant, nous pouvons argumenter que pour le régulateur, il peut être plus difficile de connaître la sensibilité individuelle de chaque agent (qui est une caractéristique intrinsèque), plutôt que leur localisation géographique (qui est observable).

concentrés sur l'étude des équilibres de Nash). Ainsi, nous avons pour objectif la maximisation du bien-être de l'ensemble des individus du réseau. Deuxièmement, Bramoullé et Kranton n'ont pas considéré la question de l'incertitude stratégique. Cette question a son importance dans la mesure où la provision du bien public local peut dépendre de la coordination des agents. Par rapport à ces deux points, nous considérons la mise en place du *nudge* étudié dans cette thèse, et nous étudions si les équilibres obtenus permettent des niveaux d'investissement plus élevés, et si ces équilibres sont uniques ou multiples. Dans leur papier, Bramoullé et Kranton n'ont pas considéré la mise en place d'incitations externes. Enfin, nous étudions les possibilités du régulateur concernant la mise en place du *nudge*, lorsque celui-ci ne connaît pas la position exacte des individus dans le réseau. Ce point a son importance car nous avons évoqué que la position de l'individu détermine son niveau d'investissement.

Nous présentons les principaux modèles de contribution volontaire à un bien public en réseau dans la section 1. Nous détaillons ensuite le modèle que nous considérons dans ce chapitre dans la section 2. Celui-ci est basé sur le modèle proposé par Bramoullé et Kranton (2007). Afin d'augmenter le niveau des contributions au bien public, nous considérons la mise en place d'un *nudge* en situation d'information complète dans la section 3, et nous regardons les équilibres qui en résultent. Dans la section 4, nous relâchons l'hypothèse d'information complète. La section 5 conclut ce chapitre.

5.1 Les modèles de contributions volontaires à un bien public en réseau

Dans cette section, nous considérons les principaux modèles de contributions volontaires en réseau. Nous pouvons classer ces modèles selon deux types : ceux avec effets de débordement, et les modèles sans effets de débordement.

5.1.1 Les modèles de contributions à un bien public local avec effets de débordements

Dans le modèle de Bloch et Zenginobuz (2007), les individus appartiennent à des juridictions. Au sein de chacune d'elles, les individus peuvent contribuer pour un bien public local. Les auteurs font alors l'hypothèse que les individus d'autres juridictions peuvent en partie profiter du bien public fourni par une juridiction voisine grâce à des effets de débordement. Lorsque ces effets sont symétriques entre les juridictions (les individus de la

juridiction i profitent dans les mêmes proportions du bien public fourni par la juridiction j , que les individus de la juridiction j avec le bien public fourni par la juridiction i), Bloch et Zenginobuz montrent qu'un équilibre de Nash unique existe. En revanche, lorsque ces effets sont asymétriques, l'existence d'un équilibre unique n'est possible que si les effets indirects sont faibles. Dans le cas échéant, les équilibres sont multiples.

Sanditov et Arora (2016) proposent un autre modèle dans lequel les agents ont une *égo-utilité*, c'est-à-dire l'utilité liée à la consommation de biens privés et publics, ainsi qu'une *utilité sociale*, qui correspond à la somme des retombées (*spillovers*) des utilités des voisins (ou relations sociales). Les auteurs s'intéressent en particulier aux conditions d'existence d'un équilibre de Nash intérieur. Sanditov et Arora identifient deux effets opposés. En premier lieu, les agents ont intérêt à contribuer dans le bien public car ils reçoivent un bénéfice social avec leurs contributions. D'un autre côté, lorsqu'un agent contribue pour sa consommation privée, son gain en utilité profite également pour ses voisins directs (avec les retombées). Les auteurs obtiennent cependant que le niveau d'équilibre est supérieur à celui obtenu dans les modèles standards avec des agents *égoïstes* (ne profitant pas des retombées en utilité des autres agents), mais reste inférieur à l'optimum social. Nous nous écartons de ce modèle car nos agents ne profitent pas de telles retombées en utilité de leurs voisins.

Ces deux types modèles présentent les réseaux de manière générale. Dans la sous-section suivante, les modèles développés ne tiennent pas en compte des effets de débordement étudiés précédemment. Par ailleurs, différentes configurations, et les équilibres qui en découlent, sont étudiés.

5.1.2 Les modèles de contributions volontaires sans retombées

Bramoullé et Kranton (2007) ont été les premiers à proposer un modèle de contributions volontaires pour un bien public local, avec des agents arrangés dans des réseaux fixes (cercle, étoile, complet, etc.). Les auteurs adoptent une démarche positive en étudiant les différents équilibres de Nash selon la configuration du réseau.

Dans leur modèle, les contributions des agents sont des substituts parfaits des contributions de leurs voisins directs. Bramoullé et Kranton montrent qu'un équilibre spécialisé existe toujours, peu importe la configuration du réseau.⁴ Cet équilibre existe également

4. Un équilibre est dit spécialisé si les agents n'investissent pas, ou investissent la solution à l'équilibre de Nash agrégé, mais aucun investissement entre les deux n'est possible.

si les agents considérés sont hétérogènes dans leur évaluation du bien public, c'est-à-dire, s'ils possèdent des fonctions de bénéfice lié au bien public différentes.

Dans un autre papier, Bramoullé *et al.* (2014) proposent une extension du modèle de Bramoullé et Kranton (2007) en considérant la possibilité d'une substituabilité imparfaite entre les voisins directs dans les contributions au bien public. En particulier, les auteurs étudient la possibilité de l'obtention d'un équilibre unique selon la valeur du coefficient de substituabilité des contributions, ainsi que celle de la valeur propre de la matrice du graph du réseau. Lorsque cette dernière valeur est inférieure, en valeur absolue, à l'inverse du coefficient de substituabilité des contributions, alors l'équilibre est unique. Les équilibres sont multiples dans le cas contraire. L'intuition est que la valeur propre la plus petite reflète la manière dont les actions des individus (leurs contributions par exemple) vont impacter les autres individus du réseau. Les auteurs expliquent que lorsqu'un individu contribue, ses voisins ont intérêt à ne pas le faire, poussant ainsi leurs propres voisins à contribuer, et ainsi de suite. Ainsi, lorsque la magnitude de la plus petite valeur propre est élevée, ses effets peuvent aller dans plusieurs directions (d'où les équilibres multiples).

Enfin, Allouch (2015) propose également un modèle de contributions volontaires à un bien public local mais, contrairement aux travaux de Bramoullé et Kranton (2007) et Bramoullé *et al.* (2014), les agents ont une contrainte budgétaire. L'auteur montre que, sous l'hypothèse de normalité du bien privé et du bien public, alors il existe un équilibre de Nash unique.

Dans la suite de ce chapitre, nous considérons le modèle établi par Bramoullé et Kranton (2007) qui permet d'étudier, de manière simple, les équilibres au niveau des contributions selon la configuration analysée.

5.2 Modèle théorique

Nous commençons par décrire le modèle que nous utilisons dans ce chapitre. Celui-ci est basé sur celui de Bramoullé et Kranton (2007). Nous étendons ce modèle dans la section suivante.

5.2.1 Hypothèses de base

Comme dans Bramoullé et Kranton (2007), considérons une économie constituée de N individus, $N = \{1, \dots, n\}$, pouvant volontairement contribuer pour un bien public local. Notons a_i la contribution de l'individu i au bien public, avec $a_i \in \mathbb{R}^+$. Pour chaque

contribution, les individus subissent un coût monétaire. Nous faisons l'hypothèse que le coût marginal des contributions, c , est constant.

Les N individus appartiennent à un réseau fixe. Notons par $g_{ij} = 1$ le lien existant entre les individus i et j . Cette notation peut désigner un lien de voisinage, un lien social, etc. Dans le reste de ce chapitre, nous dirons que ces deux individus sont des *voisins directs*, par opposition aux *voisins indirects* qui désignent les autres individus du réseau avec qui l'individu i n'a pas de lien (c'est-à-dire $g_{ij} = 0$). De plus, si $g_{ij} = 1$, alors l'individu j profite des contributions de l'individu i , et inversement : les liens ne sont pas dirigés.⁵ Si $g_{ij} = 0$, alors aucun lien n'existe entre les individus i et j , et l'individu j ne peut pas profiter des contributions de l'individu i (et inversement). Par convention, $g_{ii} = 1$, c'est-à-dire l'individu i profite de ses propres contributions pour le bien public. Comme dans Bramoullé et Kranton (2007), les contributions individuelles de l'individu i sont des substituts parfaits de celles de ses voisins directs. Notons N_i l'ensemble des voisins directs de l'individu i , avec $N_i = \{j \in N \setminus i : g_{ij} = 1\}$. Enfin, le nombre de voisins directs de l'individu i est donné par le cardinal de l'ensemble N_i , $k_i = |N_i|$.

Les individus bénéficient des contributions pour le bien public selon la fonction de bénéfice $f(A)$, avec $A = \sum_{i=1}^{N_i} a_i$, $f(0) = 0$, $f'(\cdot) > 0$ et $f''(\cdot) \leq 0$. L'utilité totale de l'individu i est ainsi donnée par :

$$U_i(a_i) = f \left(a_i + \sum_{j \in N_i} a_j \right) - ca_i \quad (5.1)$$

C'est à partir de cette formulation que nous pouvons observer que le bien public est local, étant donné que les contributions ne profitent qu'à l'individu i et à ses k_i voisins directs (c'est-à-dire ceux avec qui $g_{ij} = 1$).

Chaque individu choisit simultanément son niveau de contribution a_i . La condition de premier ordre est :

$$f'(A^P) - c = 0 \quad (5.2)$$

avec A^P l'équilibre de Nash des contributions.⁶ En notant $\mathbf{a}$ le profil des contributions comme dans le chapitre précédent, nous considérons la définition suivante d'un équilibre de Nash :

5. López-Pintado (2013) propose un modèle de contributions volontaires à un bien public avec des structures dirigées. Par exemple, si les individus i et j sont voisins, le réseau ne sera pas dirigé si $g_{ij} = 1$ mais $g_{ji} = 0$. Autrement dit, l'individu i peut profiter des contributions de l'individu j , mais pas l'inverse.

6. Nous ne prouvons pas l'existence de cet équilibre, qui est garantie par le théorème des Points Fixes de Brouwer.

Définition : a est un équilibre de Nash, si et seulement si, pour chaque individu :

- i) $A_{-i} < A^P$, et l'individu i contribue $a_i = A^P - A_{-i}$, ou
- ii) $A_{-i} \geq A^P$, et l'individu i ne contribue rien ($a_i = 0$). avec A_{-i} le niveau des contri-

butions des k_i voisins directs de l'individu i . En effet, chaque individu va contribuer de façon à égaliser le bénéfice marginal du bien public avec son coût marginal.

Notons par ailleurs qu'une condition pour avoir une solution intérieure est que $f'(0) > c$. En effet, dans ce cas la condition de premier ordre s'écrit $f'(0) - c > 0$: l'individu n'est pas à l'équilibre et a intérêt à augmenter son niveau des contributions.

Afin d'illustrer nos propos, nous considérons l'exemple suivant avec un réseau en étoile et un autre en cercle. Nous nous concentrons sur ces deux réseaux car les deux s'opposent sur la notion de *centralité*. Dans le réseau en étoile, un individu est central avec plus de voisins directs que les autres. Ainsi, les contributions de cet individu profitent à tout le réseau, alors que les contributions d'un individu à la périphérie ne profitent qu'à l'individu au centre et à cet individu périphérique. Dans un réseau en cercle, tout le monde a le même nombre de voisins, et aucun individu n'est central.

Exemple 1 : considérons la fonction d'utilité

$$U_i(a_i) = 4 \ln \left(1 + a_i + \sum_{j \in N_i} a_j \right) - a_i$$

D'après la condition de premier ordre,

$$\frac{4}{1 + A^P} - 1 = 0$$

à l'équilibre de Nash nous avons $A^P = 3$. Notons par ailleurs que nous avons bien

$$f'(0) = \frac{4}{1} > 1 = c$$

Dans la figure 5.1, nous considérons 4 individus arrangés dans un réseau en étoile. L'individu du centre a les 3 individus périphériques comme voisins directs, alors que ces derniers n'ont que l'individu du centre comme voisin direct. Deux équilibres de Nash sont possibles, les deux étant des équilibres spécialisés. Dans le premier, l'individu du centre contribue l'équilibre de Nash agrégé A^P , alors que les individus à la périphérie ne contribuent rien. Le deuxième équilibre est l'opposé du premier.

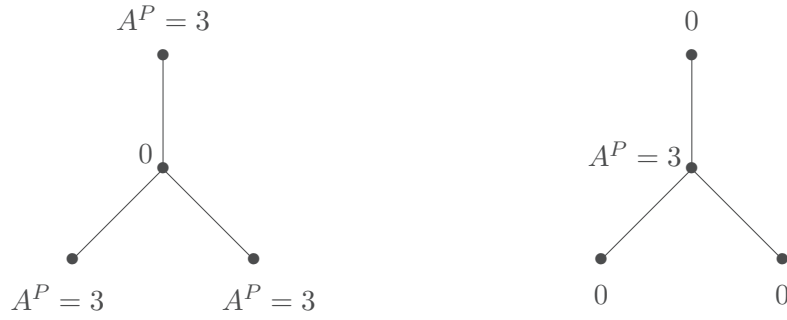


FIGURE 5.1: Équilibres de Nash dans un réseau en étoile

Dans la figure 5.2, nous considérons 4 individus arrangés dans un réseau en cercle. Deux équilibres de Nash sont possibles. Le premier est un équilibre distribué : chaque individu contribue le même montant de telle façon que la somme, pour un voisinage donné, soit égal à l'équilibre de Nash agrégé.⁷ Dans notre exemple, chaque individu a 2 voisins directs. Ainsi, chacun doit investir $\frac{1}{3}$ de la solution d'équilibre. Le deuxième équilibre est un équilibre spécialisé dans lequel un individu sur deux investit la solution d'équilibre, et les autres individus n'investissent pas.

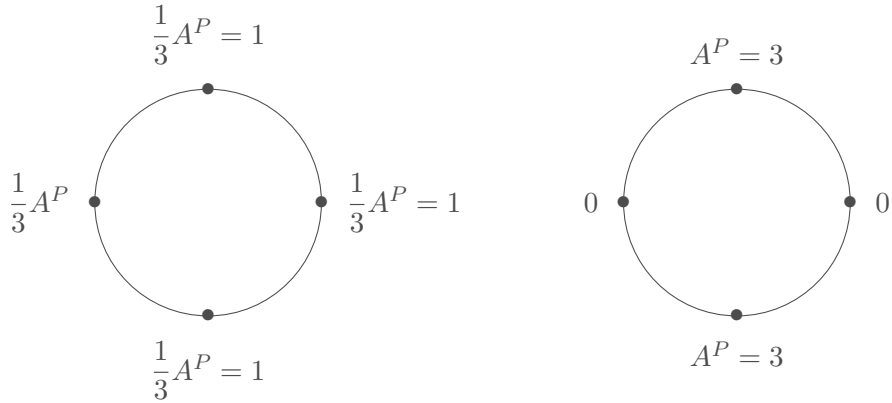


FIGURE 5.2: Équilibres de Nash dans un réseau en cercle

■

Ces deux exemples nous permettent d'illustrer l'importance de la configuration du réseau, ainsi que la place de l'individu dans celui-ci dans la détermination de son niveau de contribution.

Par ailleurs, nous pouvons noter que l'existence de plusieurs équilibres de Nash peut induire un problème d'*incertitude stratégique* (Van Huyck *et al.* (1990), Tallon (2006)). Les individus peuvent ne pas savoir sur quel équilibre se coordonner. Nous verrons dans la

7. Un équilibre est dit distribué lorsque chaque individu contribue un montant positif.

section suivante si la mise en place d'un *nudge* peut aider à résoudre cette difficulté.

5.2.2 Optimum social

Nous considérons maintenant l'étude de l'optimum social. Bramoullé et Kranton (2007) et Bramoullé *et al.* (2014) se sont davantage intéressés à l'existence de l'équilibre de Nash, adoptant ainsi une démarche positive. Dans ce chapitre, notre approche est normative car nous étudions la possibilité d'augmenter le niveau des contributions avec la mise en place d'un *nudge*, afin de tendre vers le profil des investissements socialement optimaux. L'intérêt est de chercher à maximiser le bien-être total du réseau.

Comme dans les chapitres précédents, nous considérons un régulateur utilitariste qui prend en compte la somme des utilités individuelles. Plus précisément, la fonction de bien-être est :

$$W(\mathbf{a}) = \sum_{i \in N} f \left(a_i + \sum_{j \in N_i} a_j \right) - \sum_{i \in N} ca_i \quad (5.3)$$

avec $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_n)$ le profil des contributions. La condition de premier ordre est

$$f' \left(a_i + \sum_{j \in N_i} a_j \right) + \sum_{j \in N_i} f' \left(a_j + \sum_{l \in N_j} a_l \right) - c = 0 \quad (5.4)$$

Dans une structure *régulière*, à l'optimum social tous les agents contribuent le même niveau d'effort.⁸ En revanche, lorsque le nombre de voisins directs n'est pas le même pour tous les individus, alors les niveaux de contributions sont différents.

Pour le montrer, nous allons considérer le cas du réseau en étoile. Bramoullé et Kranton (2007) montrent qu'un équilibre spécialisé, dans lequel l'individu du milieu investit le niveau agrégé des contributions socialement optimales, est plus efficace que tout autre équilibre.

Pour le voir, considérons les individus i et j , respectivement au centre et à la périphérie. Notons A_1^* le profil des contributions socialement optimales, tel que $a_{j,1}^* > 0$. Considérons également le profil A_2^* , tel que $a_{j,2}^* = 0$ et $a_{i,2}^* = a_{i,1}^* + a_{j,1}^*$. Ainsi, avec le profil A_2^* , la somme des contributions des individus i et j est inchangée par rapport au profil A_1^* , et les coûts ne changent pas non plus. Cependant, dans le profil A_1^* les contributions de l'individu j ne bénéficiaient qu'à l'individu i . Ce que compense l'individu i dans le profil A_2^* (car l'individu j ne contribue pas) profite à tous les membres du réseau. Ce profil est donc plus efficace.

Ainsi, par rapport aux chapitres précédents, nous pouvons noter qu'il n'est pas né-

8. Une structure est dite régulière lorsque tous les individus du réseau ont le même nombre de voisins directs.

cessairement possible de faire en sorte que les individus investissent le même montant à l'équilibre socialement optimal.

5.3 Mise en place d'un *nudge* en situation d'information complète

Nous considérons la mise en place du même *nudge* analysé dans cette thèse afin d'augmenter le niveau des contributions, et permettre une coordination dans le choix de l'équilibre. Nous avons vu en conclusion du chapitre précédent qu'il semble nécessaire de construire le *nudge* (le message) sur une caractéristique des individus, comme leur motivation dans la tâche à effectuer par exemple. En effet, dans le quatrième chapitre, notre *nudge* n'a pas permis d'augmenter de manière significative le niveau des contributions, contrairement au *nudge* mis en place dans le troisième chapitre dans le cadre d'une expérience contextualisée en environnement (le *nudge* s'appuyait alors sur la sensibilité environnementale des sujets). Dans ce chapitre, nous choisissons d'orienter le contenu du message sur la position des individus dans le réseau, et le niveau de contribution que cette dernière entraîne. Par ailleurs, nous proposons dans cette section des exemples paramétrés dans lesquels nous illustrons nos résultats. En particulier, la fonction de coût moral que nous utilisons permet de prendre en compte la sensibilité des individus au *nudge*, ou leur motivation pour investir dans le bien public (comme la sensibilité environnementale dans les deuxième et troisième chapitres). Ainsi, le contenu de notre *nudge* peut s'appuyer à la fois sur la position des individus, et cette motivation.

Dans cette section, nous considérons un régulateur qui a une parfaite connaissance de la structure du réseau et de la position occupée par chacun des individus. Le régulateur peut ainsi formuler des messages personnalisés, comme suggéré par Sunstein (2013) en présence d'hétérogénéité. Cette hypothèse peut se justifier dans le cadre, par exemple, d'un réseau de taille raisonnable avec la possibilité de connaître les individus (sans coûts d'information élevés). C'est le cas notamment des petites communes. Dans la section suivante, nous relâchons l'hypothèse d'information complète.

Le régulateur annonce un niveau de contribution à chaque individu. Ce dernier dépend de la position de l'individu dans le réseau ou, de manière équivalente, de son nombre de voisins k_i . Nous reprenons l'hypothèse formulée dans le quatrième chapitre, selon laquelle dès lors que les individus s'éloignent du niveau annoncé (ils contribuent plus ou moins), ils

subissent un coût moral.⁹

La fonction de coût moral est $g(a_i - \hat{a}_i)$, avec $\hat{a}_i$ l'annonce du niveau de contribution par le régulateur, $g(0) = 0$, $g'(\cdot) \lesseqgtr 0$ si $a_i - \hat{a}_i \lesseqgtr 0$, et $g''(\cdot) > 0$.¹⁰ Rappelons par ailleurs que pour des individus arrangés le long d'un cercle, tous ont le même nombre de voisins. Ainsi, l'optimum social agrégé est le même pour tous, et nous pouvons considérer l'annonce d'une contribution symétrique. Nous noterons $\hat{a}$ cette contribution pour les individus arrangés en cercle.

L'utilité totale de l'individu i devient :

$$U_i(a_i) = f\left(a_i + \sum_{j \in N_i} a_j\right) - ca_i - g(a_i - \hat{a}_i) \quad (5.5)$$

La condition de premier ordre s'écrit :

$$f'\left(a_i^N + \sum_{j \in N_i} a_j^N\right) - c - g'(a_i^N - \hat{a}_i) = 0 \quad (5.6)$$

avec a_i^N la contribution de l'individu i sous la mise en place du *nudge*. Les individus doivent maintenant égaliser le bénéfice marginal des contributions avec leur coût marginal et le coût moral marginal de la déviation de l'annonce. Pour la suite, notons $a_{per,j}$ la contribution de l'individu j à la périphérie, et a_{centre} la contribution de l'individu au centre. Nous obtenons la proposition suivante,

Proposition 10 *Considérons N individus appartenant à un réseau fixe. En situation d'information complète, si le régulateur met en place un nudge différencié selon la position de l'individu dans le réseau, alors,*

- i) a) un équilibre symétrique existe pour les individus arrangés dans un réseau en cercle ;*
 - b) un équilibre spécialisé peut exister si, pour les individus qui ne contribuent pas :*

$$f'(A^P) - f'(A^N) \geq -g'(0 - \hat{a}) \text{ si l'autre voisin direct ne contribue pas ;}$$

$$f'(A^P) - f'(2A^N) \geq -g'(0 - \hat{a}) \text{ si l'autre voisin direct contribue } A^N ;$$
 - ii) a) un équilibre spécialisé existe pour les individus arrangés dans un réseau en étoile,*
- tel que $a_{per,j}^N = 0 \quad \forall j$ et $a_{centre}^N \in]A^P; A^*]$.*

9. L'hypothèse d'un coût moral lorsque les agents contribuent plus que l'annonce pourrait être discutée, si nous considérons des agents altruistes. Dans ce chapitre, nous excluons cette possibilité et considérons seulement des agents qui subissent un coût moral s'ils s'écartent de ce que devrait être la norme de contribution, selon le régulateur. La prise en compte d'agents altruistes pourrait faire l'objet d'une extension à ces travaux.

10. Cette formulation est proche de celle proposée par Figuières *et al.* (2013).

b) un équilibre distribué peut exister pour les individus arrangés dans un réseau en étoile si $g'(a_{per,j}^N - 0) = f'(a_{per,j}^N + a_{centre}^N) - f'(A^P)$ pour les individus à la périphérie, et $-g'(a_{centre}^N - A^*) = f'(A^P) - f'(a_{centre}^N + \sum_{j \in N_{centre}} a_{per,j}^N)$ pour l'individu du centre.

Nous prouvons cette proposition dans l'appendice.

D'après les points i)a) et ii)a), il semble possible que notre *nudge* basé sur l'annonce de la contribution socialement optimale permette une coordination des individus du réseau vers le profil des contributions socialement optimales.

Cependant, le problème de l'incertitude stratégique ne semble pas totalement résolu car d'autres équilibres sont possibles pour chaque structure, d'après les points i)b) et ii)b). Afin d'illustrer nos résultats, nous proposons un exemple numérique. Nous montrons en particulier qu'il est possible d'interpréter les conditions d'existence de ces équilibres comme des conditions sur la sensibilité au *nudge*, ou l'intérêt porté au bien public. Plus précisément, de tels équilibres sont possibles si la sensibilité au *nudge* est suffisamment faible.

Notons par ailleurs que dans chacun de ces quatre points, il n'est jamais optimal d'investir exactement la contribution agrégée socialement optimale. En ce sens, comme évoqué dans les chapitres précédents, notre *nudge* ne permet pas d'atteindre l'équilibre socialement optimal. Il permet cependant de s'en rapprocher.

Exemple 2 : considérons la fonction de coût moral suivante :

$$g(a_i - \hat{a}_i) = \frac{m}{2} (a_i - \hat{a}_i)^2$$

avec le paramètre m qui peut être considéré comme la sensibilité au *nudge* (ou "nudgeabilité" comme chez Farhi et Gabaix (2015)) ou, de manière plus générale, comme l'intérêt d'un individu dans le bien public.¹¹ Nous rappelons que dans ce modèle simplifié, nous faisons l'hypothèse que tous les agents ont les mêmes préférences : nous écrivons ainsi m et non m_i . Par ailleurs, nous pouvons établir un lien avec les deuxième et troisième chapitres, en considérant m comme étant la sensibilité environnementale.

L'utilité de l'agent i s'écrit :

$$U_i(a_i) = 4 \ln \left(1 + a_i + \sum_{j \in N_i} a_j \right) - a_i - \frac{m}{2} (a_i - \hat{a}_i)^2$$

11. Figuières *et al.* (2013) proposent également une fonction similaire dans leurs exemples.

D'après la condition de premier ordre,

$$\frac{4}{1+A^N} - 1 - m(a_i - \hat{a}_i) = 0$$

Considérons des agents arrangés le long d'un cercle, et étudions la possibilité d'un équilibre spécialisé (point i)b) de la proposition 10). Supposons que chaque agent n'investissant pas est séparé par un agent qui investit la solution d'équilibre, que nous noterons A^N . La condition d'équilibre d'un agent ne contribuant pas s'écrit :

$$\frac{4}{1+2A^N} - 1 - m(0 - \hat{a}) = \frac{4}{1+2A^N} - 1 + m\hat{a} = 0$$

Nous pouvons réécrire cette équation ainsi

$$\frac{4}{1+2A^N} - 1 + m\hat{a} \leq \frac{4}{1+A^P} - 1 = 0$$

C'est-à-dire

$$m \leq \frac{\frac{4}{1+A^P} - \frac{4}{1+2A^N}}{\hat{a}}$$

Dans notre exemple, l'équilibre de Nash est tel que $A^P = 3$, et la contribution socialement optimale symétrique est $\frac{A^*}{3} = \hat{a} = 3.67$. Considérons que $m = 0.1$, c'est-à-dire que les agents sont peu sensibles au *nudge* ou, de manière équivalente, sont peu sensibles à l'environnement, ou encore n'ont pas d'intérêt dans le bien public local concerné. Dans ce cas, nous trouvons que l'agent i contribue $A^N = 3.20$, et l'expression $\frac{\frac{4}{1+A^P} - \frac{4}{1+2A^N}}{\hat{a}}$ est alors égale à 0.13. Autrement dit, nous avons bien $m = 0.1 < 0.13$, et un équilibre spécialisé est alors possible. ■

Par ailleurs, nous pouvons voir à partir de cet exemple que l'optimum social pourrait être atteint, y compris auprès d'une population peu sensible au *nudge*, si le régulateur n'annonce pas la vraie valeur de l'optimum social symétrique, mais une valeur plus élevée. Cependant, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, ce *nudge* serait moins défendable auprès des citoyens, et relèverait clairement de la manipulation.

Exemple 3 : considérons les mêmes fonctions que précédemment, mais pour des agents arrangés dans un réseau en forme d'étoile. Nous nous concentrons sur le point ii)b) de la proposition 10.

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, dans un réseau en étoile, le profil des contributions socialement optimales est tel que l'individu du milieu investit la solution

socialement optimale, alors que les individus à la périphérie ne contribuent pas. Ainsi, d'après nos fonctions, nous avons $A^* = 15$.

Considérons que les individus à la périphérie contribuent $a_{per,j}^N > 0$.¹² Si l'individu au centre contribue $a_{centre}^N > 0$, alors d'après la condition de premier ordre des individus à la périphérie, ces derniers sont à l'équilibre si

$$\frac{4}{1 + a_{per,j}^N + a_{centre}^N} - 1 - ma_{per,j}^N = 0$$

ou encore, si

$$\frac{4}{1 + a_{per,j}^N + a_{centre}^N} - 1 - ma_{per,j}^N = \frac{4}{1 + A^P} - 1 = 0$$

c'est-à-dire si

$$m = \frac{\frac{4}{1+a_{per,j}^N+a_{centre}^N} - \frac{4}{1+A^P}}{a_{per,j}^N} = \frac{\frac{4}{1+a_{per,j}^N+a_{centre}^N} - 1}{a_{per,j}^N}$$

Cette condition n'est valide que si $a_{per,j}^N + a_{centre}^N \leq A^P$, pour avoir $m \geq 0$. De manière similaire, nous pouvons montrer que pour l'individu du centre, nous devons avoir la condition suivante :

$$m = \frac{\frac{4}{1+A^P} - \frac{4}{1+a_{centre}^N+\sum_j a_{per,j}^N}}{A^* - a_{centre}^N} = \frac{1 - \frac{4}{1+a_{centre}^N+3a_{per,j}^N}}{15 - a_{centre}^N}$$

Cette deuxième condition n'est valide que si $a_{centre}^N + \sum_j a_{per,j}^N \geq A^P$, pour avoir $m \geq 0$. Pour $m = 0.01$ (c'est-à-dire la sensibilité au *nudge* est très faible), nous trouvons $a_{centre}^N = 2.70$ et $a_{per,j}^N = 0.29$. Nous pouvons vérifier que nous obtenons bien $a_{per,j}^N + a_{centre}^N = 0.29 + 2.70 = 2.99 < A^P = 3.00$, et $a_{centre}^N + \sum_j a_{per,j}^N = 2.70 + 3 \times 0.29 = 3.57 > A^P = 3.00$. De plus, les deux conditions pour m sont satisfaites. ■

Ce dernier exemple nous permet de discuter les résultats que nous avons obtenus. En particulier, nous venons de montrer que l'existence de l'équilibre spécialisé dans le cercle, et celle de l'équilibre distribué dans l'étoile, sont conditionnées à une sensibilité faible des individus au *nudge*. Autrement dit, si nous considérons un contexte environnemental (protection d'une forêt, d'une biodiversité locale, etc), avec des individus très sensibles à l'environnement, nous devrions obtenir des équilibres uniques (d'après les points i)a) et ii)a)).

12. Rappelons que le *nudge* mis en place indique aux individus à la périphérie de ne rien contribuer.

5.4 Mise en place du *nudge* en situation d'information incomplète

Nous relâchons maintenant l'hypothèse d'information complète. Le régulateur connaît la forme du réseau, mais ne connaît pas la position exacte de chaque individu dans celui-ci (il ne sait pas qui est qui). La mise en place d'un *nudge* différencié n'est plus possible.

Dans le cadre d'un réseau en cercle, cette perte d'information n'est pas, *a priori*, un problème dans la mesure où chaque individu a la même position dans le réseau. En revanche, dans un réseau en étoile, nous avons vu dans les deux sections précédentes que la place occupée par un individu détermine sa contribution. Deux stratégies sont ainsi possibles : le régulateur annonce à tout le réseau que les individus à la périphérie ne doivent pas contribuer, ou il annonce ce que doit contribuer l'individu du centre.

L'objectif de ce chapitre est également d'obtenir des prédictions théoriques, au niveau des équilibres attendus, que nous pourrions tester à l'aide d'une expérience en laboratoire (similaire aux expériences proposées dans les deux chapitres précédents). Nous n'analysons pas le cas où le régulateur annonce à tout le monde ce que chacun devrait contribuer. En effet, d'un point de vue expérimental, l'individu du centre pourrait être incité à ne pas contribuer sachant qu'il est annoncé aux individus à la périphérie qu'il est plus efficace qu'ils ne contribuent pas. Cela renvoie au comportement de coopérateur conditionnel étudié dans le chapitre précédent (Keser et van Winden (2000), Fischbacher et al. (2001)).

5.4.1 Mise en place du *nudge* dans le réseau en cercle

Comme évoqué plus haut, en situation d'information incomplète, le message mis en place dans le réseau en cercle ne diffère pas de celui mis en place en situation d'information complète. Ceci est dû au fait que chaque individu a le même nombre de voisins directs.

Ainsi, l'utilité totale d'un individu i dans le réseau en cercle est donnée par (5.5), et la condition de premier ordre est donnée par (5.6). Nous obtenons la proposition suivante,

Proposition 11 *Considérons N individus appartenant à un réseau en cercle. La mise en place d'un nudge en situation d'information incomplète est équivalente à celle de la mise en place du même nudge en situation d'information complète (points i)a) et i)b) de la proposition 10).*

Nous prouvons cette proposition dans l'appendice.

Peu importe le niveau d'information du régulateur concernant des individus arrangés en cercle, l'équilibre prédit ne varie pas avec celui-ci. De fait, nous pouvions nous attendre à ce résultat, car dans ce réseau tous les individus ont le même nombre de voisins directs, et la place de l'individu n'est ainsi pas déterminante de son niveau d'investissement dans le bien public.

Par ailleurs, comme pour le cas en information complète, si le régulateur ne connaît pas la position exacte des individus, mais sait que ces individus ont un intérêt élevé dans le bien public local, alors le point i)a) de la proposition 10 pourra être mis en place, et l'équilibre sera unique. Dans ce cas, l'incertitude stratégique sera réduite, et le niveau des contributions augmentera.

5.4.2 Ciblage des individus à la périphérie

Nous commençons par considérer le cas où les individus à la périphérie sont ciblés. Le régulateur annonce à tous les individus du réseau que ces derniers ne doivent pas contribuer.

L'utilité totale de l'individu au centre est inchangée. Celle d'un individu j à la périphérie devient :

$$U_{per}(a_{per}) = f(a_{per} + a_{centre}) - ca_{per} - g(a_{per} - 0) \quad (5.7)$$

La condition de premier ordre est :

$$f'(a_{per}^N + a_{centre}) - c - g'(a_{per}^N - 0) = 0 \quad (5.8)$$

Nous obtenons la proposition suivante,

Proposition 12 *Considérons N individus appartenant à un réseau en étoile. En situation d'information incomplète, si le régulateur met en place un nudge ciblant les individus à la périphérie, alors,*

- i) *un équilibre spécialisé existe tel que $a_{per,j}^N = 0 \quad \forall j$ et $a_{centre} = A^P$.*
- ii) *un second équilibre spécialisé peut exister avec $a_{per,j} > 0 \quad \forall j$ et $a_{centre} = 0$, si $g'(a_{per}^N - 0) = f'(a_{per}^N + a_{centre}) - f'(A^P)$ pour les individus à la périphérie.*
- iii) *un équilibre distribué peut exister si $g'(a_{per}^N - 0) = f'(a_{per}^N + a_{centre}) - f'(A^P)$ pour les individus à la périphérie, avec $a_{per,j}^N + a_{centre}^N < A^P \quad \forall j$ et $a_{centre} + \sum_{j \in N_{centre}} a_{per,j}^N = A^P$ pour l'individu du centre.*

Nous prouvons cette proposition dans l'appendice.

Contrairement aux résultats de la proposition 10 (en information complète), la mise en place de notre *nudge* ne permet pas nécessairement une augmentation du niveau agrégé des contributions. Par ailleurs, lorsque nous avons présenté le modèle de base, nous avons vu que deux équilibres spécialisés existaient. Avec un tel *nudge* ciblant les individus à la périphérie, trois équilibres sont théoriquement possibles. L'incertitude concernant le choix de l'équilibre n'est donc pas réduite. Cependant, le point i) semble le plus vraisemblable, par rapport aux points ii) et iii) qui demandent plus de conditions. En effet, comme pour les résultats obtenus avec la proposition 10, les points ii) et iii) dépendent de la sensibilité au *nudge* des individus.

Exemple 4 : considérons les mêmes fonctions que dans les exemples précédents. Nous illustrons dans cet exemple le point ii).

Si $a_{centre} = 0$, et en considérant une sensibilité au *nudge* faible, $m = 0.1$, nous trouvons $a_{per}^N = 2.26 < 3.00$. Nous avons bien, dans le cas du réseau en étoile avec 4 individus, $3 \times 2.26 > 3.00$, et la condition sur la sensibilité au *nudge* est vérifiée :

$$m = 0.1 = \frac{\frac{4}{1+2.26} - 1}{2.26} = 0.10$$

5.4.3 Ciblage de l'individu au centre

Nous considérons le cas où tous les individus du réseau reçoivent une information sur le niveau socialement optimal de contribution de l'individu du centre.

L'utilité totale des individus à la périphérie est inchangée par rapport à celle présentée dans le modèle de base. Celle de l'individu au centre devient :

$$U_{centre}(a_{centre}) = f \left(a_{centre} + \sum_{j \in N_{centre}} a_{per,j} \right) - c a_{centre} - g(a_{centre} - A^*) \quad (5.9)$$

La condition de premier ordre est :

$$f' \left(a_{centre}^N + \sum_{j \in N_{centre}} a_{per,j} \right) - c - g'(a_{centre}^N - A^*) = 0 \quad (5.10)$$

Nous obtenons la proposition suivante,

Proposition 13 *Considérons N individus appartenant à un réseau en étoile. En situation d'information incomplète, si le régulateur met en place un *nudge* ciblant l'individu du centre, alors,*

- i) un équilibre spécialisé existe tel que $a_{per,j} = 0 \quad \forall j$ et $a_{centre}^N \in]A^P; A^*[$.
- ii) un second équilibre spécialisé peut exister avec $a_{per,j} = A^P \quad \forall j$ et $a_{centre} = 0$, si $f'(A^P) - f'((n-1)A^P) = -g'(0 - A^*)$.
- iii) un équilibre distribué peut exister si $a_{centre}^N + a_{per,j} = A^P \quad \forall j$ pour les individus à la périphérie, et $f'(A^P) - f'(a_{centre}^N + \sum_{j \in N_{centre}} a_{per,j}) = -g'(a_{centre}^N - A^*)$ avec $a_{centre}^N + \sum_{j \in N_{centre}} a_{per,j} > A^P$ pour l'individu du centre.

Nous prouvons cette proposition dans l'appendice.

A nouveau, la mise en place du *nudge* ciblé ne permet pas de réduire l'incertitude autour du choix de l'équilibre à adopter. Cependant, comme pour la proposition 12, l'équilibre prédit par le point i) paraît le plus vraisemblable car il requiert moins de conditions que les équilibres prédits par les points ii) et iii).

Par ailleurs, contrairement à la proposition 12, les niveaux de contribution prédits par les points i) et iii) sont supérieurs à ceux obtenus dans le modèle de base (en l'absence d'incitations externes).

Ce résultat semble ainsi rejoindre celui que nous avons obtenu dans le chapitre 3, à savoir qu'il paraît nécessaire de cibler les individus pour lesquels un tel *nudge* est mis en place.

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons considéré la mise en place d'un *nudge* relevant de la provision d'informations (comme dans les chapitres précédents) dans le cadre d'un modèle de contributions volontaires à un bien public local en réseau (Bramoullé et Kranton (2007)). L'objectif était ainsi de vérifier si ce *nudge* pouvait aider à augmenter le niveau des contributions des individus du réseau, et de permettre une coordination (en réduisant l'incertitude stratégique due à la multiplicité des équilibres en l'absence d'incitations externes).

Nous montrons que dans le réseau en cercle, peu importe le niveau d'information dont dispose le régulateur sur la place occupée par chaque individu, le niveau agrégé des contributions peut augmenter et l'incertitude stratégique peut être réduite (l'équilibre prédit est unique), si la sensibilité au *nudge* est suffisamment forte (ou l'intérêt porté au bien public est élevé). Dans le réseau en étoile, les résultats sont davantage mitigés. En effet, nous avons montré que le passage d'une situation d'information complète (dans laquelle le régulateur connaît la forme du réseau et la place occupée par chacun dans celui-ci) à une situation

d'information incomplète (le régulateur ne connaît pas la place occupée par chacun) a des conséquences si le contenu du *nudge* n'est pas ajusté. En particulier, si les individus à la périphérie sont ciblés, le niveau agrégé des contributions n'augmente pas nécessairement par rapport à l'équilibre de Nash. En revanche, si l'individu du centre est ciblé, le niveau des contributions peut augmenter par rapport à la situation sans incitations externes. Dans les deux cas, l'incertitude stratégique n'est pas nécessairement réduite si la sensibilité au *nudge* est très faible.

Si nous considérons les résultats de ce chapitre, avec ceux du troisième chapitre (dans lequel nous avons montré que seuls les sujets sensibles à l'environnement ont augmenté leur niveau de contribution durant les sept premières périodes), à nouveau, il semble nécessaire pour les décideurs publics de cibler correctement les individus s'ils souhaitent augmenter les contributions à un bien public ou, de manière générale, la participation à une tâche collective.

Enfin, nous avons montré que si le régulateur annonce le véritable niveau de contribution conduisant au profil des contributions socialement optimales, alors ce profil n'est jamais mis en place. Nous avons alors expliqué que si le régulateur annonçait un niveau de contribution plus élevé, ce profil pourrait être mis en place. Cependant, d'après nos discussions dans le premier chapitre concernant l'éthique des *nudges*, en plus de mentir aux agents, ceci constituerait une forte manipulation de ces derniers (Bovens (2012), Hansen et Jespersen (2013), Wilkinson (2013)).

Une extension de ce modèle pourrait être la prise en compte de l'aversion à l'inéquité des individus, en particulier dans le cadre du réseau en étoile. En effet, nous avons vu que dans ce réseau, les individus à la périphérie ne doivent pas contribuer à l'optimum social. Des individus averses à l'inéquité pourraient ne pas suivre le contenu du *nudge*.

Par ailleurs, le type de comportement des agents pourrait également avoir une influence sur leur niveau de contribution. Plus précisément, Keser et van Winden (2000) ainsi que Fischbacher *et al.* (2001) ont montré de manière expérimentale que les sujets des expériences de biens publics ont majoritairement un comportement de "coopérateur conditionnel" (comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent). Ainsi, l'efficacité de notre *nudge* pourrait être réduite dans le réseau en étoile si l'individu du centre est un coopérateur conditionnel. Dans ce cas, voyant que les individus à la périphérie ne contribuent pas (s'ils suivent le contenu du *nudge*), alors lui-même n'aurait pas la volonté de contribuer.

D'autres formes de réseau peuvent également être considérées (réseau en étoile avec davantage de branches, réseau aléatoire, etc). En effet, dans ce chapitre nous avons considéré des formes simples afin d'étudier l'effet de nos deux *nudges* sur les équilibres obtenus.

Par ailleurs, comme pour le modèle présenté dans le deuxième chapitre, une expérience en laboratoire pourrait être utile afin de tester les prédictions que nous avons obtenues.

APPENDICE

Preuve de la proposition 10

i)a) Nous commençons par montrer qu'un équilibre symétrique existe.

Faisons l'hypothèse qu'un tel équilibre existe. Considérons le cas où $\frac{A^*}{3} \leq A^P$. Si tous les individus contribuent $\frac{A^*}{3}$, alors leur condition de premier ordre est telle que

$$f'(A^*) - c - g'(0) < 0$$

Tous ont intérêt à réduire leur niveau de contribution pour augmenter le bénéfice marginal des contributions.

Si tous les individus contribuent $\frac{A^P}{3}$, alors leur condition de premier ordre est telle que

$$f'(A^P) - c - g'\left(\frac{A^P}{3} - \frac{A^*}{3}\right) > 0$$

Tous ont intérêt à augmenter leur niveau de contribution. Ainsi, un équilibre existe tel que $\frac{A^P}{3} < a_i^N < \frac{A^*}{3}$, c'est-à-dire $A^P < A^N < A^*$.

En suivant la même méthode pour le cas où $\frac{A^*}{3} > A^P$, nous montrons également que le seul équilibre est tel que $\frac{A^P}{3} < a_i^N < \frac{A^*}{3}$.

Nous montrons maintenant qu'un tel équilibre est possible. Notons A^N le niveau agrégé des contributions à l'équilibre.

Sous la mise en place du *nudge*, la condition de premier ordre d'un individu dans un réseau en cercle est :

$$f'(a_i^N + a_{i-1}^N + a_{i+1}^N) - c - g'(a_i^N - \hat{a}) = 0$$

avec a_{i-1}^N et a_{i+1}^N les voisins directs de l'individu i (à gauche et à droite).

Considérons la contribution symétrique $\frac{A^N}{3}$. De plus, faisons l'hypothèse que l'individu $i - 1$ contribue $\frac{A^N}{3} - \epsilon$, $\epsilon > 0$, et que l'individu $i + 1$ contribue $\frac{A^N}{3} + \epsilon$.

La condition de premier ordre de l'individu $i + 1$ est

$$f'(A^N) - c - g'\left(\frac{A^N}{3} + \epsilon - \frac{A^*}{3}\right) < 0$$

et celle de l'individu $i - 1$ est

$$f'(A^N) - c - g'\left(\frac{A^N}{3} - \epsilon - \frac{A^*}{3}\right) > 0$$

Aucun de ces deux individus n'est à l'équilibre. L'individu $i + 1$ a intérêt à réduire sa contribution pour réduire son bénéfice moral marginal, alors que l'individu $i - 1$ a intérêt à augmenter sa contribution afin de réduire son coût moral marginal. De ce fait, si un équilibre existe, alors il est symétrique.

i)b) Considérons l'individu i , ainsi que ses deux voisins directs, les individus $i + 1$ et $i - 1$ (à gauche et à droite). Faisons l'hypothèse que les individus $i + 1$ et $i - 1$ ne contribuent pas. Notons A^N la contribution d'équilibre de l'individu i , telle que sa condition de premier ordre est satisfaite

$$f'(A^N) - c - g'(A^N - \hat{a}) = 0$$

Supposons que le voisin direct des individus $i + 1$ et $i - 1$ (autre que l'individu i) contribue également A^N (équilibre spécialisé dans lequel un individu sur deux contribue A^N).

Les individus $i + 1$ et $i - 1$ sont à l'équilibre si leur condition de premier ordre est telle que :

$$f'(2A^N) - c - g'(0 - \hat{a}) \leq 0$$

c'est-à-dire

$$f'(2A^N) - c - g'(0 - \hat{a}) \leq f'(A^P) - c = 0$$

ou encore

$$-g'(0 - \hat{a}) \leq f'(A^P) - f'(2A^N)$$

Une condition pour assurer l'existence d'un tel équilibre spécialisé est $A^P \leq 2A^N$ par concavité de la fonction $f(\cdot)$.

La preuve pour le cas où un individu qui ne contribue pas a pour voisin direct un individu qui contribue, et un autre qui ne contribue pas, suit les mêmes étapes.

ii)a) Considérons que $a_{per,j}^N = 0 \quad \forall j$. La condition de premier ordre pour un individu j à la périphérie est

$$f'(a_{per,j}^N + a_{centre}^N) - c - g'(a_{per,j}^N - 0) = 0 \quad (5.11)$$

L'équation (5.11) est satisfaite si $a_{centre}^N \geq A^P$. Si $a_{centre}^N = A^*$, alors la condition de

premier ordre pour l'individu au centre est telle que

$$f'(a_{centre}^N) - c - g'(0) < 0$$

L'individu au centre n'est donc pas à l'équilibre, et a intérêt à réduire son niveau de contribution.

Si $a_{centre}^N = A^P$, alors la condition de premier ordre pour l'individu au centre est telle que

$$f'(a_{centre}^N) - c - g'(a_{centre}^N - A^*) > 0$$

A nouveau, l'individu au centre n'est pas à l'équilibre, et a intérêt à augmenter son niveau de contribution. Ainsi, nous avons montré qu'il existe un niveau de contribution $a_{centre}^N \in]A^P; A^*[$ tel que la condition de premier ordre de l'individu du centre est satisfaite.

ii)b) Considérons que $a_{per,j}^N > 0 \quad \forall j$. La condition de premier ordre pour un individu j à la périphérie est donnée par (5.11). Cette équation est satisfaite si

$$f'(a_{per,j}^N + a_{centre}^N) - c - g'(a_{per,j}^N - 0) = f'(A^P) - c = 0$$

c'est-à-dire si

$$g'(a_{per,j}^N - 0) = f'(a_{per,j}^N + a_{centre}^N) - f'(A^P)$$

En particulier, cette condition peut être vérifiée si $a_{per,j}^N + a_{centre}^N < A^P$, par concavité de la fonction $f(\cdot)$.

La condition de premier ordre de l'individu au centre est

$$f'\left(a_{centre}^N + \sum_{j \in N_{centre}} a_{per,j}^N\right) - c - g'(a_{centre}^N - A^*) \quad (5.12)$$

L'équation (5.12) est à l'équilibre si elle est égale à l'équation (5.2), c'est-à-dire, si $a_{center}^N + \sum_{j \in N_{centre}} a_{per,j}^N > A^P$ et $f'(A^P) - f'(a_{centre}^N + \sum_{j \in N_{centre}} a_{per,j}^N) = -g'(a_{centre}^N - A^*)$.

◆

Preuve de la proposition 11

La preuve suit les mêmes étapes que la preuve du Point i) de la Proposition 10. ◆

Preuve de la proposition 12

i) Considérons que $a_{per,j}^N = 0 \quad \forall j$. La condition de premier ordre pour un individu à la périphérie qui reçoit un *nudge* est donnée par (5.8). Celle de l'individu au centre est donnée par (5.2).

Sachant que $a_{per,j}^N = 0 \quad \forall j$, et en considérant les équations (5.8) et (5.2), tous les individus sont à l'équilibre si $a_{centre} = A^P$.

ii) Considérons que $a_{per,j}^N > 0 \quad \forall j$. D'après la condition de premier ordre pour un individu à la périphérie donnée par (5.8), ces individus sont à l'équilibre si

$$f'(a_{per}^N + a_{centre}) - c - g'(a_{per}^N - 0) = f'(A^P) - c = 0$$

c'est-à-dire si

$$g'(a_{per}^N - 0) = f'(a_{per}^N + a_{centre}) - f'(A^P)$$

Cette condition peut être respectée si $a_{per,j}^N + a_{centre} < A^P$ par concavité de la fonction $f(\cdot)$.

Si $a_{centre} = 0$, alors l'équation (5.2) est satisfaite si $\sum_j a_{per,j}^N \geq A^P$.

iii) En reprenant les étapes du point précédent avec $a_{per,j}^N > 0 \quad \forall j$ et $a_{centre} > 0$, l'équation (5.8) est satisfaite si $g'(a_{per}^N - 0) = f'(a_{per}^N + a_{centre}) - f'(A^P)$, avec $a_{per,j}^N + a_{centre} < A^P$, et l'équation (5.2) est satisfaite si $a_{centre} + \sum_j a_{per,j}^N = A^P$. ♦

Preuve de la proposition 13

i) Considérons que $a_{per,j} = 0 \quad \forall j$. La condition de premier ordre pour un individu à la périphérie est donnée par (5.2). Celle de l'individu au centre qui est ciblé est donnée par (5.10).

Sachant que $a_{per,j}^N = 0 \quad \forall j$, et en considérant (5.2), les individus à la périphérie sont à l'équilibre si $a_{centre}^N \geq A^P$.

Si $a_{centre}^N = A^P$, l'équation (5.10) est telle que

$$f'(A^P) - c - g'(A^P - A^*) > 0$$

L'individu au centre n'est pas à l'équilibre, et a intérêt à augmenter son niveau de contribution.

Si $a_{centre}^N = A^*$, l'équation (5.10) est telle que

$$f'(A^*) - c - g'(0) < 0$$

L'individu au centre n'est pas à l'équilibre, et a intérêt à réduire son niveau de contribution.

Finalement, il existe un profil de contribution avec $a_{centre}^N \in]A^P; A^*[$ et $a_{per,j} = 0 \quad \forall j$, tel que tous les individus du réseau sont à l'équilibre.

ii) Considérons que $a_{per,j} = A^P \quad \forall j$. D'après la condition de premier ordre pour un individu à la périphérie, donnée par (5.2), l'équilibre est atteint si $a_{centre}^N = 0$.

En retour, l'individu au centre est à l'équilibre si

$$f'((n-1)A^P) - c - g'(0 - A^*) = 0$$

c'est-à-dire si

$$f'(A^P) - f'((n-1)A^P) = -g'(0 - A^*)$$

La preuve du Point iii) suit les mêmes étapes que celles de la preuve du point ii), avec $a_{per,j}^N > 0 \quad \forall j$. ♦

Conclusion générale

La majeure partie de la littérature portant sur les *nudges* concerne des expériences de terrain, avec pour objectif de tester leurs effets sur les agents économiques. Peu de chercheurs ont tenté de proposer un modèle théorique afin d'obtenir des prédictions claires concernant la réaction des individus suivant la mise en place de tels instruments. Ainsi, le but premier de cette recherche a été de proposer un modèle théorique, dans lequel nous avons proposé une modélisation de la réaction à un *nudge* prenant la forme de l'annonce de la contribution socialement optimale.¹ Nous souhaitons également comparer l'efficacité d'un *nudge* par rapport à l'efficacité d'une taxe pour augmenter le niveau des contributions, et ainsi améliorer la qualité environnementale. Enfin, nous nous sommes proposé de tester les prédictions obtenues à l'aide d'expériences en laboratoire.

Pour saisir les différences entre les instruments de marché traditionnellement mis en place pour lutter contre la pollution (taxes/subventions et permis d'émission) et les *nudges*, nous avons, dans le premier chapitre, réalisé un état des lieux de la littérature de ces deux ensembles. Nous avons pris le temps d'analyser le concept de *nudge* en repartant de sa genèse. Nous avons ainsi pu étudier les différentes définitions qui ont été données, et nous avons proposé la nôtre. Dans la suite du chapitre, nous avons constaté que les *nudges* semblaient présenter des avantages par rapport aux instruments économiques, notamment du point de vue de leur acceptabilité sociale (Jung et Mellers (2016), Reisch et Sunstein (2016)). Cependant, contrairement aux instruments économiques, certains *nudges* peuvent poser des problèmes d'éthique, car ils peuvent relever de la manipulation et réduire la liberté de décision des agents économiques.

Les résultats des expériences de terrain concernant la mise en place de messages normatifs (Allcott (2011), Costa et Kahn (2013), Ferraro et Price (2013) parmi d'autres) ou d'options par défaut (Löfgren et *al.* (2012), Egebark et Ekström (2016)) ont souligné des

1. Nous avons expliqué que cette modélisation convient également pour la provision d'autres types d'informations (moyenne des contributions des autres individus, contribution la plus élevée, etc.).

résultats encourageants dans la conservation d'énergie et la gestion des ressources environnementales. Par ailleurs, nous avons vu que des modélisations existent de la réaction à la provision d'une information (Farhi et Gabaix (2015), Harding et Hsiaw (2014)) et de la mise en place d'une option par défaut (Carroll *et al.* (2009), Berhneim *et al.* (2015), Goldin et Lawson (2016)). Nous nous démarquons de ces travaux en proposant une fonction de réaction à la provision d'une information qui dépend directement de la sensibilité environnementale.

Proposer une modélisation de la réaction à un *nudge* dans le cadre de contributions volontaires à la qualité environnementale présente l'intérêt d'obtenir des prédictions théoriques, que nous pouvons tester à l'aide d'une expérience en laboratoire.

Pour ce faire, nous avons élaboré dans le deuxième chapitre un modèle théorique permettant la prise en compte de la réaction à un *nudge* prenant la forme de l'annonce de la contribution socialement optimale. Ce modèle est basé sur ceux d'Etner *et al.* (2007, 2009) et présente également des liens avec celui de Salanié et Treich (2009) et Jeleva et Rossignol (2009). Nous considérons ainsi des individus plus ou moins optimistes concernant le risque de pollution. L'originalité de notre approche réside dans la prise en compte de la sensibilité environnementale, considérée comme l'ensemble des convictions des individus par rapport à l'environnement, ou comme leur vulnérabilité physique liée à la présence de pollution. Contrairement aux modèles cités plus haut dans ce paragraphe, nous montrons que les plus optimistes ne sont pas nécessairement ceux qui contribuent le moins à la qualité environnementale, dès lors que ces individus sont également les plus sensibles à l'environnement.

Dans l'objectif d'induire une augmentation du niveau des contributions individuelles pour améliorer la qualité environnementale, une taxe, puis un *nudge* sont considérés. Nous avons montré qu'il n'est pas possible de construire la taxe sur la sensibilité environnementale des individus, contrairement au *nudge* (qui peut s'appuyer directement sur cette caractéristique intrinsèque).

Ces prédictions théoriques ont ensuite été testées à l'aide d'une expérience en laboratoire, dans le troisième chapitre. Dans un premier temps, nous avons simplifié notre modèle afin de pouvoir l'adapter d'un point de vue expérimental. Le protocole proposé nous a permis d'identifier les individus les plus sensibles à l'environnement, de ceux l'étant le moins. À la fin du jeu de bien public, nous avons également déterminé le niveau d'optimisme des sujets.

Les résultats de cette expérience montrent que la taxe induit des niveaux de contributions comparables entre les groupes de joueurs sensibles à l'environnement et ceux qui le sont moins, et supérieurs (de manière significative) à ceux observés dans le groupe de contrôle. En revanche, les groupes de sujets sensibles à l'environnement contribuent plus (de manière significative) que ceux qui le sont moins avec le *nudge*. Ainsi, ce résultat semble aller dans le sens de notre modèle théorique : le *nudge* pourrait être construit sur la sensibilité environnementale, contrairement à la taxe. Par ailleurs, pour les groupes de sujets sensibles à l'environnement, nous montrons que le *nudge* n'est pas efficace durant toute sa période de mise en place, mais sur les 7 premières périodes seulement (sur les 15).

L'analyse de l'efficacité des instruments nous a permis d'affiner nos résultats. Nous avons ainsi pu mettre en évidence que pour les groupes de sujets les moins sensibles à l'environnement, la mise en place du *nudge* réduit de manière significative le bien-être du groupe, par rapport à celui du groupe de contrôle. De manière générale, les résultats de ce chapitre semblent indiquer, du point de vue des décideurs publics, qu'il est nécessaire de cibler les individus pour mettre en place un *nudge* similaire au nôtre.

Dans le quatrième chapitre, nous souhaitons tester la persistance des effets de la taxe et du *nudge*. Nous avons également considéré la mise en place d'un instrument mixte (taxe et *nudge*) afin de vérifier s'il était possible de faire prendre conscience aux sujets qu'ils étaient taxés car leur comportement était sous-optimal. Notre protocole s'est appuyé sur celui proposé par Bruttel et Friehe (2014) et Lefebvre et Stenger (2016), tout en s'en éloignant sur plusieurs aspects que nous avons détaillés en introduction dudit chapitre. Par ailleurs, cette expérience diffère de la précédente dans la mesure où elle n'est pas contextualisée en environnement. En effet, il s'agissait également de tester si notre *nudge* pouvait induire une augmentation du niveau des contributions s'il ne s'appuie pas sur une caractéristique intrinsèque des individus. Enfin, l'effet de la dynamique des groupes est également étudié, avec la mise en place de chaque traitement avec des groupes de *Partenaires* et d'*Étrangers*.

Pour les groupes de *Partenaires*, seul l'instrument mixte a induit une augmentation significative du niveau des contributions par rapport au groupe de contrôle. La taxe seule n'a induit qu'une augmentation marginalement significative. Une fois les instruments incitatifs retirés, nous ne trouvons pas d'effet de persistance. De plus, un effet de relâchement est observé pour les groupes ayant reçu le traitement avec taxe. Avec les groupes d'*Étrangers*, la taxe et l'instrument mixte ont induit une augmentation significative du niveau des contributions par rapport au groupe de contrôle. Ainsi, nous ne pouvons exclure l'hypothèse que la réaction à la taxe soit sensible aux dynamiques des groupes, contrairement à l'instrument

mixte. Une fois la mise en place des instruments incitatifs arrêtée, des effets de persistance sont observés avec les groupes ayant reçu les traitements avec l'instrument mixte, la taxe et le *nudge*. Les sujets semblent ainsi avoir appris de la mise en place de ces instruments. Formulé autrement, le *nudge* leur a fait prendre conscience du rôle de la taxe. Pour le *nudge*, ce résultat est d'autant plus surprenant que nous n'avions pas trouvé d'effet de cet instrument durant sa mise en place.

À nouveau, nous conduisons une analyse de l'efficacité afin d'affiner nos résultats. Nous montrons en particulier que si la taxe n'a eu qu'un effet marginalement significatif sur le niveau des contributions (pour les groupes de *Partenaires*), son effet sur le bien-être des groupes est significatif, tout comme pour l'instrument mixte. En revanche, une fois les instruments retirés, le bien-être des sujets traités ne diffère pas de manière significative de celui du groupe de contrôle.

Enfin, dans le dernier chapitre nous avons proposé d'étendre nos travaux en considérant un modèle de contributions volontaires à un bien public local. Ce modèle est basé sur celui de Bramoullé et Kranton (2007).

Contrairement à ce que nous avons proposé dans nos chapitres précédents, les contributions d'un individu donné ne profitent pas à tous les membres du groupe, mais seulement à une partie. Nous avons regardé si notre *nudge* pouvait aider à résoudre le problème de l'incertitude stratégique (Van Huyck *et al.* (1990), Tallon (2006)), ainsi que celui de la sous-contribution par rapport à l'optimum social. Ces problèmes ont été considérés pour deux types de réseau (en cercle et en étoile) et en faisant varier le niveau d'information dont dispose le régulateur (information complète/incomplète).

En situation d'information complète, nous avons montré que notre *nudge* semblait pouvoir servir d'instrument de coordination, et pouvait permettre d'augmenter le niveau agrégé des contributions dans les deux structures, si la sensibilité au *nudge* (ou l'intérêt dans le bien public concerné) est suffisamment basse. En effet, dans ce cas les équilibres obtenus sont uniques. Pour le réseau en cercle, ce résultat est toujours valable en situation d'information incomplète. En revanche, pour le cas du réseau en étoile, nous montrons qu'en situation d'information incomplète il est préférable de cibler par le *nudge* l'individu du centre pour tendre vers le profil des contributions socialement optimales. Si les individus à la périphérie sont ciblés, le niveau des contributions n'augmente pas nécessairement par rapport au niveau observé en l'absence d'incitations externes. Ainsi, comme pour les chapitres précédents, ces résultats semblent ainsi indiquer que les décideurs publics devraient mettre en place des politiques basées sur l'approche du *nudge* ciblant des individus précis.

Les implications de nos résultats dans l'aide à la décision publique sont multiples. Tout d'abord, nos résultats semblent indiquer que le *nudge* que nous proposons ne semble pas être plus efficace qu'une taxe. De plus, lorsqu'il est mis en place en complément de la taxe, les résultats obtenus par un tel instrument mixte sont apparus plus forts que ceux obtenus par les instruments considérés séparément. Nous nous demandions en introduction si un *nudge* pouvait constituer une alternative ou un complément aux instruments monétaires. En considérant nos résultats obtenus dans les troisième et quatrième chapitres, il semble que notre *nudge* soit davantage à considérer comme un complément, plutôt que comme une alternative aux instruments monétaires (comme ceux relevant d'une taxe).

Ensuite, les résultats de nos troisième et cinquième chapitres paraissent mettre en avant le fait qu'il est nécessaire, de la part des décideurs publics, de cibler les individus lors de la mise en place d'un *nudge*. Des agents peu sensibles au *nudge* (ou présentant un intérêt faible dans le bien public) ne contribueront pas nécessairement davantage (cinquième chapitre). De plus, la mise en place du *nudge* pourrait même induire une diminution du bien-être du groupe pour des individus peu concernés par l'objectif mis en avant par le *nudge* (troisième chapitre).

Plusieurs extensions de nos travaux sont possibles, et celles-ci vont être considérées à court terme.

Une limite au modèle théorique développé dans le deuxième chapitre est que nous n'avons pas considéré l'effet du niveau de confiance que les individus peuvent accorder au *nudge* mis en place par le régulateur. Nous n'avons considéré la confiance des individus que pour le risque de pollution. Dans une extension, nous pourrions considérer le niveau de confiance des individus concernant l'institution qui met en place le *nudge* (gouvernement, organisation non gouvernementale, etc.). À l'instar de ce que nous avons proposé pour la sensibilité environnementale, cette confiance pourrait être prise en compte à travers une variable qualitative. Dans une deuxième extension, nous pourrions tester de manière expérimentale l'effet du *nudge*, en faisant varier l'institution qui en est à l'origine.

Dans le troisième chapitre, nous avons mis en évidence le fait que le *nudge* mis en place induit une augmentation significative du niveau des contributions, pour les sujets les plus sensibles, seulement durant les sept premières périodes. Une extension pourrait être de tester la mise en place d'un nouveau *nudge*, au début de la huitième période, afin de pérenniser la poursuite de l'effort engagé. En considérant conjointement les résultats des troisième et quatrième chapitres, ce *nudge* devrait s'appuyer sur la sensibilité environnementale (s'il est employé dans le cadre d'une régulation environnementale).

Jusqu'à présent, nous avons considéré un seul type de *nudge* (celui relevant de la provision d'informations). Nous en avons étudié plusieurs dans le premier chapitre (options par défaut, effet de présentation, etc.). Une extension naturelle consiste à étudier les différences dans la mise en place de ces différents *nudges*. Les options par défaut pourraient constituer un cas intéressant dans la mesure où nous avons montré dans le premier chapitre que leur mise en place, lorsqu'elle est efficace, pouvait induire des effets persistants.

Par ailleurs, tester plusieurs types de *nudges* permettrait dans le même temps de tester leur acceptabilité par les sujets (Jung et Mellers (2016), Reisch et Sunstein (2016)). Notons par ailleurs que nous pourrions supposer qu'un lien existe entre la confiance des individus envers l'institution qui met en place le *nudge*, et leur acceptation de celui-ci.

Bibliographie

- Akerlof, G.A., 1997. "Social Distance and Social Decisions." *Econometrica*, 65 : 1005–1027.
- Alix-Garcia, J., 2007. "A Spatial Analysis of Common Property Deforestation." *Journal of Environmental Economics and Management*, 53 : 141–147.
- Allcott, H., 2011. "Social Norms and Energy Conservation." *Journal of Public Economics*, 95 : 1082–1095.
- Allcott, H. et D. Taubinsky, 2015. "Evaluating Behaviorally Motivated Policy : Experimental Evidence from the Lightbulb Market." *The American Economic Review*, 105 : 2501–2038.
- Allcott, H. et T. Rogers, 2014. "The Short-Run and Long-Run Effects of Behavioral Interventions : Experimental Evidence from Energy Conservation." *The American Economic Review*, 104 : 3003–3037.
- Allouch, N., 2015. "On the private provision of public goods on networks." *Journal of Economic Theory*, 157 : 527–552.
- Ambec, S. et J. Coria, 2013. "Prices vs Quantities with Multiple Pollutants." *Journal of Environmental Economics and Management*, 66 : 123–140.
- Anderson, C.D. et J.D. Claxton, 1982. "Barriers to consumer choice of energy efficient products" *Journal of Consumer Research*, 9 : 163–170.
- Andreoni, J., 1988. "Why Free Ride? Strategies and Learning in Public Goods Experiments" *Journal of Public Economics*, 37 : 291–304.
- Ariely, D., U. Gneezy, G. Loewenstein et N. Mazar, 2009. "Large Stakes and Big Mistakes." *Review of Economic Studies*, 76 : 451–469.
- Ayres, I., S. Raseman et A. Shih, 2013. "Evidence from two large field experiments that peer comparison feedback can reduce residential energy usage." *Journal of Law, Economics and Organization*, 29 : 992–1022.
- Barton, A. et T. Grüne-Yanoff, 2015. "From Libertarian Paternalism to Nudging—and Beyond" *Review of Philosophy and Psychology*, 6 : 341–359.

- Bator, R. et R.B. Cialdini, 2000. "The Application of Persuasion Theory to the Development Of Effective Proenvironmental Public Service Announcements." *Journal of Social Issues*, 56 : 527–541.
- Baumol, W.J., 1972. "On Taxation and the Control of Externalities" *The American Economic Review*, 62 : 307–322.
- Bénabou, R. et J. Tirole, 2003. "Intrinsic and Extrinsic Motivation." *Review of Economic Studies*, 70 : 489–520.
- Bénabou, R. et J. Tirole, 2006. "Incentives and Prosocial Behavior." *American Economic Review*, 96 : 1652–1678.
- Berglas, E. et D. Pines, 1981. "Clubs, local public goods and transportation models." *Journal of Public Economics*, 15 : 141–162.
- Bergstrom, T., L. Blume et H. Varian, 1986. "On the private provision of public goods." *Journal of Public Economics*, 29 : 25–49.
- Bernedo, M., P.J. Ferraro et M. Price, 2014. "The Persistent Impacts of Norm-Based Messaging and Their Implications for Water Conservation." *Journal of Consumer Policy*, 37 : 437–452.
- Bernheim, B.D., 1994. "A Theory of Conformity." *Journal of Political Economy*, 102 : 841–877.
- Bernheim, B.D., A. Fradkin et I. Popov, 2015. "The Welfare Economics of Default Options in 401(k) Plans." *The American Economic Review*, 105 : 2798–2837.
- Bloch, F. et U. Zenginobuz, 2007. "The effect of spillovers on the provision of local public goods." *Review of Economic Design*, 11 : 199–216.
- Bourguet, D. et T. Guillemaud, 2016. "The hidden and external costs of pesticide use." *Sustainable Agriculture Reviews*, 19 : 35–120.
- Bovens, L., 2012. "Real Nudge." *European Journal of Risk Regulation*, 3 : 43–46.
- Bramoullé, Y. et R. Kranton, 2007. "Public goods in networks." *Journal of Economic Theory*, 135 : 478–494.
- Bramoullé, Y., R. Kranton et M. D'Amours, 2014. "Strategic Interaction and Networks." *The American Economic Review*, 104 : 898–930.
- Bruttel, L. et T. Friehe, 2014. "Can short-term incentives induce long-lasting cooperation? Results from a public-goods experiment." *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 53 : 120–130.

- Cabinet Office Behavioural Insights Team, 2010. "Applying behavioural insight to health."
- Cabinet Office Behavioural Insights Team, 2011. "Behaviour change and energy use."
- Cabinet Office Behavioural Insights Team, 2013. "Applying Behavioural Insights to Organ Donation : preliminary results from a randomised controlled trial"
- Camerer, C., S. Issacharoff, G. Loewenstein, T. O'Donoghue et M. Rabin, 2003. "Regulation for conservatives : behavioral economics and the case for "asymmetric paternalism"." *University of Pennsylvania Law Review*, 151 : 2111–2154.
- Carroll, G.D., J.J. Choi, D. Laibson, B.C. Madrian et A. Metrick, 2009. "Optimal Defaults and Active Decisions." *The Quarterly Journal of Economics*, 124 : 1639–1674.
- Centre d'Analyse Stratégique (CAS), 2011. "Green nudges : new incentives for ecological behaviour. " Note d'Analyse 216.
- Chan, K.S., S. Mestelman, R. Moir et R.A. Muller, 1999. "Heterogeneity and the Voluntary Provision of Public Goods." *Experimental Economics*, 2 : 5–30.
- Chan, K.S., R. Godby, S. Mestelman et R.A. Muller, 2002. "Crowding-out voluntary contributions to public goods." *Journal of Economic Behavior and Organization*, 48 : 305–317.
- Chaudhuri, A., 2011. "Sustaining cooperation in laboratory public goods experiments : a selective survey of the literature." *Experimental Economics*, 14 : 47–83.
- Chiroleu-Assouline, M., 2015. "La fiscalité environnementale en France peut-elle devenir réellement écologique? État des lieux et conditions d'acceptabilité." *Revue de l'OFCE*, 139 : 131–165.
- Choi, J.J., D. Laibson, B.C. Madrian et A. Metrick, 2004. "For Better or for Worse : Default Effects and 401(k) Savings Behavior." In D.A. Wise (ed.) *Perspectives on the Economics of Aging*, 81–125, University of Chicago Press.
- Choi, S., D. Gale et S. Kariv, 2008. "Sequential equilibrium in monotone games : A theory-based analysis of experimental data." *Journal of Economic Theory*, 143 : 302–330.
- Choi, S., D. Gale, S. Kariv et T. Palfrey, 2011. "Network architecture, salience and coordination." *Games and Economic Behavior*, 73 : 76–90.
- Cialdini, R.B., 2003. "Crafting Normative Messages to Protect the Environment." *Current Directions in Psychological Science*, 12 : 105–109.
- Cialdini, R.B., R.R. Reno et C.A. Kallgren, 1990. "A Focus Theory of Normative Conduct : Recycling the Concept of Norms to Reduce Littering in Public Places." *Journal of Personality and Social Psychology*, 58 : 1015–1026.

- Coase, R., 1960. "The Problem of Social Cost." *Journal of Law and Economic*, 3 : 1–44.
- Cochard F., M. Willinger et A. Xepapadeas, 2005. "Efficiency of Nonpoint Source Pollution Instruments : An Experimental Study" *Environmental and Resource Economics*, 30 : 393–422.
- Cochard F. et A. Rozan, 2010. "Taxe ambiante : un outil adapté à la lutte contre les coulées de boue ? Une étude expérimentale." *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*, 91 : 296–326.
- Commission Européenne, 2012. Science for Environment Policy. Future Brief : Green Behaviour. http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/FB4_en.pdf.
- Commission Européenne, 2016. *Behavioural Insights Applied to Policy*.
- Corral-Verdugo, V., M. Bonnes, C. Tapia-Fonllem, B. Fraijo-Sing, M. Frias-Armenta et G. Carrus, 2009. "Correlates of pro-sustainability orientation : The affinity towards diversity." *Journal of Environmental Psychology*, 29 : 34–43.
- Costa, D.L. et M.E. Kahn, 2013. "Energy conservation "nudges" and environmentalist ideology : evidence from a randomized electricity field experiment." *Journal of the European Economic Association*, 11 : 680–702.
- Crainich, D. et L. Eeckhoudt, 2005. "La notion économique de prudence." *Revue Économique*, 56 : 1021–1032.
- Crainich, D. et L. Eeckhoudt, 2008. "On the Intensity of Downside Risk Aversion." *Journal of Risk and Uncertainty*, 36 : 267–276.
- Cropper, M.L. et W.E. Oates, 1992. "Environmental Economics : A Survey." *Journal of Economic Literature*, 30 : 675–740.
- Croson, R., 1996. "Partners and strangers revisited." *Economics Letters*, 53 : 25–32.
- Croson, R. et M. Marks, 2001. "The effect of recommended contributions in the voluntary provision of public goods." *Economic Inquiry*, 39 : 238–249.
- Croson, R. et N. Treich, 2014. "Behavioral environmental economics : Promises and challenges." *Environmental and Resource Economics*, 58 : 335–351.
- Dal Bó, E. et P. Dal Bó, 2014. " "Do the right thing : " The effects of moral suasion on cooperation." *Journal of Public Economics*, 117 : 28–38.

- Dannenbergh, A., A. Löschel, G. Paolacci, C. Reif et A. Tavoni, 2015. "On the Provision of Public Goods with Probabilistic and Ambiguous Thresholds." *Environmental and Resource Economics*, 61 : 365–383.
- Dasgupta, S., J.H. Hong, B. Laplante et N. Mamingi, 2006. "Disclosure of environmental violations and stock market in the Republic of Korea." *Ecological Economics*, 58 : 759–777.
- Davis, J., J.D. Green et A. Reed, 2009. "Interdependence with the environment : Commitment, interconnectedness, and environmental behavior." *Journal of Environmental Psychology*, 29 : 173–180.
- Davis, J., B. Le et A.E. Coy, 2011. "Building a model of commitment to the natural environment to predict ecological behavior and willingness to sacrifice." *Journal of Environmental Psychology*, 31 : 257–365.
- Deci, E.L., 1971. "Effects of externally mediated rewards on intrinsic motivation." *Journal of Personality and Social Psychology*, 18 : 105–115.
- Deci, E.L., 1972. "Intrinsic motivation, extrinsic reinforcement, and inequity." *Journal of Personality and Social Psychology*, 22 : 113–120.
- Deci, E.L., R. Koestner et R.M. Ryan, 1999. "A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards on intrinsic motivation." *Psychological Bulletin*, 125 : 692–700.
- Delaney, J. et S. Jacobson, 2015. "Payments or Persuasion : Common Pool Resource Management with Price and Non-price Measures." *Environmental and Resource Economics*, À paraître.
- Dugar, S., 2010. "Nonmonetary sanctions and rewards in an experimental coordination game." *Journal of Economic Behavior and Organization*, 73 : 377–386.
- Dugar, S., 2013. "Non-monetary incentives and opportunistic behavior : evidence from a laboratory public good game." *Economic Inquiry*, 51 : 1374–1388.
- Dupouey, P., 2006. *Choisir le juste mot : Travailler le vocabulaire de la culture générale*, Ellipses Marketing.
- Ebert, S. et G. van de Kuilen, 2015. "Measuring Multivariate Risk Preferences." Working paper.
- Ebert, S., L. Eeckhoudt L. et S. Spaeter, 2016. "Risk preferences when less is more." Mimeo.
- Eeckhoudt, L. et H. Schlesinger, 2006. "Putting Risk in Its Proper Place." *The American Economic Review*, 96 : 280–289.

- Egebark, J. et M. Ekström, 2016. “Can indifference make the world greener?” *Journal of Environmental Economics and Management*, 76 : 1–13.
- Etner, J., M. Jeleva et P.A. Jouvét, 2007. “Risk Perceptions, Voluntary Contributions and Environmental Policy.” *Research in Economics*, 61 : 130–139.
- Etner, J., M. Jeleva et P.A. Jouvét, 2009. “Pessimism or Optimism : a Justification to Voluntary Contributions Toward Environmental Quality.” *Australian Economic Papers*, 48 : 308–319.
- Eurobaromètre Standard 63, Septembre 2005. “L’opinion publique dans l’Union européenne.” 440 p.
- Eurobaromètre Standard 83, Printemps 2015. “L’opinion publique dans l’Union européenne.” 228 p.
- Falkinger, J., 1996. “Efficient private provision of public goods by rewarding deviations from average.” *Journal of Public Economics*, 62 : 413–422.
- Falkinger, J., E. Fehr, S. Gächter et R. Winter-Ebmer, 2000. “A Simple Mechanism for the Efficient Provision of Public Goods : Experimental Evidence.” *The American Economic Review*, 90 : 247–264.
- Farhi, E. et X. Gabaix, 2015. “Optimal Taxation with Behavioral Agents.” mimeo.
- Fehr, E. et S. Gächter, 2000. “Cooperation and Punishment in Public Goods Experiments.” *The American Economic Review*, 90 : 980–994.
- Ferraro, P.J., J.J. Miranda et M.K. Price, 2011. “The Persistence of Treatment Effects with Norm-Based Policy Instruments : Evidence from a Randomized Environmental Policy Experiment.” *The American Economic Review : Papers and Proceedings*, 101 : 318–322.
- Ferraro, P.J. et J.J. Miranda, 2013. “Heterogeneous treatment effects and mechanisms in information-based environmental policies : Evidence from a large-scale field experiment.” *Resource and Energy Economics*, 35 : 356–379.
- Ferraro, P. et M.K. Price, 2013. “Using Non-Pecuniary Strategies to Influence Behavior : Evidence from a Large Scale Field Experiment.” *The Review of Economics and Statistics*, 95 : 64–73.
- Figuières, C., D. Masclet et M. Willinger, 2013. “Weak Moral Motivation Leads to the Decline of Voluntary Contributions.” *Journal of Public Economic Theory*, 15 : 745–772.
- Fischbacher, U., S. Gächter et E. Fehr, 2001. “Are people conditionally cooperative ? Evidence from a public goods experiment.” *Economics Letters*, 71 : 397–404.

- Fischbacher, U. et S. Gächter, 2010. "Social Preferences, Beliefs, and the Dynamics of Free Riding in Public Goods Experiments." *The American Economic Review*, 100 : 541–556.
- Frey, B.S., 1992. "Pricing and Regulating Affect Environmental Ethics" *Environmental and Resource Economics*, 2 : 399–414.
- Frey, B.S. et R. Jegen, 2001. "Motivation Crowding Theory." *Journal of Economic Surveys*, 15 : 589–611.
- Gifford, R., 2011. "The Dragons of Inaction, Psychological Barriers That Limit Climate Change Mitigation and Adaptation." *American Psychologist*, 66 : 290–302.
- Glaesmer, H., W. Rief, A. Martin, R. Mewes, E. Brähler, M. Zenger et A. Hinz, 2012. "Psychometric properties and population based norms of the Life Orientation Test Revised (LOT-R)." *British Journal of Health Psychology*, 35 : 472–482.
- Gneezy, U. et A. Rustichini, 2000. "A Fine is a Price." *Journal of Legal Studies*, 29 : 1–18.
- Gneezy, U., S. Meier et P. Rey-Biel, 2011. "When and Why Incentives (Don't) Work to Modify Behavior." *The Journal of Economic Perspectives*, 25 : 191–209.
- Godard, O., 2015. *Environnement et développement durable, Une approche méta-économique*, De Boeck.
- Goeschl, T. et G. Perino, 2012. "Instrument Choice and Motivation : Evidence from a Climate Change Experiment." *Environmental and Resource Economics*, 52 : 195–212.
- Goldin, J. et N. Lawson, 2016. "Defaults, Mandates, and Taxes : Policy Design with Active and Passive Decision-Makers." *American Law and Economics Review*, À paraître.
- Goldstein, N.J., R.B. Cialdini et V. Griskevicius, 2008. "A Room with a Viewpoint : Using Social Norms to Motivate Environmental Conservation in Hotels." *Journal of Consumer Research*, 17 : 432–445.
- Goodwin, T., 2012. "Why We Should Reject 'Nudge'." *Politics*, 32 : 85–92.
- Grolleau, G., L. Ibanez et N. Mzoughi, 2011. "Les programmes d'écolabellisation face aux motivations égoïstes ou altruistes des consommateurs et à la nature publique ou privée des attributs environnementaux." *INRA Sciences Sociales*, 4/2010, 4p.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2013. "Change-ments climatiques 2013 : les éléments scientifiques." 1552p.
- Hagman, W., D. Andersson, D. Västfjäll et G. Tinghög, 2015. "Public Views on Policies Involving Nudges." *Review of Philosophy and Psychology*, 6 : 439–453.

- Hahn, R.W., 1984. "Market Power and Transferable Property Rights." *The Quarterly Journal of Economics*, 99 : 753–765.
- Hahn, R.W. et G.L. Hester, 1989. "Marketable Permits : Lessons for Theory and Practice." *Ecology Law Quarterly*, 16 : 361–406.
- Hamilton, J.T., 1995. "Pollution as News : Media and Stock Market Reactions to the Toxics Release Inventory Data." *Journal of Environmental Economics and Management*, 28 : 98–113.
- Hansen, P.G., 2016. "The Definition of Nudge and Libertarian Paternalism : Does the Hand Fit the Glove?" *The European Journal of Risk Regulation*, 7 : 155–174.
- Hansen, P.G. et A.M. Jespersen, 2013. "Nudge and the Manipulation of Choice - A Framework for the Responsible Use of the Nudge Approach to Behaviour Change in Public Policy." *The European Journal of Risk Regulation*, 4 : 3–28.
- Harrison, G.W. et J.A. List, 2004. "Field Experiments." *Journal of Economic Literature*, 42 : 1009–1055.
- Hasson, R., A. Löfgren et M. Visser, 2010. "Climate change in a public goods game : Investment decision in mitigation versus adaptation." *Ecological Economics*, 70 : 331–338.
- Hasson, R., A. Löfgren et M. Visser, 2012. "Treatment effects of climate change risk on mitigation and adaptation behaviour in an experimental setting." *South African Journal of Economic*, 80 : 415–430.
- Harding, M. et A. Hsiaw, 2014. "Goal Setting and Energy Conservation." *Journal of Economic Behavior and Organization*, 107 : 209–227.
- Hatfield, J. et R.F. Soames Job, 2001. "Optimism bias about environmental degradation : The role of the range of impact of precautions." *Journal of Environmental Psychology*, 21 : 17–30.
- Hausman, D.M et B. Welch, 2010. "To Nudge or Not to Nudge." *The Journal of Political Philosophy*, 18 : 123–136.
- Heilmann, C., 2014. "Success conditions for nudges : a methodological critique of libertarian paternalism." *European Journal for Philosophy of Science*, 4 : 75–94.
- Helfand, G.E, P. Berck et T. Maull, 2003. "The theory of pollution policy." *Handbook of Environmental Economics*, 1, ed. by K.-G. Mäler and J.R. Vincent, Elsevier Science.
- Hungerford, H.R. et T.L. Volk, 1990. "Changing Learner Behavior Through Environmental Education." *The Journal of Environmental Education*, 21 : 8–21.

- Ibanez, L. et G. Grolleau, 2008. "Can Ecolabeling Schemes Preserve the Environment ?" *Environmental and Resource Economics*, 40 : 233–249.
- Isaac, R.M. et J.M. Walker, 1998. "Nash as an Organizing Principle in the Voluntary Provision of Public Goods : Experimental Evidence." *Experimental Economics*, 1 : 191–206.
- Jeleva, M. et S. Rossignol, 2009. "Political management of risk : the role of trust." *Public Choice*, 139 : 83–104.
- Johnson, E.J et D. Goldstein, 2003. "Do Defaults Save Lives?" *Science*, 302 : 1338–1339.
- Johnson, D. et S. Levin, 2009. "The tragedy of cognition : psychological biases and environmental inaction." *Current Science*, 97 : 1593–1603.
- Joule, R.V. et J.L. Beauvois, 2014. *Petit traité de manipulation à l'usage des honnêtes gens*. Presses Universitaire de Grenoble.
- Jouvet, P.A., P. Michel et P. Pestieau, 2000. "Altruism, Voluntary Contributions and Neutrality : The Case of Environmental Quality." *Economica*, 67 : 465–475.
- Jung, J.Y. et B.A. Mellers, 2016. "American attitudes toward nudges." *Judgment and Decision Making*, 11 : 62–74.
- Kahn, M.E., 2007. "Do greens drive Hummers or hybrids ? Environmental ideology as a determinant of consumer choice." *Journal of Environmental Economics and Management*, 54 : 129–145.
- Kahneman, D., 2003. "Maps of Bounded Rationality : Psychology for Behavioral Economics." *The American Economic Review*, 93 : 1449–1475.
- Kahneman, D., J.L. Knetsch et R.H. Thaler, 1991. "Anomalies : The Endowment Effect, Loss Aversion, and Status Quo Bias." *The Journal of Economic Perspectives*, 5 : 193–206.
- Kaiser, F.G., 1998. "A General Measure of Ecological Behavior." *Journal of Applied Social Psychology*, 28 : 395–422.
- Kaiser, F.G. et A. Biel, 2000. "Assessing general ecological behavior : A cross-cultural comparison between Switzerland and Sweden." *European Journal of Psychological Assessment*, 16 : 44–52.
- Kaiser, F.G. et M. Wilson, 2000. "Assessing People's General Ecological Behavior : A Cross-Cultural Measure." *Journal of Applied Social Psychology*, 30 : 952–978.

- Kallbekken, S., S. Kroll et T.L. Cherry, 2011. "Do you not like Pigou, or do you not understand him ? Tax aversion and revenue recycling in the lab." *Journal of Environmental Economics and Management*, 62 : 53–64.
- Kennedy, K., M. Obeiter et N. Kaufman, 2015. "Putting a price on carbon : A handbook for U.S. policymakers." World Resources Institute Working Paper.
- Keser, C. et F. van Winden, 2000. "Conditional Cooperation and Voluntary Contributions to Public Goods." *The Scandinavian Journal of Economics*, 102 : 23–39.
- Kimball, M., 1990. "Precautionary saving in the small and in the large." *Econometrica*, 58 : 53–73.
- Konar, S. et M.A. Cohen, 1997. "Information As Regulation : The Effect of Community Right to Know Laws on Toxic Emissions." *Journal of Environmental Economics and Management*, 32 : 109–124.
- Kotchen, M.J. et M.R. Moore, 2008. "Conservation : From Voluntary Restraint to a Voluntary Price Premium." *Environmental and Resource Economics*, 40 : 195–215.
- Kraus, N., T. Malmfors et P. Slovic, 1992. "Intuitive toxicology : expert and lay judgments of chemical risks." *Risk Analysis*, 12 : 215–232.
- Kroll, S., T.L. Cherry et J.F. Shogren, 2007. "Voting, Punishment, and Public Goods." *Economic Inquiry*, 45 : 557–570.
- Kruglanski, A. W., I. Friedman et G. Zeevi, 1971. "The Effects of Extrinsic Incentive on Some Qualitative Aspects of Task Performance." *Journal of Personality*, 39 : 606–617.
- Kuhfuss, L., R. Préget, S. Thoyer, N. Hanley, P. Le Coent et M. Désolé, 2015. "Nudges, Social Norms and Permanence in Agri-Environmental Schemes." Discussion paper 2015-15.
- Kumar, A., S.K. Jain et N.K. Bansal, 2003. "Disseminating Energy-Efficient Technologies : A Case Study of Compact Fluorescent Lamps in India." *Energy Policy*, 31 : 259–272.
- Kurz, T., M. Linden et N. Sheedy, 2007. "Attitudinal and Community Influences on Participation in New Curbside Recycling Initiatives in Northern Ireland." *Environmental and Behavior*, 39 : 367–391.
- La Fabrique Écologique, 2016. *L'incitation aux comportements écologiques*. Note numéro 12.
- Lanoie, P., B. Laplante et M. Roy, 1998. "Can capital markets create incentives for pollution control ?" *Ecological Economics*, 26 : 31–41.

- Lattimore, P.K., J.R. Baker et A.D. Witte, 1992. "The influence of probability on risky choice." *Journal of Economic Behavior and Organization*, 17 : 377–400.
- Laury, S.K. et C.A. Holt, 2008. "Voluntary Provision of Public Goods : Experimental Results with Interior Nash Equilibria." In C.R. Plott et V.L. Smith (eds.). *Handbook of Experimental Economics Results*, 792–801, North Holland.
- Ledyard, J., 1995. "Public Goods : A Survey of Experimental Research." In J. H. Kagel and A. E. Roth (eds.). *The Handbook of Experimental Economics*, 111–194, Princeton, NJ : Princeton University Press.
- Lefebvre, M. et A. Stenger, 2016. "Long-lasting effects of temporary incentives in public good games." BETA Working Paper 2016-25.
- Lepenies, R. et M. Malecka, 2015. "The Institutional Consequences of Nudging - Nudges, Politics, and the Law" *Review of Philosophy and Psychology*, 6 : 427–437.
- Livet, P., 2012. "Normes sociales, normes morales, et modes de reconnaissance." *Les Sciences de l'éducation - Pour l'Ère nouvelle*, 45 : 51–66.
- Loewenstein, G., T. O'Donoghue et M. Rabin, 2003. "Projection bias in predicting future utility." *The Quarterly Journal of Economics*, 118 : 1209–1248.
- Löfgren, A., P. Martinsson, M. Hennlock et T. Sterner, 2012. "Are experienced people affected by a pre-set default option — Results from a field experiment." *Journal of Environmental Economics and Management*, 63 : 66–72.
- López-Pintado, D., 2013. "Public goods in directed networks." *Economics Letters*, 121 : 160–162.
- Madrian, B.C. et D.F. Shea, 2001. "The Power of Suggestion : Inertia in 401(k) Participation and savings Behavior" *The Quarterly Journal of Economics*, 116 : 1149–1187.
- Marks, M.B., D.E. Schansberg et R.T.A. Croson, 1999. "Using Suggested Contributions in Fundraising for Public Good. An Experimental Investigation of the Provision Point Mechanism." *Nonprofit Management and Leadership*, 9 : 369–384.
- Masclet, D., C. Noussair, S. Tucker et M.C. Villeval, 1980. "Monetary and Non-Monetary Punishment in the Voluntary Contribution Mechanism." *The American Economic Review*, 93 : 366–380.
- McCallum, W., K.F.D. Hughey et S.S. Rixecker, 2007. "Community Environmental Management in New Zealand : Exploring the Realities in the Metaphor." *Society and Natural Resources*, 20 : 323–336.

- Menezes, C., C. Geiss et T. Tressler, 1980. "Increasing downside risk." *The American Economic Review*, 70 : 921–932.
- Meyer, A., 2001. "What's in it for the customers? Successfully marketing green clothes" *Business Strategy and the Environment*, 10 : 317–330.
- Milinski, M., R.D. Sommerfeld, H-J. Krambeck, F.A. Reed et J. Marotzke, 2008. "The collective-risk social dilemma and the prevention of simulated dangerous climate change." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105 : 2291–2294.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2016. "Chiffres clés du climat - France et Monde." *Repères*, 60p.
- Mitchell, G., 2005. "Libertarian Paternalism is an Oxymoron." *Northwestern University Law Review*, 99 : 1245–1277.
- Montero, J.P., 2009. "Market Power in Pollution Permit Markets." *The Energy Journal*, 30 : 115–142.
- Montgomery, W.D., 1972. "Markets in licenses and efficient pollution control programs." *Journal of Economic Theory*, 5 : 395–418.
- Moseley, A. et G. Stoker, 2013. "Nudging citizens? Prospects and pitfalls confronting a new heuristic." *Resources, Conservation and Recycling*, 79 : 4–10.
- Nofsinger, J.R., 2014. *The Psychology of Investing*. Ed. Pearson (5th ed.).
- Nolan, J., W. Schultz, R.B. Cialdini, N. Goldstein et V. Griskevicius, 2008. "Normative Influence is Underdetected." *Personality and Social Psychology Bulletin*, 34 : 913–923.
- Noussair, C.N., C.R. Plott et R.G. Riezman, 1995. "An experimental investigation of the patterns of international trade." *The American Economic Review*, 85 : 462–491.
- Noussair, C.N. et S. Tucker, 2005. "Combining Monetary and Social Sanctions to Promote Cooperation." *Economic Inquiry*, 43 : 649–660.
- Organisation pour la Coopération Économique et le Développement (OCDE), 2012. "Behavioural Economics and Environmental Policy Design." Project Description, Empirical Policy Analysis Unit.
- O'Donoghue, T. et M. Rabin, 1999. "Doing it Now or Later." *The American Economic Review*, 89 : 103–124.
- Ouvrard, B., 2016. "Persistence of the effects of monetary and non-monetary incentives : an experimental approach." Mimeo.

- Ouvrard, B. et S. Spaeter, 2015. "Nudges As an Alternative to Economic Market-Based Instruments in Environmental Regulation Policies." In J.A Daniels (ed.) *Advances in Environmental Research*, 44 : 41–56, Nova Science Publishers.
- Ouvrard, B. et S. Spaeter, 2016. "Environmental incentives : nudge or tax ?" BETA Working Paper 2016-23.
- Ouvrard, B. et K. Boun My, 2016. "Nudge and Tax in an Environmental Public Goods Experiment : Does Environmental Sensitivity Matter ?" Mimeo.
- Ouvrard, B. et A. Stenger, 2016. "Nudges in Networks" Mimeo.
- Oxoby, R.J. et J. Spraggon, 2007. In T.L. Cherry, S. Kroll and J.F. Shogren (Eds.), *Experimental Methods, Environmental Economics*, Routledge Publishing.
- Palfrey, T.R. et J.E. Prisbrey, 1996. "Altruism, reputation and noise in linear public goods experiments." *Journal of Public Economics*, 61 : 409–427.
- Pichert, D. et K.V. Katsikopoulos, 2008. "Green defaults : Information presentation and pro-environmental behaviour." *Journal of Environmental Psychology*, 28 : 63–73.
- Pigou, A.C., 1920. *The Economics of Welfare*, London : Macmillan and Co.
- Plott, C.R., 1966. "Externalities and Corrective Taxes" *Economica*, 33 : 84–87.
- Préget, R., P. Nguyen-Van et M. Willinger, 2016. "Who are the voluntary leaders? Experimental evidence from a sequential contribution game." *Theory and Decision*, DOI 10.1007/s11238-016-9550-3.
- Prelec, D., 1998. "The Probability Weighting Function." *Econometrica*, 66 : 497–527.
- Quiggin, J., 1982. "A Theory of Anticipated Utility" *Journal of Economic Behavior and Organization*, 3 : 323–343.
- Rabin, M., 1998. "Psychology and Economics" *Journal of Economic Literature*, 36 : 11–46.
- Rebonato, R., 2014. "A Critical Assessment of Libertarian Paternalism." *Journal of Consumer Policy*, 37 : 357–396.
- Reddy, A.K.N., 1991. "Barriers to Improvements in Energy Efficiency." *Journal of Energy Policy*, 19 : 953–961.
- Rege, M. et K. Telle, 2004. "The impact of social approval and framing on cooperation in public good situations." *Journal of Public Economics*, 88 : 1625–1644.
- Reisch, L.A. et C.R. Sunstein, 2016. "Do Europeans like nudges ? " *Judgment and Decision Making*, 11 : 310–325.

- Rosenkranz, S. et U. Weitzel, 2012. "Network structure and strategic investments : An experimental analysis." *Games and Economic Behavior*, 75 : 898–920.
- Safire, W., 2008. "On Language." *New York Times Magazine*.
- Salanié F. et N. Treich, 2009. "Regulation in Happyville." *The Economic Journal*, 119 : 665–679.
- Samuelson, W., et R. Zeckhauser, 1988. "Status Quo Bias in Decision Making" *Journal of Risk and Uncertainty*, 1 : 7–59.
- Sanditov, B. et S. Arora, 2016. "Social network and private provision of public goods." *Journal of Evolutionary Economics*, 26 : 195–218.
- Scannell, L. et R. Gifford, 2010. "Defining place attachment : A tripartite organizing framework." *Journal of Environmental Psychology*, 30 : 1–10.
- Scheier, M.F. et C.S. Carver, 1985. "Optimism, Coping, and Health : Assessment and Implications of Generalized Outcome Expectancies." *Health Psychology*, 4 : 219–247.
- Scheier, M.F. et C.S. Carver, 1992. "Effects of Optimism on Psychological and Physical Well-Being : Theoretical Overview and Empirical Update." *Cognitive Therapy and Research*, 16 : 201–228.
- Scheier, M.F., C.S. Carver et M.W. Bridges, 1994. "Distinguishing Optimism From Neuroticism (and Trait Anxiety, Self-Mastery, and Self-Esteem) : A Reevaluation of the Life Orientation Test." *Journal of Personality and Social Psychology*, 67 : 1063–1078.
- Schnellenbach, J., 2012. "Nudges and norms : On the political economy of soft paternalism." *European Journal of Political Economy*, 28 : 266–277.
- Schubert, K. et P. Zagamé, 1998. *L'Environnement, une Nouvelle Dimension de l'Analyse Économique*, Vuibert.
- Schultz, W., J. Nolan, R.B. Cialdini, N. Goldstein et V. Griskevicius, 2007. "The Constructive, Destructive, and Reconstructive Power of Social Norms." *Psychological Science*, 18 : 429–434.
- Scotchmer, S., 2002. "Local public goods and clubs." In A. J. Auerbach and M. Feldstein (eds.). *The Handbook of Public Economics*, 4, 1997–2042, Elsevier.
- Sefton, M. et R. Steinberg, 1996. "Reward structures in public good experiments." *Journal of Public Economics*, 61 : 263–287.
- Segerson, K., 1988. "Uncertainty and incentives in nonpoint pollution control." *Journal of Environmental Economics and Management*, 15 : 87–98.

- Siegrist, M. et G. Cvetkovich, 2000. "Perception of Hazards : The Role of Social Trust and Knowledge." *Risk Analysis*, 20 : 713–720.
- Sinclair-Desagné, B. et E. Gozlan, 2003. "A theory of environmental risk disclosure.", *Journal of Environmental Economics and Management*, 45 : 377–393.
- Singler, E., 2015a. *Green Nudge : Réussir à changer les comportements pour sauver la planète*. Ed. Pearson.
- Singler, E., 2015b. *Nudge marketing : Comment changer efficacement les comportements ?* Ed. Pearson.
- Slovic, P., 1987. "Perception of risk." *Science*, 236 : 280–285.
- Slovic, P., 2003. "Going Beyond the Red Book : The Sociopolitics of Risk." *Human and Ecological Risk Assessment*, 9 : 1–10.
- Slovic, P., B. Fischhoff et S. Lichtenstein, 1980. "Facts and fears : Understanding perceived risk." In R.C. Schwing et W.A. Albers Jr. (eds.). *Societal risk assessment*, 181–216, Springer Science.
- Sonnemans, J., A. Schram et T. Offerman, 1999. "Strategic behavior in public good games : when partners drift apart." *Economics Letters*, 15 : 35–41.
- Spraggon J., 2002. "Exogeneous targeting instruments as a solution to group moral hazards." *Journal of Public Economics*, 84 : 427–456.
- Sunstein, C.R., 2013. "The Storrs Lectures : Behavioral Economics and Paternalism." *Yale Law Journal*, 122 : 1826–1899.
- Sunstein, C.R., 2016. "Fifty Shades of Manipulation." *Journal of Marketing Behavior*, 1 : 213–244.
- Sunstein, C.R. et L.A. Reisch, 2014. "Automatically Green : Behavioral Economics and Environmental Protection." *Harvard Environmental Law Review*, 38 : 127–158.
- Tallon, J.M., 2006. "Incertitude Stratégique et Sélection d'Équilibre : Deux Applications." *Revue d'Économie Industrielle*, 114 : 105–118.
- Tavoni, A., A. Dannenberg, G. Kallis et A. Löschel, 2008. "Inequality, communication, and the avoidance of disastrous climate change in a public goods game." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108 : 11825–11829.
- Thaler, R. H., 1980. "Toward a positive theory of consumer choice." *Journal of Economic Behavior and Organization*, 1 : 39–60.

- Thaler, R. H. et Sustein C. R., 2003. "Libertarian Paternalism." *The American Economic Review*, 93 : 175–179.
- Thaler, R. H. et Sustein C. R., 2009. *Nudge : Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness*. Penguin Books.
- Thøgersen, J., P. Haugaard et A. Olesen, 2010. "Consumers responses to ecolabels." *European Journal of Marketing*, 44 : 1787–1810.
- Thoyer, S., R. Préget, L. Kuhfuss, P. Le Coënt, F. Gautier-Pelissier, J. Subervie, L. Ibanez, M. Désolé et M. Tidball, 2015. "Comportement et usage des pesticides : pour des contrats environnementaux innovants (Coud’pouce)", rapport final, programme Pesticides, APR 2011, 53 p.
- Tiebout, C.M., 1956. "A Pure Theory of Local Expenditures." *The Journal of Political Economy*, 64 : 416–424.
- Tietenberg, T., 1998. "Disclosure Strategies for Pollution Control." *Environmental and Resource Economics*, 11 : 587–602.
- Tversky, A. et D. Kahneman, 1974. "Judgement under Uncertainty : Heuristics and Biases." *Science*, 185 : 1124–1131.
- Vallgarda, S., 2012. "Nudge - A new and better way to improve health ?" *Health Policy*, 104 : 200–203.
- van Aaken, A., 2015. "Judge the Nudge : In Search of the Legal Limits of Paternalistic Nudging in the EU." In A. Alemanno and A.L. Sibony (Eds.) *Nudge and the Law, a European Perspective* (pp.83–112) , Bloomsbury.
- Van Huyck, J.B., R.C. Battalio et R.O. Beil, 1990. "Tacit Coordination Games, Strategic Uncertainty, and Coordination Failure." *The American Economic Review*, 80 : 234–248.
- Videras, J., A.L. Owen, E. Conover et S. Wu, 2012. "The influence of social relationships on pro-environment behaviors." *Journal of Environmental Economics and Management*, 63 : 35–50.
- Viscusi, W.K. et J.T. Hamilton, 1999. "Are Risk Regulators Rational? Evidence from Hazardous Waste Cleanup Decisions. " *The American Economic Review*, 89 : 1010–1027.
- Wachinger, G., O. Renn, C. Begg et C. Kuhlicke, 2013. "The Risk Perception Paradox—Implications for Governance and Communication of Natural Hazards." *Risk Analysis*, 33 : 1049–1065.

- Weimann, J., 1994. "Individual behaviour in a free riding experiment." *Journal of Public Economics*, 54 : 185–200.
- Weinstein, N.D., 1980. "Unrealistic optimism about future life events." *Journal of Personality and Social Psychology*, 39 : 806–820.
- Weinstein, N.D., M.L. Klotz et P.M. Sandman, 1988. "Optimistic biases in public perceptions of the risk from radon." *American Journal of Public Health*, 78 : 796–800.
- Weitzman, M.L., 1974. "Prices vs. Quantities." *Review of Economic Studies*, 41 : 477–491.
- Wilkinson, T.M, 2013. "Nudging and Manipulation." *Political Studies*, 61 : 341–355.
- Willinger, M., N. Ammar et A. Ennasri, 2014. "Performance of the ambient tax : does the nature of the damage matter ?" *Environmental and Resource Economics*, 59 : 479–502.
- Wooldridge, J.M., 2005. "Simple Solutions to the Initial Conditions Problem in Dynamic, Nonlinear Panel Data Models with Unobserved Heterogeneity." *Journal of Applied Econometrics*, 20 : 39–54.
- Wu, G. et R. Gonzalez, 1999. "On the shape of the Probability Weighting Function." *Cognitive Psychology*, 38 : 129–166.
- Xepapadeas, A.P., 1991. "Environmental policy under imperfect information : Incentives and moral hazard" *Journal of Environmental Economics and Management*, 20 : 113–126.
- Zenger, M., C. Finck, C. Zanon, W. Jimenez, S. Singer et A. Hinz, 2013. "Evaluation of the Latin American version of the Life Orientation Test-Revised." *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 13 : 243–252.
- Zizzo, D.J., 2010. "Experimenter demand effects in economic experiments." *Experimental Economics*, 13 : 75–98.

Les *nudges* dans la régulation environnementale : alternative ou complément aux instruments monétaires ?

Résumé

Dans cette thèse, nous proposons une modélisation de la réaction à un *nudge* (basé sur l'annonce de la contribution socialement optimale), dans le cadre de la régulation environnementale. Nous comparons l'efficacité de cet instrument à celle d'une taxe. Nous testons les prédictions théoriques obtenues à l'aide d'une expérience en laboratoire. Nous montrons que la réaction à notre *nudge* dépend de la sensibilité environnementale des sujets, contrairement à la taxe.

Dans une autre expérience, nous testons la persistance des effets de ces instruments sur le long terme. Nous considérons également la mise en place d'un instrument mixte (taxe et *nudge*), afin de faire prendre conscience aux sujets (à l'aide du *nudge*) qu'ils sont taxés, car leur comportement n'est pas optimal.

Dans le dernier chapitre, nous étendons l'analyse précédente en considérant des agents arrangés dans des réseaux fixes, et nous analysons les conséquences de la mise en place de notre *nudge* sur les équilibres de contribution.

Mots-clés : qualité environnementale, taxe, *nudge*, expérience de bien public, réseaux.

Résumé en anglais

In this thesis, we propose to model individuals' reaction to a nudge, based on the announcement of the socially optimal contribution. We want to compare the efficiency of this incentive, with the efficiency of a tax to improve environmental quality. We test the theoretical predictions we obtained in a laboratory experiment. We show that the reaction to our nudge depends on subjects' environmental sensitivity, contrary to the tax.

In a second experiment, we test the existence of persistent effects of these two instruments in the long term. We also consider a mix tool (tax and nudge), to raise subjects' awareness (with the nudge) that they are taxed because their behaviour is not optimal.

In the last chapter, we extend our analysis considering agents arranged in fixed networks. We analyze how the equilibria are shaped under the implementation of our nudge.

Keywords : environmental quality, tax, nudge, public good experiment, networks.