

UFR Sciences et Techniques
« **Master Mathématiques Appliquées** »
Université du Maine



Etude économique sur les coûts et les bénéfices environnementaux associés au domaine de l'eau

Rapport de stage réalisé par
Cindy REMY

Sous la direction de

Mme Sophie NICOLAÏ
Economiste
Agence de l'Eau Rhin-Meuse

Et

M. Samir Ben Hariz
Maître de conférence
Université du Maine

Année universitaire 2006/2007

UFR Sciences et Techniques
« **Master Mathématiques Appliquées** »
Université du Maine



Etude économique sur les coûts et les bénéfices environnementaux associés au domaine de l'eau

Rapport de stage réalisé par
Cindy REMY

Sous la direction de

Mme Sophie NICOLAÏ
Economiste
Agence de l'Eau Rhin-Meuse

Et

M. Samir Ben Hariz
Maître de conférence
Université du Maine

Année universitaire 2006/2007

« L'eau, si on sait l'entendre, si on en apprend la langue, ouvrira toute la connaissance
des êtres et des choses »

Yves Thériault, Extrait de Le ru d'Ikoué

« S'il est plus contraignant de relever de grands défis que de moindres, les probabilités
de réussite sont en revanche plus grandes »

André Pronovost, Extrait de Les marins d'eau douce

« Océan. Masse d'eau occupant à peu près les deux tiers d'un monde destiné à l'homme
- lequel est dépourvu de branchies »

Ambrose Bierce, Extrait de Le Dictionnaire du diable

REMERCIEMENTS

Je remercie tout particulièrement Madame Sophie Nicolai, économiste à l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, pour m'avoir accueillie en tant que stagiaire, mais également pour m'avoir toujours beaucoup soutenue et encouragée dans mes travaux.

Je tiens également à remercier Alan Zakar et Adeline Blard, qui m'ont beaucoup apporté de par leur aide et leur sympathie, et aussi l'ensemble des personnes qui par leurs conseils, leurs remarques et leur soutien ont contribué à l'aboutissement de ce rapport.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	2
SOMMAIRE	2
INTRODUCTION.....	6
PARTIE 1 LES AGENCES DE L'EAU	10
1. Généralités.....	10
1.1. Présentation	10
1.2. Objectif.....	12
2. L'Agence de l'eau Rhin-Meuse	12
2.1. Caractéristiques du bassin Rhin-Meuse	12
2.2. L'AERM.....	14
2.3. Le service SEPA (Service Economie et Appui au Programme)	14
3. La Directive Cadre Européenne	15
3.1. Les principes clés	15
3.2. L'analyse économique dans la DCE	18
3.3. Le 9ème programme.....	19
PARTIE 2 ANALYSE COÛTS-BÉNÉFICES	22
1. L'analyse Coûts-Bénéfices dans la théorie économique.....	24
1.1. La théorie néo-classique.....	24
1.2. Consentement à Payer et théorie du consommateur.....	24
2. L'Analyse Coûts-Bénéfices comme outil économique d'aide à la décision	26
2.1. L'analyse des coûts	26
2.2. L'analyse des bénéfices.....	27
3. Identification des bénéfices.....	27
3.1. Les différents types de bénéfices	27
3.2. Les bénéfices de nature marchande.....	28
3.3. Les bénéfices non marchands.....	29
3.4. Peut-on ajouter les bénéfices marchands et non marchands ?	32
PARTIE 3 AGRÉGATION DES DONNÉES : VALEURS-GUIDES ET ÉQUATIONS DE TRANSFERT	35
1. Problématique.....	35
2. Les méthodologies mises en œuvre.....	39
2.1. Méthodologie de transfert développée par la cellule Economie et Prospective de l'AERM.....	39
2.2. Données disponibles pour le transfert de valeurs-guides : le logiciel de synthèse coûts-bénéfices (D4E)	44
PARTIE 4 L'ENQUÊTE.....	52
1. Quel mode d'enquête choisir ?.....	52
2. Echantillonnage.....	53
2.1. Procédure d'échantillonnage	54
2.2. Taille de l'échantillon.....	67
2.3. La méthode d'échantillonnage.....	73
2.4. Préparation des données et redressement d'échantillon.....	84
2.5. Vérification des données	92
2.6. Estimation à partir d'un échantillon	95
3. Questionnaire	123
4. Outil de saisie sous Access.....	123
5. Outil sous Excel d'analyse des données statistiques relatives aux données socio-économiques de l'échantillon.....	125

6.	Traitement statistique et économétrique	126
6.1.	Estimation des paramètres de tendance centrale et de dispersion	127
6.2.	Statistique exploratoire.....	128
6.3.	Analyse des données	131
6.4.	Régressions.....	132
	CONCLUSION	138
	BIBLIOGRAPHIE et SITOGRAFIE	141
	GLOSSAIRE	144
	ANNEXES	149
	ANNEXE 1 Calendrier général de la DCE et son application en France	149
	ANNEXE 2 Extraits des éléments économiques présents dans la Directive Cadre Européenne.....	150
	ANNEXE 3 ARTICLE 83 - loi du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques (extrait) - Orientations prioritaires des programmes pluriannuels d'intervention des agences de l'eau 2007 à 2012	152
	ANNEXE 4 Loi des grands nombres	153
	ANNEXE 5 Théorème central limite	154
	ANNEXE 6 Les principales méthodes de valorisation	155
1.	La méthode des coûts de transport	157
1.1.	Brève présentation des fondements du modèle	158
1.2.	Définir le cadre de l'étude	160
1.3.	Décider du traitement des visites à buts multiples	161
1.4.	Mesurer les coûts de transport.....	162
2.	La méthode des prix hédoniques.....	167
3.	La méthode d'évaluation contingente	168
3.1.	Identifier le changement à valoriser	169
3.2.	Déterminer la population concernée	171
3.3.	Approche économique.....	173
3.4.	Limites de l'évaluation contingente	175
4.	Quelle méthode choisir ?.....	179
5.	Les autres méthodes	184
5.1.	Méthodes d'évaluation par les coûts (éviter, restauration, protection).....	184
5.2.	Comparaison des méthodes d'estimation de la demande et des méthodes de coûts d'éviter.....	188
	ANNEXE 7 Quel mode d'enquête choisir ?	189
1.	Choisir le mode d'enquête.....	189
2.	L'enquête par courrier.....	191
2.1.	Avantages	191
2.2.	Inconvénients	192
3.	L'enquête en face-à-face	193
3.1.	Avantages	193
3.2.	Inconvénients	193
4.	L'enquête téléphonique.....	194
4.1.	Avantages	194
4.2.	Inconvénients	194
5.	Bilan	194
	ANNEXE 8 Questionnaires	196
1.	La méthode des coûts de transports.....	196
1.1.	Les déterminants de la fréquentation du site	196
1.2.	La structure du questionnaire	196

2.	La méthode d'évaluation contingente	197
2.1.	La description du bien valorisé	199
2.2.	Description de la façon dont l'amélioration de la qualité environnementale est obtenue	201
2.3.	Description des conditions du paiement.....	201
2.4.	La question de valorisation	203
	ANNEXE 9 Questionnaires proposés	212
	ANNEXE 10 Les modèles économétriques	213
1.	La méthode des coûts de transport	213
1.1.	Estimer le modèle.....	213
1.2.	Calculer la valeur d'usage	215
1.3.	Les modèles zonaux	216
2.	La méthode des prix hédoniques.....	218
2.1.	Quelles sont les variables explicatives à inclure dans le modèle ?	218
2.2.	Comment estimer un modèle hédonique ?	220
2.3.	Les modèles économétriques	222
2.4.	Comment calculer les variations de bien-être ?	224
2.5.	Choix de la forme fonctionnelle.....	225
2.6.	Quelques problèmes économétriques.....	228
2.7.	Annexe économétrique.....	229
3.	La méthode d'évaluation contingente	235
3.1.	Analyser les données	235
3.2.	Analyse des questions fermées simples	236
3.3.	Analyse des doubles questions fermées	251
3.4.	Analyse des réponses à la question ouverte	253
3.5.	Analyse des réponses pour une carte de paiement	263
3.6.	Analyse des réponses avec un système d'enchères	264
4.	Modèles binaires Logit et Probit	264
4.1.	Le modèle Probit	265
4.2.	Le modèle Logit	267
4.3.	Comparaison entre le Probit et le Logit	269
	ANNEXE 11 Programme SAS	271
	TABLE DES MATIÈRES	275
	RESUME.....	281

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau est un élément qui répond aux besoins vitaux de l'homme (consommation, production agricole, production énergétique, transport, tourisme, ...). C'est donc dans le but de préserver cette ressource pour les générations futures (surexploitation, pollution, prix) que la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000 a fixé un programme avec des objectifs ambitieux afin de conserver et de gérer au mieux cette ressource.

La Directive Cadre sur l'Eau établit donc un cadre réglementaire pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Un calendrier a été établi afin que le bon état écologique des eaux superficielles et souterraines soit atteint en 2015. Cette directive cadre reconduit les principes de gestion et de planification définis par les lois de 1964 et de 1992, mais apporte des éléments nouveaux tels que l'état des lieux exhaustif, l'obligation de résultats, l'obligation de moyens et la participation du public.

Dans ce contexte, il est nécessaire de bien évaluer les bénéfices et les coûts environnementaux dans le domaine de l'eau, afin de bien orienter les politiques publiques ou les projets d'infrastructure.

L'Analyse Coûts-Bénéfices est un outil économique qui permet l'évaluation de ce type de projet en traduisant en termes monétaires les différents impacts qu'il génère. La DCE inclut ainsi dans son processus la réalisation d'une Analyse Coûts-Bénéfices sur les territoires pertinents pour la restauration des milieux que sont les « masses d'eau ». Celle-ci pourra ainsi justifier une dérogation à l'objectif de bon état des eaux en 2015, dès lors que les acteurs jugeraient ces mesures exagérément coûteuses, au regard des bénéfices environnementaux.

Les bénéfices en question sont de plusieurs ordres : les coûts évités par la mise en place des mesures de restauration des milieux aquatiques, leur impact sur les activités économiques et enfin la valeur patrimoniale de la masse d'eau qui fait l'objet de mesures de restauration et/ou d'entretien.

Il est utile de distinguer les bénéfices marchands des bénéfices non-marchands. Les bénéfices marchands sont chiffrés au sein des marchés déjà existants, comme le tourisme vert ou les coûts de fonctionnement des stations d'épuration. Les avantages non marchands sont plus difficiles à appréhender en raison de l'absence de marché et par conséquent de prix.

Il existe malgré tout des procédures permettant de pallier cette absence d'indicateurs. L'une d'entre elles est la méthode d'évaluation contingente. Elle consiste à attribuer une valeur économique à des biens non marchands (comme un lac par exemple). Cette valeur est estimée à partir des consentements à payer des habitants concernés par les mesures de sauvegarde de l'environnement. Il est ainsi possible d'évaluer les bénéfices engendrés par l'amélioration du milieu naturel.

Dans la pratique, l'estimation de ce consentement advient au travers d'un sondage effectué dans les formes habituellement requises : identification de la population concernée, constitution d'un échantillon représentatif, élaboration d'un questionnaire adapté accompagné d'une note explicative du contexte de l'étude. Notons que l'analyse contingente ne constitue qu'une manière de conceptualiser les problèmes relatifs à l'évaluation environnementale. Elle possède des avantages (mise en oeuvre relativement aisée), mais aussi des risques, découlant principalement du scénario hypothétique dans lequel sont placés les agents. Le consentement à payer doit ainsi être utilisé avec circonspection.

L'objectif de ce présent rapport est donc de construire toutes les étapes permettant la réalisation d'une Analyse Coûts-Bénéfices qui pourrait s'appliquer à un contexte général. 634 masses d'eau composent en effet le bassin Rhin-Meuse. Il est donc peu envisageable de mener une étude spécifique pour chacune d'entre elles, du fait notamment qu'une importante proportion nécessitera la réalisation de nouvelles mesures pour accéder au bon état.

Dans un premier temps, ce document présentera le rôle des agences de l'eau, ainsi que leurs domaines d'applications et de compétences. Cette première partie mettra également l'accent sur la mise en oeuvre par les agences de l'eau du programme instauré par la DCE et la place de l'analyse économique dans cette directive. Dans un second temps, la présentation de l'Analyse Coûts-Bénéfices sera développée. Elle expliquera ainsi les principales démarches nécessaires à sa mise en place : il convient en premier lieu de s'appuyer sur les études de monétarisation qui ont déjà été menées en France. Celles-ci aboutissent à des valeurs de

référence qui pourront être exploitables. En effet, il s'agira de transférer les valeurs d'un site vers un autre site. La cellule Économie et Prospective de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse a pour ce faire développé une équation de transfert de ces valeurs-guides. En second lieu, l'objectif est d'agrèger ces valeurs à l'échelle de la masse d'eau. C'est la présentation de ces méthodes qui fera l'objet d'une troisième partie. La quatrième et dernière partie de ce document développera la méthodologie liée à la réalisation d'une enquête et présentera en parallèle les outils créés au cours de ce stage. Ces outils concernent la détermination de l'échantillon représentatif nécessaire à la bonne réussite de l'enquête, où seront élaborées les questions relatives à la procédure et la méthode d'échantillonnage, la taille de l'échantillon et le redressement des données, dont la finalité est d'estimer au mieux le consentement à payer de l'échantillon. Ils concernent également la saisie des données issues de cette même enquête, l'analyse des données socio-économiques des personnes enquêtées et la réalisation un modèle économétrique sous SAS afin de déterminer les facteurs explicatifs du consentement à payer de l'échantillon dans le but ultime de déterminer les bénéfices environnementaux issus d'une amélioration de l'état des eaux et de faciliter le transfert de valeur à l'occasion d'études ultérieures.

PARTIE 1
LES AGENCES DE L'EAU

1. Généralités

1.1. Présentation

Dans chaque bassin ou groupement de bassins, une **agence de l'eau**, établissement public administratif doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière (la loi en France veut que « l'eau paie l'eau »), est chargée de faciliter les diverses actions d'intérêt commun au bassin ou au groupe de bassins.

Elles sont au nombre de six : **Adour-Garonne, Artois-Picardie, Loire-Bretagne, Rhin-Meuse, Rhône-Méditerranée et Corse, Seine-Normandie** et s'articulent autour des cinq grands fleuves français (Rhône, Rhin, Loire, Seine et Garonne) et de la Somme.

Elles sont **sous tutelle de l'Etat** au travers de la **Direction de l'Eau** du **Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD)**.

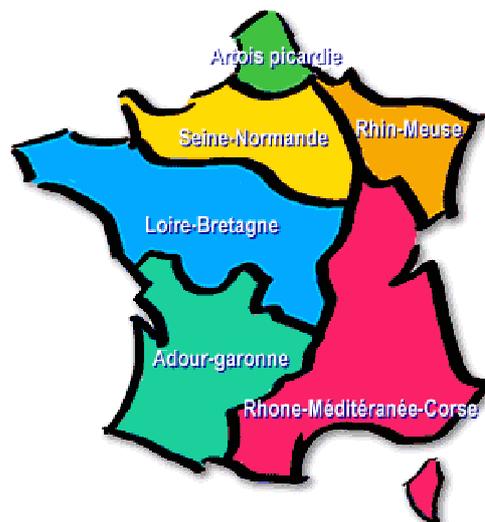


Figure 1 : Les agences de l'eau



Les agences de l'eau, créées en 1964, jouent un rôle clé dans le développement de la politique de l'eau en France.

Chaque agence est administrée par un **conseil d'administration** composé :

- D'un président nommé par décret
- De représentants des régions et des collectivités locales situées en tout ou partie dans le bassin
- De représentants des usagers
- De représentants de l'Etat et, le cas échéant, des personnalités qualifiées
- D'un représentant du personnel de l'agence

L'agence contribue, notamment par voie de fonds de concours au budget de l'Etat, à **l'exécution d'études**, de **recherches** et d'**ouvrages d'intérêt commun** aux bassins et à la couverture de ses dépenses de fonctionnement.

Elle **attribue des subventions** et des avances remboursables aux personnes publiques et privées pour l'exécution de travaux d'intérêt commun au bassin ou au groupement de bassins directement effectués par elles, dans la mesure où ces travaux sont de nature à réduire les charges financières de l'agence.

Elle établit et **perçoit des redevances** pour les prélèvements d'eau et pour la détérioration de la qualité des milieux. Les redevances sont prélevées auprès des différents usagers de l'eau pour la pollution que ceux-ci occasionnent ou pour les prélèvements d'eau qu'ils effectuent, c'est le principe du « pollueur – payeur ». Ces fonds sont ensuite **redistribués sous forme d'aides financières** (prêts, subventions) aux collectivités locales, aux industriels et aux agriculteurs pour la réalisation de travaux d'intérêts communs :

- de lutte contre la pollution (construction, extension ou amélioration des stations d'épuration et des réseaux de collecte des eaux usées, mise en place de procédés de production plus propres ...)
- de développement et de gestion des ressources en eaux superficielles et souterraines de restauration et d'entretien des milieux aquatiques



1.2. Objectif

Son **objectif** est de faciliter les diverses actions d'intérêts communs dans chaque bassin hydrographique telles que :

- La préservation et l'amélioration de la ressource en eau
- La lutte contre la pollution
- La connaissance des milieux

Elle **informe** également le public sur l'eau.

2. L'Agence de l'eau Rhin-Meuse

2.1. Caractéristiques du bassin Rhin-Meuse

Le bassin hydrographique Rhin-Meuse couvre trois régions :

- **Lorraine** (en partie)
- Alsace
- Champagne-Ardenne (en partie)

Et huit départements :

- Haut-Rhin
- Bas-Rhin
- Meurthe-et-Moselle
- Meuse (60% de la superficie)
- Moselle
- Vosges (81% de la superficie)
- Ardennes (49% de la superficie)
- Haute-Marne (8% de la superficie)



Le bassin est caractérisé par :

- 4,2 millions d'habitants
- 3267 communes
- 31 500 km² de superficie, soit 5,7% du territoire national métropolitain
- 1 200 000 ha de forêts
- Une hydrographie composée des bassins **versants** du Rhin, de la Moselle (avec la **Sarre**) et de la Meuse
- 7 100 km de longueur totale des cours d'eau (ayant un objectif de qualité) dont : 1 900 km de grands fleuves et rivières et 5 200 km de petits cours d'eau
- Un débit moyen annuel des cours d'eau à la sortie du bassin :
 - La Meuse : 190 m³/sec
 - **La Moselle** : 160 m³/sec
 - **La Sarre et de la Nied** : 47 m³/sec
 - Affluents alsaciens **du Rhin** (Ill, Sauer, Lauter) : 59 m³/sec
- **Le Rhin**, quant à lui, transite à la frontière franco-allemande un débit moyen annuel de 1 240 m³/sec
- 2 milliards de m³ de renouvellement annuel en eaux souterraines, dont 1,3 Milliard pour la nappe d'Alsace, la plus importante d'Europe



Source : <http://www.eau-rhin-meuse.fr>

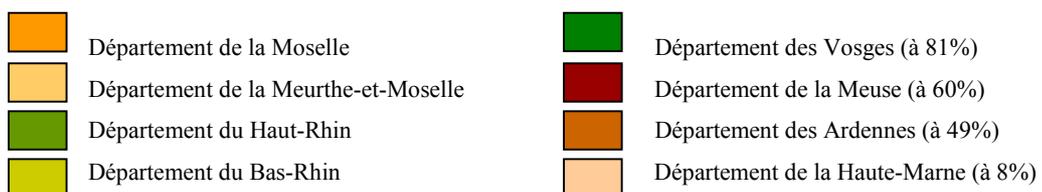


Figure 2 : Le bassin Rhin-Meuse

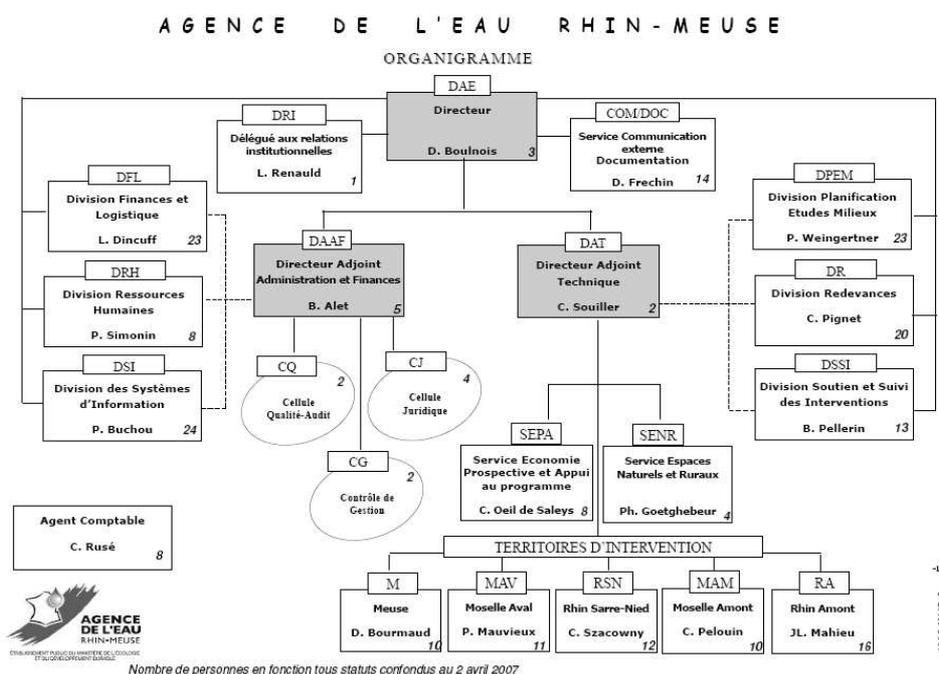


2.2. L'AERM

L'agence emploie **225 personnes**.

Les domaines d'activités de l'agence de l'eau nécessitent l'emploi de personnels qualifiés d'où un niveau d'études élevé : 54 bac +5, 9 doctorats.

Il existe une quarantaine d'emplois type à l'agence de l'eau. Les métiers les plus rencontrés sont chargés d'affaires ou d'études (35) et assistante de gestion (23). Sa présence sur le terrain facilite la rencontre des collectivités locales, des industriels, des agriculteurs, des associations...



Source : AERM

Figure 3 : L'organigramme de l'agence

2.3. Le service SEPA (Service Economie et Appui au Programme)

Ses objectifs sont les suivants :

- la mise en œuvre du 9^{ème} programme
- la mise en cohérence et le renforcement des missions relatives à l'économie, la prospective, l'appui au programme, le contrôle interne et les démarches « qualité »
- la participation à l'élaboration des programmes de mesures et des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)



3. La Directive Cadre Européenne

3.1. Les principes clés

La directive 2000/60/CE publiée au Journal Officiel des Communautés européennes le 22 décembre 2000 complète les directives déjà en vigueur dans le domaine de l'eau, établissant un cadre pour une **politique communautaire**. Son objectif est le **bon état des eaux pour 2015**. Son texte présente un calendrier détaillé (*présenté en Annexe 1*) des documents à produire et des actions à mener. Le cycle temporel suivant résume les différentes phases de la mise en oeuvre de la DCE avec les dates correspondantes :

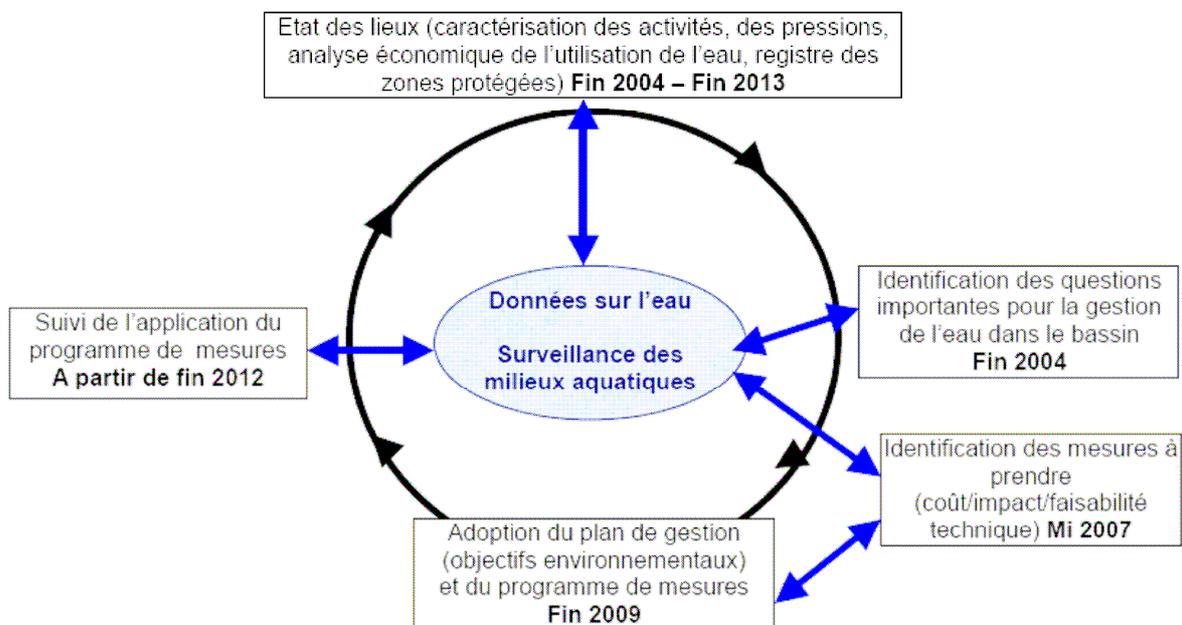


Figure 4 : Les étapes de la mise en oeuvre de la DCE

Source : D4E

La politique européenne se caractérise par une double logique. D'un côté, une approche systématique de **lutte contre le déversement de substances dangereuses ou polluantes dans l'environnement aquatique**. De l'autre, une approche plus ciblée, définissant des **normes de qualité** sur des zones spécifiques ou pour des usages particuliers. Ceci a pour conséquence que les objectifs, les **normes** et les **valeurs-guides** varient d'un milieu et d'un usage à l'autre, rendant l'édifice réglementaire européen complexe, peu lisible et, de ce fait, peu mobilisateur. Face à cette situation et à l'importance des engagements financiers engendrés par les deux directives de 1991 (*Eaux Résiduaires Urbaines* et *Nitrates*), les



responsables nationaux des politiques de l'eau ont souhaité une réflexion commune sur l'harmonisation des directives. Elle a abouti à la **directive** du **23 octobre 2000**, qui entend proposer à la politique communautaire de l'eau et aux Etats membres « *un cadre législatif, transparent, efficace et cohérent* ».

La directive cadre part du même constat que la loi française sur l'eau de 1992 : « *l'eau n'est pas un bien marchand comme les autres, mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel* ». Elle réorganise en conséquence la politique de l'eau avec pour objectif la **protection à long terme de l'environnement aquatique et des ressources en eau**. La réalisation de cet objectif doit notamment permettre d'assurer **l'approvisionnement de la population en eau potable** et de répondre aux **besoins économiques**. De là, des enjeux à la fois simples et très ambitieux : mettre un terme à la détérioration des ressources en eau, réduire les rejets de substances et atteindre un « **bon état** » des eaux et des milieux aquatiques. Le préambule de la directive propose aux Etats membres plusieurs principes clés :

- La nécessité d'une politique intégrée dans le domaine de l'eau
- Les principes de **précaution** et d'**action préventive**, ainsi que le principe de **correction** par priorité à la source des atteintes à l'environnement
- Le principe du **pollueur - payeur** et le principe de la **récupération des coûts** liés à l'utilisation de l'eau, « y compris les coûts pour l'environnement et les ressources »
- Des **prises de décisions** « à un niveau aussi proche que possible des lieux d'utilisation ou de dégradation de l'eau »
- Une approche par bassin hydrographique
- Une « approche combinée visant la **réduction de la pollution** à la source par la fixation de valeurs limites d'émission et de normes de qualité environnementale »
- La participation du public comme condition du succès

La directive propose une démarche globale, avec un calendrier précis, comme énoncé précédemment, des méthodes et une construction progressive des outils. Elle prolonge la logique de planification (plan de gestion) par une politique de programmation (programme de mesures) à l'échelle du grand bassin versant et constitue, à ce titre, **un véritable outil de pilotage de la politique de l'eau**.



L'**état des lieux des districts Rhin et Meuse**, première étape de mise en œuvre de la directive cadre s'est achevé début 2005. Photographie instantanée de l'état des cours d'eau et eaux souterraines du bassin, ce document sert aujourd'hui de point de départ pour la mise en œuvre de l'étape suivante : l'élaboration des **programmes de mesure** et du **SDAGE**. Il s'agit en fait de lister puis planifier les actions ayant le meilleur impact sur le milieu naturel afin d'atteindre en 2015 le bon état écologique des eaux au meilleur coût. Elles concernent les industries, les PME-PMI, l'agriculture, les artisans, les collectivités et l'état physique des cours d'eau. **Les actions identifiées comme les plus pertinentes ont permis de définir les priorités du 9ème programme de l'agence de l'eau.**

La date de **2015** constitue une date limite théorique. Dans les faits, des dérogations sont possibles, mais ne peuvent être obtenues que sur argumentation motivée. **Deux reports de six ans** sont prévus par la DCE, pour permettre d'atteindre l'objectif de bon état des eaux.

Parallèlement, cette démarche doit intégrer de nouvelles obligations:

- **l'obligation de transparence et de participation des différents acteurs.**
Ainsi, le grand public devra être consulté avant l'approbation des différents programmes de travail, de mesures, et plans de gestion
- l'intégration des aspects économiques et des politiques d'aménagement du territoire: **l'analyse économique** doit constituer un outil d'aide à la décision lors du choix des actions à retenir dans le programme de mesures. L'analyse économique permettra en outre de justifier les éventuelles dérogations demandées (reports de délais, définition d'objectifs moins stricts...)



3.2. L'analyse économique dans la DCE

L'analyse économique est présente dans la DCE sous plusieurs aspects :

- La **caractérisation économique** (*article 5 de la DCE*)
- Le **scénario tendanciel à l'horizon 2015**
- Le calcul de la **récupération des coûts des services liés à l'utilisation de l'eau**, qui correspond à l'*article 9* de la DCE (présenté en **Annexe2**) : cela consiste à évaluer au niveau du grand bassin hydrographique et pour chaque catégorie de service lié à l'utilisation de l'eau (comme les services d'eau potable et d'assainissement, l'épuration des effluents industriels, le traitement des effluents d'élevage pour les agriculteurs) le rapport entre les recettes et les dépenses, de manière globale et par secteur économique (en intégrant les coûts pour l'environnement).
- « Apprécier, sur la base de leur coût potentiel, la combinaison la plus efficace au moindre coût des mesures relatives aux utilisations de l'eau qu'il y a lieu d'inclure dans le programme de mesures » : **coût - efficacité**
- La réalisation d'une analyse **coûts - bénéfiques** du projet d'atteinte du bon état sur les masses d'eau. Des objectifs adaptés (reports de délais ou objectifs moins stricts) sont en effet possibles, notamment dans le cas où « l'achèvement des améliorations nécessaires dans les délais indiqués serait exagérément coûteux »



3.3. Le 9^{ème} programme

Les Agences de l'eau agissent au travers de **programmes pluriannuels d'intervention**¹, financés par les redevances, elles-mêmes redistribuées sous forme d'aide.

Les **objectifs** du 9^{ème} programme sont les suivants :

■ **Eau et Pollution**

Lutter contre les pollutions de toutes natures et toutes origines en donnant la priorité à la résorption des pollutions classiques et la lutte contre les pollutions diffuses et toxiques.

■ **Eau et Santé**

Prendre en compte le plan national santé environnement pour l'eau potable.

■ **Eau et Nature**

Accroître la prise en compte la biodiversité et son effet bénéfique pour la qualité des eaux, retrouver les équilibres écologiques fondamentaux.

■ **Eau et Rareté**

Prendre des mesures relatives au plan rareté de l'eau.

■ **Eau et Gouvernance**

Favoriser la gestion concertée et participative des ressources en eau.

Intégrer le contexte international du bassin Rhin-Meuse et le volet humanitaire.

■ **Eau et Aménagement du territoire**

Privilégier les solutions durables en adéquation avec la protection et la restauration des milieux.

L'agence de l'eau inscrit son action dans une logique de résultats, d'où des **interventions ciblées en fonction de la dégradation des eaux**. Le 9^{ème} programme de l'agence de l'eau s'appuie sur des zones géographiques (sous bassins hydrographiques) où l'action de l'agence de l'eau est modulée en fonction des dégradations des eaux constatées. Cela se traduit par des taux de redevances et d'aides plus ou moins élevés selon le niveau d'action nécessaire.

¹ On pourra consulter un extrait de l'article 83 de la loi du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques relatif aux orientations prioritaires de ces programmes pluriannuels d'intervention en [Annexe 4](#).



Pour l'**équilibre financier** du programme, la remise à niveau des redevances a été nécessaire. La quote-part de la pression fiscale due à l'agence de l'eau est ramenée à ce qu'elle était début des années 2000. Avec 75% des aides pour les ménages, l'équilibre est proche. La part de la redevance pour pollution dans le prix de l'eau progresse en moyenne de 33% et le prix de l'eau de 5%. Localement, l'augmentation peut être sensiblement plus forte, en particulier pour les collectivités dont la redevance était jusqu'à présent très basse.

Pour l'atteinte du bon état des eaux, les facteurs de risque identifiés sont les pollutions classiques (matières phosphorées et azotées) et les matières toxiques. Les taux des redevances en tiennent compte.

Pour la préservation de la ressource en eau et la redevance de prélèvement d'eau, les taux sont plus incitatifs en zone de ressource menacée pour faire diminuer les prélèvements.

Ce qu'il faut retenir...

La gestion de l'eau en France est réglementée par deux grandes lois, respectivement votées en 1964 et en 1992, et par la **Directive Cadre Européenne** du 23 Octobre 2000 dont l'objectif est la **protection à long terme de l'environnement aquatique et des ressources en eau**.

L'analyse économique dans la DCE revêt plusieurs aspects : la **caractérisation économique**, le **scénario tendanciel**, le **calcul de la récupération des coûts des services liés à l'utilisation de l'eau** et la **réalisation d'analyses coûts-efficacité et coûts-bénéfices**.



PARTIE 2

ANALYSE COÛTS-BÉNÉFICES

L'Analyse Coûts-Bénéfices (ACB) est un outil économique qui permet l'évaluation d'un projet en traduisant en termes monétaires les différents impacts qu'il génère, d'où le terme « bénéfice ». L'avantage retiré correspond aux effets positifs des actions, pour les usagers ou pour l'environnement. L'ACB implique ainsi de peser le total des coûts attendus face au total des bénéfices escomptés d'une ou plusieurs actions.

Dans le domaine de l'eau, la Directive Cadre sur l'Eau a exigé des acteurs qu'ils mettent en place des démarches d'évaluations économiques, c'est-à-dire des discussions d'éventuelles dérogations à l'objectif environnemental de bon état des eaux en 2015 fixé par la DCE, sur la base de la comparaison des coûts et des bénéfices issus de la mise en place du bon état écologique.

La DCE introduit donc l'analyse économique dans la gestion de l'eau en France, notamment pour appuyer la définition d'un objectif environnemental adapté. Elle englobe ainsi dans le processus de sa mise en oeuvre la réalisation d'Analyses Coûts-Bénéfices sur les territoires pertinents (les « masses d'eau »). Celles-ci peuvent être mises en place lorsque les arguments qualitatifs s'avèrent insuffisants.

Pour ce faire, un plan de gestion appelé **Programme de Mesures** doit être établi pour 2009 avec un avant-projet fin 2006 pour la France. Le Programme de mesure requis par la Directive Cadre sur l'Eau nécessite alors d'**identifier des mesures permettant d'atteindre le bon état écologique en 2015**. Il convient de distinguer ces mesures en deux catégories :

- les mesures de base
- les mesures complémentaires.

Une fois les mesures identifiées, il conviendra de s'intéresser à leurs coûts puisque certains coûts peuvent s'avérer **disproportionnés** (c'est-à-dire « exagérément coûteux » au sens de la DCE) **au regard des bénéfices attendus** et nécessiter une **dérogation en termes de délais**.



Afin de déterminer si un coût est disproportionné, il sera utile de mener une analyse Coûts-Bénéfices. L'ensemble de ce processus est décrit dans la *figure5*.

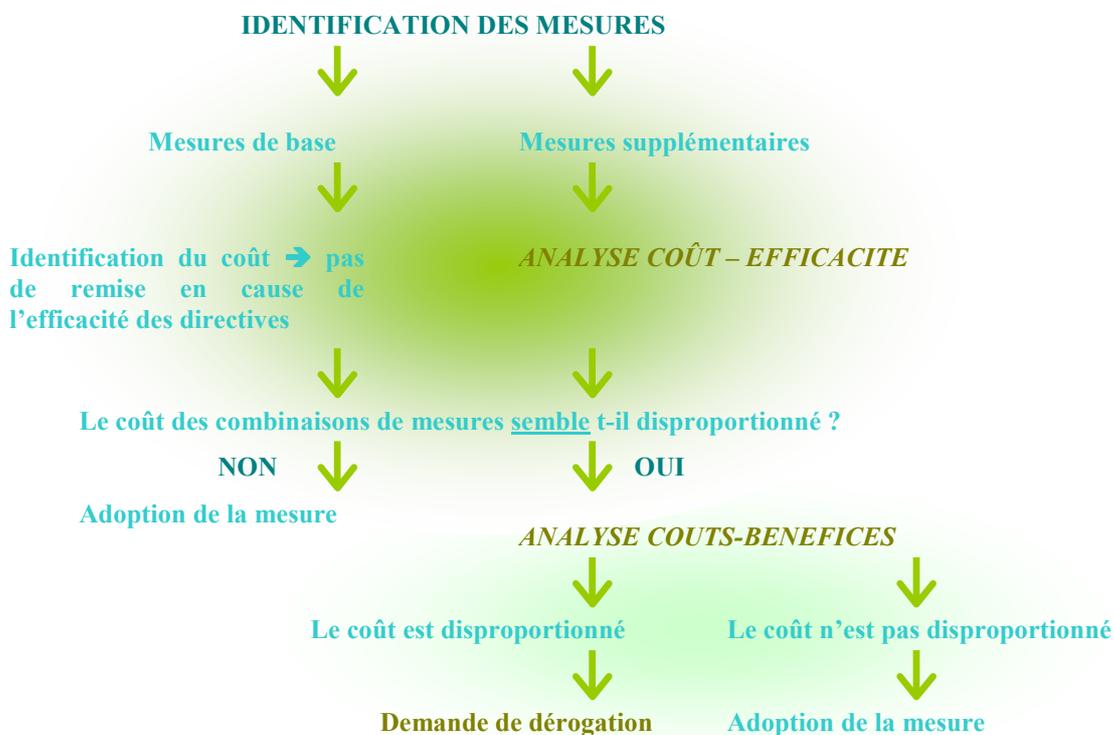


Figure 5 : Procédure d'évaluation économique des mesures de restauration des masses d'eau dans le cadre de la DCE.



1. L'analyse Coûts-Bénéfices dans la théorie économique

1.1. La théorie néo-classique

L'analyse Coûts-Bénéfices est une **méthode d'évaluation économique des décisions publiques** qui vise à juger de l'efficacité économique des décisions entreprises en comparant les bénéfices et les coûts sociaux attendus de ces actions. Cette comparaison constitue par la suite un indicateur de **modification de l'utilité sociale apportée par cette décision publique**. L'Analyse Coûts-Bénéfices se rattache au courant de pensée **néo-classique** qui étudie les conditions d'accroissement du bien-être. L'économie du bien-être s'intéresse seulement aux individus qui composent la société, sans reconnaître l'existence autonome d'entités telles que les groupes, les classes sociales ou l'Etat. Par conséquent, lorsqu'un changement dans l'affectation des ressources augmente le bien-être d'un individu sans changer celui des autres, on peut considérer qu'il y a accroissement du bien-être social. Cette dernière hypothèse définit la notion d'**efficacité économique au sens parétien**. Un état économique est plus efficace qu'un autre s'il assure un niveau de bien-être supérieur à un individu au moins, sans que les autres individus voient leur bien-être diminuer.

Dans la théorie économique, l'évaluation des impacts d'un projet n'est pas réduite à la pratique d'évaluation par les experts des coûts et des bénéfices attendus de chaque projet. Elle est au contraire fondée sur les préférences de la population affectée par la décision par le biais des **Consentements à Payer (CAP)** des agents affectés. Ces consentements à payer, censés représenter ce que les agents sont prêts à renoncer en termes d'autres opportunités de consommation, fournissent les **mesures monétaires de leur variation de bien-être pour accepter le changement de leur situation associé à la réalisation d'un projet**.

1.2. Consentement à Payer et théorie du consommateur

La théorie du consommateur est la **modélisation économique du comportement d'un agent en tant que consommateur de biens et services**. Elle est fondée sur le paradigme néoclassique individualiste qui postule que l'agent économique cherche toujours à **maximiser l'utilité** dans ses décisions d'achat, donc de consommation de biens et de services. Selon cette approche, le comportement des consommateurs est lié à deux déterminants :



- les préférences des individus d'une part
- la contrainte qui pèse sur leurs budgets d'autre part.

L'étude du comportement du consommateur implique trois étapes principales :

- **cerner les préférences individuelles**, c'est à dire comprendre comment et pourquoi les agents préfèrent tel bien plutôt qu'un autre
- prendre en compte la **contrainte budgétaire** qui pèse sur les individus, la combinaison des préférences et des contraintes de budget déterminant ensuite les choix de consommation
- **identifier la combinaison de biens** que les agents choisiront pour maximiser leur utilité.

Trois hypothèses de base sous-tendent cette théorie :

- les **préférences individuelles** sont **complètes**, c'est à dire qu'elles existent pour tous les biens.
- Elles sont **transitives** (si A est préféré à B et B à C, alors A est toujours préféré à C).
- La troisième hypothèse est celle de la **non-satiété**, c'est à dire que les agents préfèrent toujours avoir plus que moins, quel que soit le bien.

Selon la théorie du consommateur, les **consentements à payer** représentent ce à quoi les agents sont **prêts à renoncer en termes d'autres opportunités de consommation**, afin d'obtenir une combinaison de bien susceptible de **maximiser leur utilité en tenant compte de leur contrainte budgétaire**.



2. L'Analyse Coûts-Bénéfices comme outil économique d'aide à la décision

2.1. L'analyse des coûts

L'utilisation de l'eau engendre plusieurs types de coûts qui doivent être pris en compte dans l'analyse. On distingue :

- **les coûts financiers** résultant de la distribution et de la gestion des services d'eau (coûts d'exploitation, coûts de maintenance, coûts du capital, coûts administratifs...)
- **les coûts pour la ressource** : le caractère rare d'une ressource entraîne une compétition pour son usage générant ainsi des coûts d'opportunité ou « coûts pour la ressource ». La rareté s'entend en terme spatial et/ou temporel, en quantité comme en qualité. Les coûts pour la ressource apparaissent uniquement lorsqu'une utilisation de l'eau alternative permettrait d'engendrer des bénéfices supérieurs à ceux actuellement générés ou prévus.
- **les coûts environnementaux** liés aux dommages environnementaux.

On définit les **coûts environnementaux** comme les coûts liés aux dommages imposés par les différentes utilisations de l'eau à l'environnement, aux écosystèmes ainsi qu'aux autres utilisateurs. Ils comprennent les **valeurs d'usage** (comme la possibilité d'obtenir de l'eau potable, de se baigner dans un cours d'eau, ...) mais également des **valeurs de non-usage** (souci des générations futures ...).



2.2. L'analyse des bénéfices

Les mesures d'aménagement, de préservation ou de restauration du patrimoine naturel génèrent des coûts qui sont aisément calculables. En revanche, ce n'est pas le cas pour les **bénéfices biologiques et récréatifs** que procurent ces mesures. Or, l'établissement de bilans Coûts-Bénéfices, qui constituent une importante aide à la décision pour les politiques, tant en matière de réglementation que de choix de projets, passe par une **évaluation monétaire de ces bénéfices**.

Procéder à de telles évaluations suppose de pouvoir identifier la demande pour ces biens et services. Toutefois, les caractéristiques propres aux biens environnementaux rendent ces **valorisations délicates** (statut de bien collectif, absence de prix, absence d'échanges marchands, problèmes éthiques liés au fait d'évaluer des biens non produits par l'homme).

En l'absence d'un marché pour les biens environnementaux, aucune indication de prix n'est disponible. Néanmoins, cela ne doit pas signifier que l'environnement n'a pas de valeur. **Déterminer la valeur accordée à un site naturel, à une eau en bon état..., c'est permettre la prise en compte de ces éléments dans le cadre d'un bilan Coûts-Bénéfices.**

3. Identification des bénéfices²

3.1. Les différents types de bénéfices

Les bénéfices en question sont de plusieurs ordres :

- les **coûts évités** par la mise en place des mesures de restauration des milieux aquatiques
- leur impact sur les activités économiques
- et enfin la **valeur patrimoniale** de la masse d'eau qui fait l'objet de mesures de restauration

Les bénéfices se distinguent en **bénéfices marchands** et **non marchands** (amélioration de bien-être des usagers récréatifs ou de la population). Les **bénéfices marchands** sont

² « Evaluer les bénéfices issus d'un changement d'état des eaux », MEDD, D4E, Expertise économique et évaluation



chiffrés au sein des marchés déjà existants, comme le tourisme vert ou les coûts de fonctionnement des stations d'épuration et sont calculés sur la base d'indicateurs économiques traditionnels. Les **avantages non marchands sont plus difficiles à appréhender en raison de l'absence de marché** et par conséquent de prix.

Le tableau suivant résume l'ensemble des bénéfices susceptibles d'apparaître lors d'un changement d'état des eaux.

Types de bénéfices		Usagers actuels	Usagers supplémentaires
Marchands		Moindres coûts de traitement de l'eau	Accroissement des activités (à présenter en dehors de l'ACB)
Non marchands	Non marchands pour les usagers	Satisfaction retirée par les usagers pour une amélioration de leurs pratiques	Satisfaction retirée par les usagers supplémentaires pour la possibilité de nouvelles pratiques
		[Consentement à Payer des usagers] * [Nombre actuel d'usagers]	[Consentement à Payer pour une nouvelle activité] * [Nombre actuel d'usagers supplémentaires]
	Non marchands pour les non-usagers (valeur patrimoniale)	Satisfaction retirée par les habitants qui ne sont pas usagers (non-usagers) pour une amélioration de leur patrimoine écologique (valeur [Consentement à Payer des non-usagers] * [Nombre actuel de non-usagers])	

Tableau 1 : les différents types de bénéfices

3.2. Les bénéfices de nature marchande

Les « bénéfices de nature marchande » sont les **bénéfices qui peuvent être estimés par les circuits économiques existants**. Ce sont d'une part des moindres coûts de traitement de l'eau et d'autre part l'accroissement de certaines activités (notamment de loisirs).

- **Les moindres coûts de traitement de l'eau** (industries et Alimentation en Eau Potable notamment).
- L'accroissement des activités (notamment de loisirs), *i.e.* les augmentations de valeur ajoutée des activités.

Le changement d'état des eaux pourra générer une augmentation de la fréquentation des sites récréatifs, ce qui induira un accroissement du chiffre d'affaires et du nombre d'emplois de certaines activités. Ceci concerne un nombre limité de cas, pour lesquels l'augmentation du nombre d'usagers est supposée élevée et significative.



L'évaluation du nombre d'utilisateurs supplémentaires et d'emplois créés s'appuie sur des données locales (estimation à dire d'expert). L'augmentation de chiffres d'affaires, à partir de la hausse de fréquentation attendue, peut être calculée en appliquant des valeurs moyennes de dépenses unitaires des utilisateurs.

L'utilisation de ces données est délicate. En effet, ces phénomènes sont sujets à des effets de substitution ou de transfert : la venue de personnes supplémentaires sur un site va générer des diminutions de fréquentation sur d'autres sites et la baisse de chiffres d'affaires d'autres activités de loisirs.

3.3. Les bénéfices non marchands

Les « bénéfices non marchands » correspondent aux **avantages qui ne peuvent pas être directement lus à travers les flux économiques existants**. Ces bénéfices, particulièrement importants dans le domaine de l'environnement, reposent sur la valeur que la population accorde à l'accroissement de bien-être issu du changement de qualité environnementale. Leur articulation avec les bénéfices marchands est abordée dans le paragraphe 3.4. Les paragraphes suivants présentent les trois types de bénéfices à considérer.

Les bénéfices non marchands concernent :

- Les **utilisateurs récréatifs actuels** (Consentement à Payer) pour le changement d'état des eaux) : il s'agit du cas général à étudier en priorité
- Les personnes ne fréquentant jamais les sites récréatifs : c'est la valeur patrimoniale
- Les **utilisateurs supplémentaires** (intérêt de pratiquer une nouvelle activité), lorsque leur nombre est supposé élevé et significatif (cas particuliers).

Les bénéfices non marchands relèvent d'externalités qui concernent les **utilisateurs** comme les **non-utilisateurs**, et requièrent une méthodologie spécifique qui doit être adaptée selon la problématique étudiée. Leur évaluation s'effectue par un processus en trois temps :

- d'abord une analyse qualitative, soit une analyse des cas évidents de confirmation de l'aspect disproportionné des coûts par le recours à des indicateurs techniques, mais non monétaires



- puis si besoin une première monétarisation par recours à des **valeurs-guides**, c'est-à-dire une étude plus détaillée à partir des indicateurs économiques disponibles³
- et enfin, en cas d'indécision, la réalisation d'une étude locale spécifique. Il s'agit de réaliser des études économiques plus approfondies avec recours à des évaluations spécifiques locales (notamment si certains bénéfices ou coûts sont jugés malgré tout non monétarisables et susceptibles d'influencer le résultat).

La succession de ces étapes est résumée dans la figure suivante :

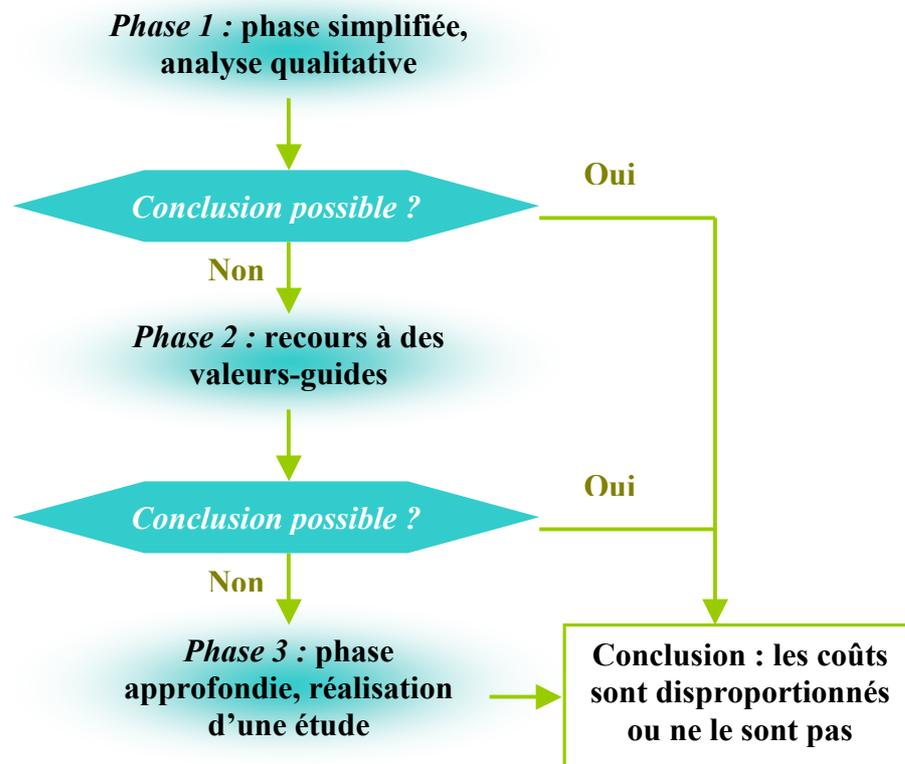


Figure 6 : Démarche progressive d'évaluation des bénéfices non marchands

³ C'est-à-dire la synthèse des valeurs de bénéfices non marchands qui ont été produites en France.

La réalisation d'études spécifiques s'appuient sur différentes méthodes spécifiques à l'évaluation des bénéfices non marchands. On retiendra comme principales méthodes :

- La **méthode de coûts de transports**
- La **méthode des prix hédoniques**
- La **méthode d'évaluation contingente**

Ces méthodes sont explicitées en Annexe 6.

La figure suivante récapitule l'ensemble des bénéfices résultant d'une amélioration de la qualité environnementale :

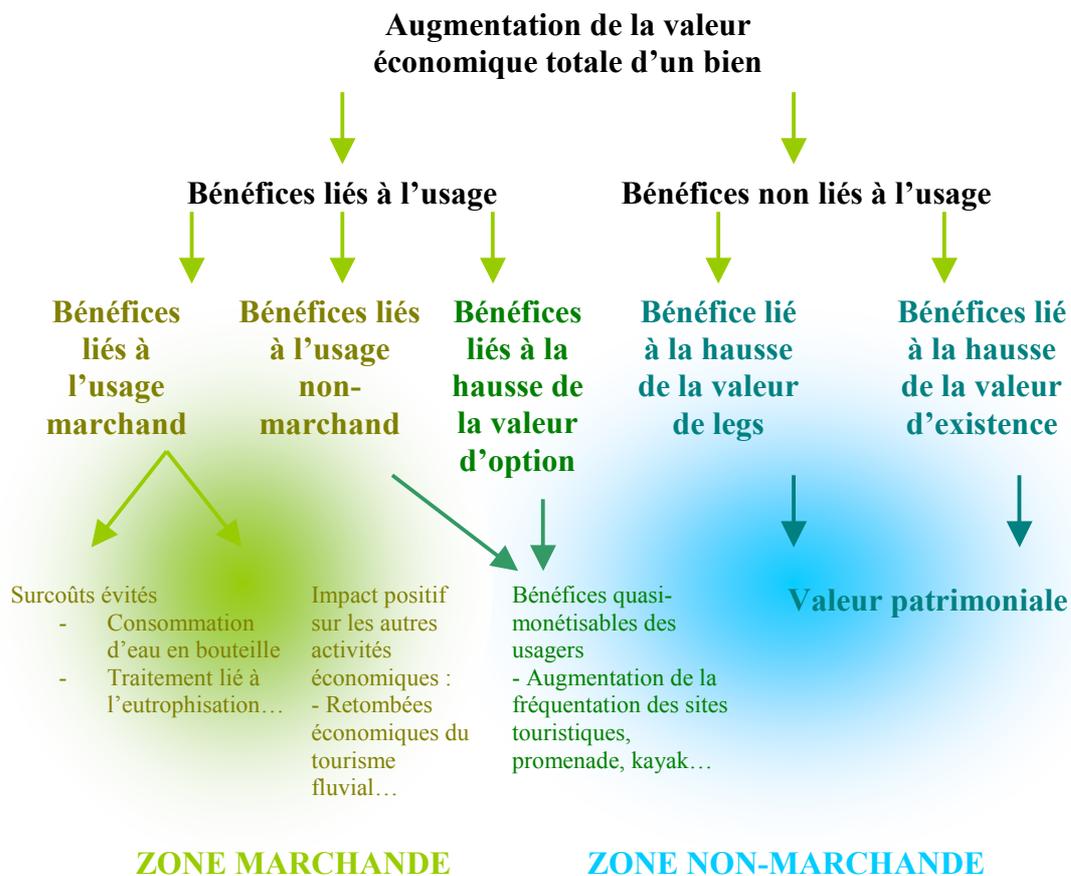


Figure 7 : Bénéfices résultant d'une amélioration de la qualité environnementale.

En outre, l'**amélioration de l'état des eaux** induit deux types d'effets tous deux générateurs de bénéfices :

- Un effet « **qualité** » (comme l'augmentation du surplus des individus déjà usagers du bien)



- Un effet « **quantité** » (comme l'augmentation du nombre d'utilisateurs du bien environnemental, ce qui augmente les bénéfices marchands et non marchands).

Le croisement de ces différentes notions permet de lister les types de bénéfices à estimer et ceux qu'il est proposé de négliger au stade des valeurs – guides (la partie 4 présente le concept des valeurs-guides). Si l'enjeu le justifie, les bénéfices pourraient être réintroduits dans certains cas d'études spécifiques.

Les **dépenses évitées pour le traitement de l'eau potable** (en raison de l'amélioration de la qualité des eaux brutes) font partie des **bénéfices marchands** pour les utilisateurs actuels. Les flux économiques générés pour les nouveaux utilisateurs ne doivent pas figurer dans les ACB. L'hypothèse généralement faite par les économistes est qu'il n'y a pas de création de surplus pour la collectivité, mais des **effets de substitution**. Ce sont des dépenses effectuées par les nouveaux utilisateurs qui remplacent d'autres dépenses sur un autre site ou se font au détriment d'une autre activité.

3.4. Peut-on ajouter les bénéfices marchands et non marchands ?

Une telle opération est théoriquement proscrite. En effet, cela signifie que deux méthodes d'évaluation sont mises en oeuvre pour évaluer le changement de qualité d'un même bien environnemental, et donc que les deux résultats se recourent. Pour les eaux souterraines, ce constat est totalement vrai : les moindres coûts de traitement pour l'alimentation en eau potable permettent d'estimer la valeur d'usage de ces eaux. Le bénéfice à compter est donc la somme des moindres coûts de traitement et de la valeur patrimoniale. Le cas des eaux de surface est différent, dans le sens où la valeur d'usage non marchande concerne majoritairement la pratique de l'usage récréatif et non l'aspect « eau potable » – simplement car les études de valorisation n'ont pas intégré cette information, qui par ailleurs pouvait perturber la valorisation des individus interrogés. Malgré un léger biais, il n'est pas incohérent d'ajouter ces valeurs.



L'exactitude des résultats d'une Analyse Coûts-Bénéfices dépend de l'exactitude avec laquelle l'estimation des coûts et bénéfices a été faite. Ces résultats (qui sous-estiment presque toujours les données, « à moins d'ignorer les nouvelles approches significatives ») ne doivent pas nous surprendre, puisque de telles estimations:

- **s'appuient beaucoup sur le passé**, notamment d'anciens projets (souvent bien différents par leur fonction ou leur ampleur)
- **s'appuient beaucoup sur les membres du projet** pour identifier les inducteurs de coût à retenir
- **estiment souvent « à vue de nez »** le coût monétaire des éléments intangibles
- et sont **incapables de dissiper complètement les fréquents parti pris** (inconscients) des membres de l'équipe (qui ont souvent un intérêt particulier à prendre la décision d'aller de l'avant) et la tendance psychologique naturelle de « se montrer optimiste » (quoique cela implique).

Un autre défi que doit relever l'Analyse Coûts-Bénéfices revient à **déterminer quels coûts doivent être inclus dans une analyse** (les inducteurs de coûts significatifs). C'est un point souvent controversé, puisque certaines organisations ou certains groupes d'intérêts peuvent penser qu'il faille inclure ou bien rejeter certains coûts dans une étude.

Ce qu'il faut retenir...

Le processus de la Directive Cadre sur l'Eau inclut la **réalisation d'Analyses Coûts-Bénéfices** qui permettront localement de définir un objectif adapté de restauration des milieux, c'est-à-dire dont le **coût ne soit pas disproportionné au regard des avantages attendus pour l'environnement**.

Ces discussions permettront **d'éventuelles dérogations à l'objectif environnemental sur la base de la comparaison des coûts et des bénéfices issus de la mise en place du bon état écologique**.



PARTIE 3

**AGRÉGATION DES DONNÉES :
VALEURS-GUIDES ET ÉQUATIONS DE
TRANSFERT**

PARTIE 3

AGRÉGATION DES DONNÉES : VALEURS-GUIDES ET ÉQUATIONS DE TRANSFERT

*Le second pilier de l'évaluation des bénéfices non marchands est l'**agrégation des valeurs unitaires** pour obtenir un bénéfice à l'échelle d'un territoire. Il s'agit d'identifier un nombre d'usagers, de visites et de non - usagers.*

*Certains bénéfices peuvent être estimés par les circuits économiques existants. En revanche, l'évaluation des bénéfices non marchands n'est pas aussi systématique. Pour ces derniers, l'objectif est donc de **fiabiliser les données existantes** et d'avoir une **idée des poids respectifs de chaque usage**.*

*La nécessité d'une méthodologie simple et rapide a conduit à proposer le **transfert des valeurs unitaires** (exprimées par personne, par visite) des études primaires françaises.*

1. Problématique

Des **valeurs de référence** de bénéfices environnementaux ont été déterminées lors d'études précédentes à partir des études de monétarisation qui ont pu être conduites en France. Il a donc d'abord s'agit d'**expliquer les résultats** (à travers la valeur économique estimée, l'entité à laquelle le chiffre unitaire s'applique, le bien environnemental évalué), puis de **préciser les éléments déterminants dans l'obtention de la valeur** (notamment au niveau du contexte) et de **juger la qualité de l'étude**.

La question générale du transfert de valeurs entre masses d'eau englobe de nombreuses autres interrogations, selon deux principales thématiques (qui sont les deux temps de l'évaluation des bénéfices) :

- la détermination de valeurs unitaires
- et leur agrégation sur un territoire plus large

Se pose ensuite la question des **priorités**. S'il existe certes des enjeux propres à chaque masse d'eau, les bénéfices liés à certains usages peuvent parfois représenter à eux seuls une



part très importante des bénéfices totaux. Il est donc important, du point de vue des études futures, **d'identifier les usages (ou non-usage) qui présentent un fort poids économique.**

Le **passage des valeurs unitaires au bénéfice total** sur une masse d'eau pose également des difficultés. Des données locales peuvent être suffisamment précises (enquêtes de fréquentation, dires d'experts) pour dans certains cas limiter l'agrégation à une multiplication triviale. Mais l'insuffisance des données (nombre d'usagers, de visites, etc.) peut s'avérer un frein dans l'évaluation des bénéfices. Une recherche bibliographique réalisée par la D4E a donc permis d'effectuer un **bilan des méthodes d'agrégation existantes**, pour ensuite **formuler des propositions.**

Pour les données qui ne sont pas facilement accessibles (c'est-à-dire ne s'exprimant pas en un nombre de ménages résidant sur une zone donnée), les données locales et les dires d'experts sont les plus adaptées. A l'autre extrême, on est conduit à l'application d'un ratio-type d'usagers (sur la population totale d'une zone d'étude) ; cette démarche semble quant à elle extrêmement périlleuse, sauf si l'on dispose de données sur un site fortement similaire (type de site, répartition de la population, accès à la rivière, équipements). Le bilan par usage est le suivant :

- **Usages récréatifs informels** : En l'absence de données locales, la méthode du rayon d'attrait⁴ semble la plus apte à proposer un nombre d'usagers récréatifs informels sur des sites locaux, mais son imprécision doit être testée (une enquête de fréquentation est largement préférable sur des sites de plus grande importance). Les autres approches fondées sur un nombre de voitures garées ou de visiteurs en une journée sont beaucoup plus approximatives. Une évaluation de l'incertitude de ces démarches présenterait ensuite un intérêt.
- **Pêche** : Les données locales et les dires d'experts sont à privilégier car les méthodologies britanniques s'avèrent très incertaines (tant à partir d'un nombre de visites en un jour qu'en utilisant un rayon d'attrait). Des tests pourraient permettre d'estimer des taux d'erreur.
- **Kayak, navigation** : Aucune méthode ne s'appuyant sur des données locales directement utilisables ne peut être proposée.

⁴ En fonction du type de site, on définit un rayon d'attrait pour la promenade, la pêche et la baignade, puis on compte le nombre d'habitants à l'intérieur du disque.



La revue des méthodes d'agrégation fait ressortir la typologie suivante :

- La méthode la plus fiable consiste à recourir à des **données locales** (enquêtes de fréquentation et dires d'experts), toutefois difficilement accessibles. Pour certains usages (par exemple pêche, kayak et navigation), aucune méthode ne s'appuyant sur des données locales directement utilisables ne peut être proposée.
- A l'autre extrême, on est conduit à **transférer les ratios-types** d'usagers issus des études primaires. C'est une méthode simple mais très contestable. C'est une méthode simple mais très contestable. Les sites comparés doivent en effet être fortement similaires (selon le type de site, la répartition de la population, l'accès à la rivière, les équipements, etc.).
- A un niveau intermédiaire, certaines méthodes utilisées au Royaume-Uni (*cf.* le Benefits Assessment Guidance, ou BAG) telle la définition d'un **rayon d'attrait** peuvent apporter un appui. Ces travaux doivent être consolidés afin de mieux connaître leurs champs d'application et leurs incertitudes.

Ainsi, pour comparer les poids économiques des usages, une estimation des bénéfices au niveau national a été réalisée par la D4E. Elle s'est appuyée sur les nombres d'usagers (ramenés au pro rata du nombre de masses d'eau n'atteignant probablement pas le bon état) et sur les bénéfices unitaires les plus faibles pour chaque usage. L'usage Alimentation en Eau Potable (AEP) a le poids économique le plus important : le bénéfice non marchand constituerait plus de 50% des bénéfices totaux, et les moindres coûts de traitement 30%. Si l'évaluation se limite aux rivières, c'est la valeur du patrimoine écologique en dehors de tout usage (valeur de non-usage) qui apparaît majoritaire (environ 80%).

Les résultats figurent sous la forme de tableaux associant à des changements d'état des eaux donnés une valeur unitaire de bénéfice non marchand par usage. Le nombre de valeurs disponibles est cependant assez faible (environ 40), d'où un ensemble relativement large de bénéfices qui ne font aujourd'hui l'objet d'aucune valorisation. Afin de comparer les poids économiques des usages, une estimation des bénéfices au niveau national a été réalisée. Pour chaque usage, les bénéfices unitaires les plus faibles ont été retenus. Les nombres d'usagers par district hydrographique – disponibles dans les documents d'état des lieux – ont été multipliés par la proportion de masses d'eau n'atteignant probablement pas le bon état (comme approximation du nombre d'usagers valorisant l'atteinte du bon état).



Afin d'assurer facilement le transfert de valeurs, deux conditions principales doivent être remplies :

■ Le bien étudié ne doit pas être trop atypique

La première condition pour que les valeurs obtenues sur le site concerné par l'étude puissent être transférées réside dans le **choix du site**. Si le site retenu est trop atypique, la transférabilité risque d'être difficile. Néanmoins, l'objectif de l'étude doit primer sur la perspective de réaliser un transfert de valeurs à partir de ces valeurs.

■ Une présentation détaillée du bien étudié et des caractéristiques de l'échantillon

Dans la présentation des résultats à l'issue de l'étude, les éléments suivants doivent être clairement indiqués.

- Description détaillée du bien étudié
- Description détaillée des objectifs de l'étude et du type de valeur mesurée
- Méthode de valorisation utilisée
- Mode d'enquête et taille d'échantillon
- Caractéristiques de l'échantillon (statistiques descriptives). Par exemple, pour la méthode d'évaluation contingente : répartition par sexe, âge, CSP (catégorie socioprofessionnelle), revenu, ...
- Equation du modèle économétrique explicatif du niveau de consentement à payer (recevoir) ou de la fréquentation du site, selon le cas applicable.



2. Les méthodologies mises en œuvre

2.1. Méthodologie de transfert développée par la cellule Economie et Prospective de l'AERM

Les grands enjeux, en termes de nombre de ménages concernés sont sans doute, la **qualité de l'eau potable** et la **biodiversité**. Si l'on ajoute à cela la crédibilité et la suppression du risque lié au transfert, on comprend bien les raisons qui motivent le choix de lancer des études intra bassin. Une analyse contingente globale pourrait voir le jour en 2007. Plusieurs scénarii pourraient être proposés aux sondés en partant du scénario de référence : «Mesures qui auraient été entreprises sans la DCE». Les scénarii contingents décriraient des situations hypothétiques en vue d'extraire le consentement à payer. Evidemment ces combinaisons de scénarii doivent être construites en concertation avec des experts et à la fois tenir compte des contraintes liées à la nécessaire compatibilité entre le souhait de la population en matière environnementale et les exigences techniques.

Il semblerait au premier abord que les variables « eau potable/non-marchand » et « biodiversité/paysages » soient corrélées, ce qui peut poser des problèmes en termes d'analyse économétrique. En effet, dans cette éventualité, consentir à payer pour l'un de ces deux enjeux reviendrait à payer pour l'autre automatiquement. Toutefois, il s'agirait plus d'une fausse corrélation. Cela est dû au fait que les mesures ayant pour but d'améliorer le fonctionnement des milieux naturels, influencent simultanément le paramètre « biodiversité/paysages » et le paramètre « qualité de l'eau potable », ce qui du point de vue série historique statistique crée une corrélation dans les chiffres.

En partant donc du principe que ces variables sont globalement suffisamment indépendantes, on pourra en déduire des CAP indépendants et pouvoir sommer ou scinder les bénéfices à l'échelon du bassin.

2.1.1. Valeurs pouvant être transférables et extrapolables

Dans la pratique, il convient de réfléchir au préalable aux activités humaines susceptibles d'être affectées par le bon état. Ce n'est que dans un second temps, après concertation avec les autres agences de l'eau et la D4E, qu'une liste restreinte d'activités



représentant probablement la majeure partie des bénéfices devra être arrêtée. Enfin, la principale tâche consistera à bâtir une méthodologie en vue d'une part, de transposer avec rigueur des bénéfices issus d'études provenant d'autres bassins, et d'autre part, de construire des valeurs intra-bassin. Ci-dessous un classement de ces activités.

Valeurs pouvant être transférables et extrapolables (par le biais d'une équation de transfert adéquate)	Valeurs pouvant faire l'objet d'études spécifiques au sein du bassin
Pêche	Biodiversité/Cadre de vie/Paysages
Kayak/Canoë	AEP pour les nappes ordinaires
Promenade/activités informelles	
Baignade	
Navigation de plaisance	
AEP pour les nappes emblématiques	

Tableau 2 : Classement provisoire des transferts de bénéfices

Pour transférer des valeurs issues d'autres bassins, il est nécessaire au préalable d'**identifier les variables jouant un rôle dans le processus de transfert** (revenu, élasticité du consentement à payer, facteurs culturels...) et de les inclure dans une équation dûment construite, et ce en vue d'accroître la crédibilité des chiffres.

2.1.2. Formule pour réussir un transfert de CAP⁵ d'une zone géographique à une autre

On entend par **transfert**, l'utilisation directe de valeurs guides françaises (et non pas des coefficients du modèle économétrique puisque celui-ci n'est généralement pas mis à disposition du fait de la confidentialité des données). Il semble en apparence relativement aisé à mettre en œuvre mais il requiert tout de même l'identification de certains paramètres.

L'équation développée par la cellule Economie et Prospective de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse est la suivante :

$$CAP_d_2007 = CAP_s_xxxx * (1 + i_xxxx-2007) * (Richesse_d_2007 / Richesse_s_2007) * Elasticité-revenu\ du\ CAP_d_2007 * Sensibilisation_xxxx-2007$$

⁵ Consentement à payer des ménages pour bénéficier du bon état



Où

CAP_d_2007 : Consentement à payer pour la zone étant la destination du transfert du CAP pour l'année 2007 et pour un ou plusieurs usages ou non-usages (pêche, eau potable, biodiversité, etc). Cette valeur doit toutefois tenir compte des paramètres suivants : chimique, hydromorphologique, macropolluant et écologique. Le CAP doit être soustrait d'un quart de sa valeur chaque fois que l'un de ces autres états n'est pas bon.

CAP_s_xxxx : Consentement à payer pour la zone étant la source du transfert du CAP pour l'année xxxx et pour les mêmes usages ou non-usages mentionnés ci-dessus.

i_xxxx-2007 : Taux d'inflation en France sur la période xxxx-2007.

Richesse_d_2007 / Richesse_s_2007 : Rapport exprimant la richesse relative de la zone de destination par rapport à la zone source. La variable richesse peut faire référence à un revenu disponible brut moyen régional par habitant, un PIB régional par habitant, un revenu fiscal moyen par commune ou une combinaison de ces variables ou d'autres indicateurs communs de richesse.

Elasticité-revenu du CAP_d_2007 : Coefficient de pondération permettant d'atténuer ou au contraire d'accroître l'effet de la richesse sur le CAP dans la zone de destination. Utilisable uniquement dans le cadre de transfert intrabassin (via la consultation du public de 2005 éventuellement).

Sensibilisation_xxxx-2007 : Variable psychologique qui a vocation à limiter l'effet du temps sur le consentement à payer. Par exemple le CAP pour un même bien et une même population peut varier sur la période xxxx-2007 et peut même être influencé par le cycle des saisons. Cette variable n'a toutefois pas encore été prise en compte. En effet la valeur de transfert utilisée au 27/02/2007 est issue d'une étude de la D4E menée en 2005.

Variable	Informations			
	Accès à l'information	Source d'information	Variable idéale	Variable de substitution
CAP_d_2007	-	-	-	-
CAP_s_xxxx	Facile pour les activités répertoriées sur le SIE : eau potable, patrimoine écologique, baignade, activités nautiques, pêche, navigation de plaisance, promenade, observation des oiseaux, kayak, usages récréatifs informels	SIE	-	-
i_xxxx-2007	Facile : INSEE	INSEE	-	-
Richesse_d_2007/Richesse_s_2007	Laborieux : cela dépend du type de variable à prendre en compte. Il est nécessaire d'avoir le même indicateur de richesse dans les deux zones	Direction générale des impôts (revenu fiscal par commune), INSEE (PIB/régional, revenu disponible brut)...	Revenus des populations concernées dans les deux zones	Revenu brut disponible estimé ou revenu fiscal réel des communes ou autre?
Elasticité-revenu du CAPd_2007	Difficile : dépend de la modélisation de l'élasticité	SIE+DGI+INSEE	Elasticité moyenne de la population de la zone de destination	Elasticité à l'échelle du département ou du sous-bassin de la zone de destination
Sensibilisation_xxxx-2007	Très difficile	Rechercher sur Internet des études paneuropéennes	A définir	Un taux de revalorisation annuel pourrait par exemple "redresser" les CAP

Tableau 3 : Variables intervenant dans le processus de transfert⁶

⁶ Une enquête a été menée en 2005 dans le bassin Rhin-Meuse dans le cadre de la consultation du public. Elle a révélé qu'il existe une variabilité des CAP entre les départements non obligatoirement imputable aux seules différences de revenus. Le facteur sensibilisation est certes très délicat à quantifier mais il semble difficilement concevable de ne pas l'inclure en cas de transfert d'une valeur de CAP ancienne. On peut partir du postulat que le CAP des Français pour préserver leur environnement est plus important en proportion de leur revenu en 2007 que dans les années 1990 (notamment avec la campagne présidentielle et des personnalités médiatiques comme Nicolas Hulot qui occupent une place importante dans le débat).



La cellule Economie et Prospective a ainsi pu construire un tableau regroupant les effectifs pour chaque type d'usage (nombre de pêcheurs, kayakistes, promeneurs...) sur la base d'estimations et de dires d'experts. Les données ont été déterminées à l'échelle de la masse d'eau (il existe 608 masses d'eau de surface et 26 masses d'eau souterraines dans la bassin Rhin-Meuse). Ce travail constitue ainsi une base sur laquelle pourront ensuite être appliquées les valeurs-guides.

2.1.2.1. Masses d'eau de surface – bénéfique pour la population : biodiversité/paysages

En vue de rendre la démarche crédible, les masses d'eaux qui feront l'objet d'études devront être représentatives. Naturellement puisqu'il s'agit de biens multi-attributs complexes, le caractère « représentatif » devra être tronqué en fonction des informations disponibles à l'Agence et de la perception de la population vis-à-vis de ces attributs.

L'**échantillonnage** pourra par exemple tenir compte des attributs suivants :

- Gabarit (Grande rivière, petit cours d'eau...)
- Etat actuel/futur (type de polluant...)
- Proximité de la masse d'eau avec les communes (par bassin versants)
- Caractère urbain/rural

Une fois qu'un certain nombre de masses d'eaux de surface auront été identifiées et jugées représentatives, il sera possible de lancer une analyse contingente globale.

Cette étude devra tenir compte du fait que les CAP trouvés devront pouvoir être utilisés dans le cadre du transfert. Par conséquent un CAP-Hypothèse haute et un CAP-Hypothèse basse correspondant respectivement à une amélioration importante de l'état et à une faible amélioration pourront constituer des bornes pour l'ensemble des masses d'eau.

Ensuite par le biais de coefficient de probabilité de bon état fournis par dire d'expert, il sera possible d'obtenir des fourchettes de bénéfices pour chaque hypothèse : 100% des masses d'eau en bon état, 2/3, 1/3...



2.1.2.2.Masses d'eau souterraines – bénéfice pour la population : qualité eau potable

Tout comme les eaux de surface, les nappes doivent être sélectionnées selon des critères de représentativité.

On peut penser *a priori* que le seul critère jugé important aux yeux du citoyen est le volume de la nappe .

L'échantillonnage consistera essentiellement à séparer les nappes emblématiques des nappes ordinaires. Ce critère devra être précisé à la suite d'ultérieures discussions avec des experts.

L'agence ne dispose pas encore d'informations suffisamment fiables sur les sujets suivants :

- Etat actuel de l'ensemble des nappes souterraines
- Etat en 2015 de l'ensemble des nappes souterraines
- Correspondance commune/nappes souterraines (indispensable pour associer correctement les bénéfices aux individus)
- Grands enjeux et zones prioritaires

2.1.2.3.Etapes menant à l'évaluation des bénéfices liés à la biodiversité/paysages et à l'eau potable

- Compléter et récolter auprès des experts les informations disponibles sur les états des masses d'eau
- Procéder à l'échantillonnage des masses d'eau de surface et souterraines en vue d'extrapoler les CAP issus de cette étude contingente globale à l'ensemble des masses d'eau
- Déterminer l'ensemble des usagers et non usagers censés récolter ces bénéfices
- Déterminer un échantillon représentatif des communes dans lesquelles aura lieu l'enquête
- Lancer une analyse contingente unique pour déterminer à la fois les CAP pour une amélioration de la biodiversité et de la qualité de l'eau potable (similaire à



une analyse contingente menée dans le Loir⁷). Une analyse conjointe est également envisageable.

- Extrapoler ces CAP avec des coefficients de probabilité sur le bon état et en déduire des fourchettes de bénéfices globaux

Dans les deux enjeux et quelle que soit la forme que prendra l'enquête, celle-ci devra satisfaire trois contraintes sévères :

- Les masses d'eau de surface et souterraines devront être « représentatives » (terme encore à clarifier avec les experts de l'Agence)
- Les bénéfices pour les enjeux décrits ci-dessus devront être représentatifs
- Les scénarii devront pouvoir être compris sans ambiguïté par la population

2.2. Données disponibles pour le transfert de valeurs-guides : le logiciel de synthèse coûts-bénéfices (D4E)⁸

L'objectif de cet outil est de proposer une synthèse opérationnelle des méthodes et données disponibles à ce jour pour évaluer les bénéfices issus d'un changement d'état des eaux. Il s'appuie sur les tableaux de valeurs-guides de bénéfices non marchands et renvoie vers des fiches descriptives détaillées sur le site www.economie.eaufrance.fr.

Les tableaux de valeurs-guides abordent chacun un type de masse d'eau :

- cours d'eau
- plans d'eau
- eaux côtières et de transition
- eaux souterraines

⁷ Etude sur la valorisation des aménités du Loir, Série Etudes 06-E-01, Patrick Deronzier, Sébastien Terra, D4E

⁸ « Evaluer les bénéfices environnementaux issus d'un changement d'état des eaux », MEDD, D4E, Expertise économique et évaluation



2.2.1. Principe d'utilisation

La **première étape** consiste à établir une hiérarchie des usages pour lesquels les bénéfices seront à évaluer (cette première étape n'est pas nécessaire dans le cas particulier de la valorisation des écosystèmes) :

- Quels usages récréatifs sont les plus pratiqués et apporteront les plus grands bénéfices? (cas général des usagers actuels)
- Un usage pourrait-il fortement se développer suite au changement d'état des eaux ? (cas particulier des usagers supplémentaires)

L'objectif est de cette liste hiérarchisée est d'évaluer d'abord les avantages qui seront les plus élevés – la valeur patrimoniale devra toujours en faire partie.

Par exemple, sur un groupe de masses d'eau « rivière » donné, les principaux usages sont la promenade (le long des berges) et la pêche de loisirs. Les usages navigation et baignade y sont peu pratiqués.

L'atteinte du bon état pourra dans ce cas générer l'ouverture d'un parcours de kayak, qui drainera des pratiquants locaux.

La liste à examiner est donc la suivante :

- promenade (usagers actuels)
- pêche (usagers actuels)
- kayak (usagers supplémentaires)
- valeur patrimoniale.

La **seconde étape** repose sur le choix de valeurs guides. Cette opération est à réaliser pour chaque élément de la liste, pour lequel le type de masse d'eau (rivière, plan d'eau, etc.), le type d'usagers (actuels ou supplémentaires) et l'usage (ou la valeur patrimoniale) sont identifiés.

Le choix d'une valeur guide s'appuie sur la ressemblance avec le cas décrit, du point de vue du contexte et du changement d'état des eaux (qui sont résumés en quelques mots dans les colonnes gauches de chaque tableau).

Si une valeur guide est adaptée, elle est retenue (cas 1). Notons que si l'une valeur-guide représente un changement d'état des eaux similaire mais de plus faible ampleur, elle pourra être utilisée – pour un résultat a priori sous-estimé.



Si plusieurs valeurs présentent des similitudes avec le cas étudié, il est conseillé d'effectuer plusieurs calculs, qui constitueront une fourchette (cas 2).

Etant donné le faible nombre de valeurs-guides, il existe cependant des situations pour lesquelles aucune de ces valeurs ne paraîtra adéquate.

Si, pour un usage donné, aucune valeur-guide ne semble convenir, en raison d'une trop grande différence de contexte et de changement d'état des eaux (cas 3), la valeur-guide la plus faible peut être retenue, pour une évaluation néanmoins incertaine.

Pour la valeur patrimoniale, une fourchette pourra être constituée à partir de toutes les valeurs-guides. Chaque valeur-guide patrimoniale est associée à un périmètre donné, si bien que la valeur la plus faible ne peut pas être immédiatement identifiée.

Si aucune valeur-guide n'existe (cas 4), aucune valeur de bénéfice ne peut être estimée. Il convient de préciser dans l'ACA que ces bénéfices n'ont pas pu être évalués. L'utilisation de valeurs propres à des biens environnementaux différents est peu recommandée (par exemple utiliser une valeur-guide relative aux rivières à une masse d'eau littorale). Cette procédure par usage est préconisée pour les rivières. Par contre, pour les plans d'eau et le littoral, le choix des valeurs-guides peut d'abord passer par la description des cas de référence (et non par les usages). En effet, trop peu de valeurs-guides sont disponibles, et celles-ci regroupent plusieurs usages. Enfin, si aucune situation ne semble convenir (cas 3), une valeur « incertaine » peut être retenue par usage. La figure 12 récapitule les étapes à suivre pour le choix des valeurs-guides.



Etant donné le faible nombre de valeurs-guides, il existe cependant des situations pour lesquelles aucune de ces valeurs ne paraîtra adéquate.

Etape 1 : Etablir une liste hiérarchisée des usages récréatifs (en fonction du nombre de personnes concernées) pour lesquels les bénéfices seront à évaluer.



Etape 2 : Pour chaque élément de la liste, faire la revue des valeurs-guides disponibles - chaque élément de la liste étant défini selon la distinction usagers actuels / supplémentaires, le type de masse d'eau (cours d'eau, plans d'eau, eaux côtières et de transition, eaux souterraines) et l'usage considéré.

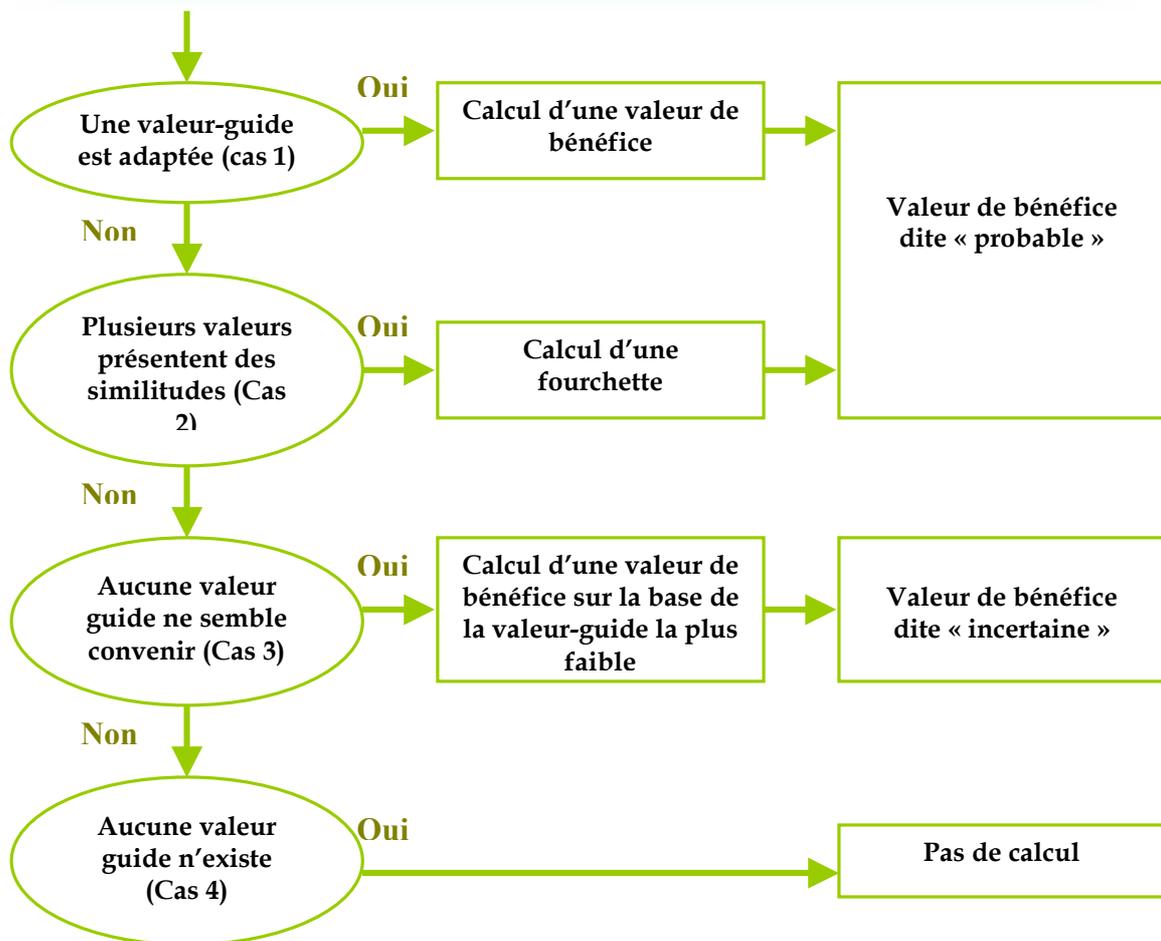


Figure 8 : Comment choisir une valeur-guide ?

■ Ajustement des valeurs-guides par des données socio-économiques

L'utilisation des valeurs-guides repose sur le transfert de valeur : la valeur obtenue sur un site donné est mobilisée sur un autre site. Plusieurs paramètres ont une influence sur chaque valeur produite : caractéristiques du site et de la population, méthodologie mise en oeuvre. L'influence des variables propres au site et à la méthode ne peut cependant pas être mesurée sur la base des études disponibles.



Parmi les variables socio-économiques, le revenu de la population concernée a très souvent une influence – cette donnée étant par ailleurs accessible.

Afin de rendre compte de cet effet, il est possible de multiplier la valeur-guide par le ratio des revenus des populations concernées (site d'accueil et site de l'étude source), ce afin d'obtenir une fourchette.

Il est par ailleurs préférable d'utiliser des données locales plutôt que par département ou région. Cette procédure est facultative. Elle est peu précise, mais la présentation d'une fourchette permet d'intégrer les différences de populations.

2.2.2. Agrégation : les bénéfices à l'échelle d'un territoire (comptage des usagers)

L'agrégation consiste à passer de bénéfices unitaires à un bénéfice total (exprimé en €/an) sur un périmètre donné, c'est-à-dire compter les nombres d'usagers et de non-usagers. Cette opération demeure une difficulté.

Les méthodes qui peuvent être mises en oeuvre sont les suivantes :

- Privilégier l'utilisation de données locales, telles les dires d'experts (garde-pêche, clubs de sport), les enquêtes de fréquentation des sites. Ces données sont les plus fiables, mais les moins accessibles.
- A l'autre extrémité, pour obtenir un ordre de grandeur, on peut utiliser des ratios types d'usagers (par exemple, % de pêcheurs parmi la population,...) obtenus sur les études primaires de monétarisation. L'extension de ces ratios aux sites à analyser est évidemment très critiquable.
- Enfin, dans les cas présentant un enjeu (si les estimations sont peu fiables et peuvent fortement influencer le résultat en terme de décision), le recours à une enquête téléphonique est envisageable.

2.2.3. La phase 2 (recours à des valeurs-guides) permet-elle de conclure, ou faut-il passer à la phase 3 (réalisation d'une étude locale) ?

La conclusion de la phase 2 peut être produite de façon itérative, au regard des différentes valeurs de bénéfices obtenues :

- Comparer les coûts avec les bénéfices « probables » et la potentielle importance des bénéfices « incertains » et non évalués.
- S'il est impossible de conclure, comparer les coûts avec la somme des bénéfices « probables » et « incertains » et la potentielle importance des bénéfices non évalués, sachant que l'incertitude est plus élevée.
- S'il est toujours impossible de conclure, notamment en raison d'un trop grand nombre de coûts et bénéfices monétarisables, ou en l'absence de consensus autour de valeurs « incertaines », la phase 3 (réalisation d'une étude locale) peut être envisagée.

Le montant de la valeur patrimoniale doit être clairement affiché : 2 calculs pourront être réalisés, avec et sans elle.

La figure 9 propose un récapitulatif de ce processus.

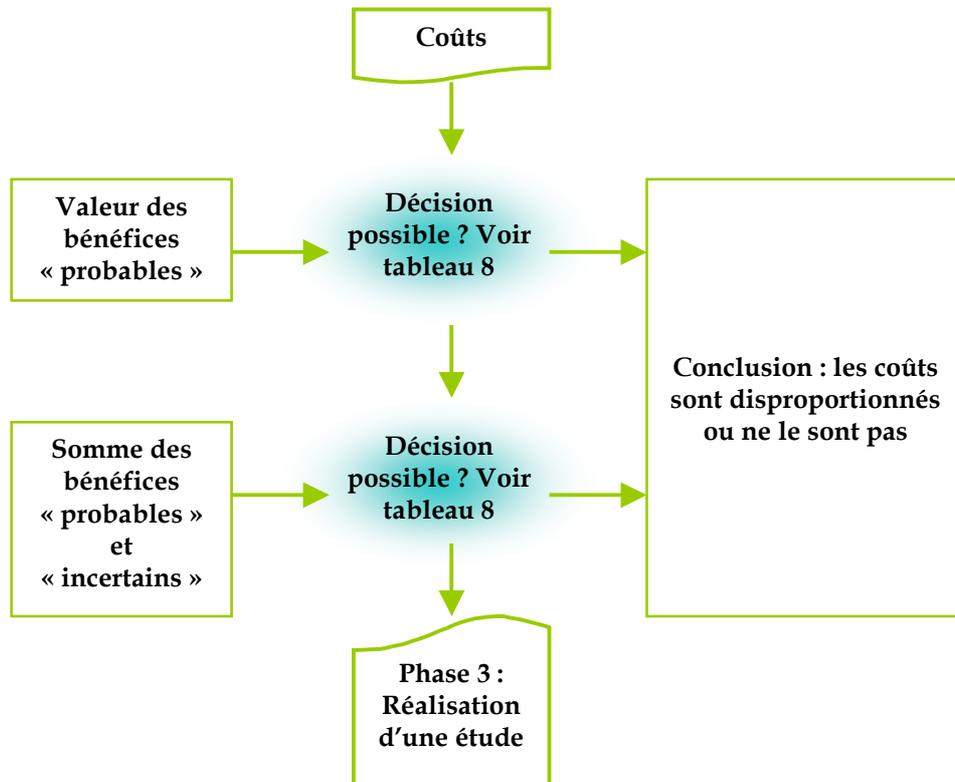


Figure 9 : Le recours aux valeurs-guides permet-il de décider du caractère disproportionné des coûts ?



Le tableau 4 propose une indication sommaire pour analyser si les résultats sont suffisants pour la décision, ou si l'évaluation doit être poursuivie.

Potentiel des bénéfices absents du calcul	Faible	Moyen ou élevé
Comparaison des coûts et des bénéfices		
Les bénéfices sont très supérieurs aux coûts	Les coûts ne sont pas disproportionnés	
Les bénéfices et les coûts sont proches	Les coûts ne sont pas disproportionnés	
Les bénéfices sont très inférieurs aux coûts	Les coûts sont disproportionnés	Pas de décision

Tableau 4 : Aide à la décision suite à l'utilisation des valeurs-guides

Pour la réalisation de la phase 3, les guides de bonne pratique pour la mise en oeuvre des méthodes de valorisation pourront être utilisés. Ils sont disponibles sur le site www.economie.eaufrance.fr, à la rubrique « Coûts et bénéfices environnementaux » – « Méthodes et documents-guides ».



PARTIE 4
L'ENQUÊTE

La troisième et dernière partie d'une Analyse Coûts-Bénéfices consiste en la réalisation d'études spécifiques locales menées sur les territoires concernés par le risque de non-atteinte du bon état des eaux en 2015, et ce dans le cas où le transfert des valeurs-guides n'a pas pu être exploitable ou lorsqu'il est nécessaire de conforter les résultats obtenus grâce à des valeurs supplémentaires.

Cette étape se caractérise donc par la réalisation d'un sondage ciblant les individus susceptibles d'être concerné par le risque de non-atteinte du bon état.

Elle est délicate d'une part du fait de la nécessité de définir des bases solides concernant notamment le mode d'enquête à retenir et le type d'échantillonnage à utiliser. D'autre part, une fois les données exploitables, il convient de les saisir proprement, d'estimer le consentement à payer de l'échantillon pour l'atteinte du bon état des eaux et enfin de les analyser dans le but de déterminer les variables susceptibles d'expliquer ce même consentement à payer.

1. Quel mode d'enquête choisir ?

En premier lieu, il convient de déterminer quel mode d'enquête utiliser pour mener à bien une enquête dans le cadre d'une Analyse Coûts-Bénéfices, et ce en tenant compte de leurs avantages et de leurs inconvénients, quelque soit la méthode choisie.

Les modes d'enquête les plus courants sont :

- L'enquête par courrier
- L'enquête en face à face
- L'enquête téléphonique

Les détails de ces méthodes sont exposés en **Annexe 7**.



Il reste cependant à savoir si l'échantillon obtenu au travers de ces enquêtes est représentatif.

Les enquêtes par courrier (et dans une moindre mesure les enquêtes téléphoniques) **tendent à souffrir de biais de sélection**. En effet, les personnes qui renvoient un questionnaire complet sont généralement plus intéressées (ou concernées) par le sujet que celles qui ne répondent pas. Les répondants sont souvent plus susceptibles de fournir des consentements à payer (recevoir) extrêmes qu'une personne donnée choisie aléatoirement.

Un taux de réponse élevé pour une enquête (supérieur à 60 % pour une enquête auprès de la population générale) aide à minimiser les problèmes potentiels qui surviennent lorsque l'on veut extrapoler les résultats à la population totale. Il existe une grande diversité de procédures de pondération pour aider à corriger les écarts inévitables par rapport à un échantillon « idéal ». Il existe, de même, des méthodes économétriques permettant de corriger les biais de sélection.

Pour la méthode des coûts de transport, l'enquête en face-à-face sur site peut aussi souffrir de problèmes de représentativité de l'échantillon pour au moins deux raisons.

- Quand faut-il interroger les visiteurs ?
 - A quelle période de l'année ?
 - Faut-il conduire l'enquête la semaine ou le week-end ?
- Où faut-il « intercepter » les visiteurs ?

2. Echantillonnage

La qualité de la mise en place de l'échantillonnage est primordiale pour mener à bien une enquête. Ceci nécessite donc au préalable de connaître les affres de la procédure d'échantillonnage, depuis la définition des unités d'enquêtes jusqu'au redressement des données en passant par le calcul de la taille de l'échantillon. L'ultime but de ces différentes étapes est de permettre d'estimer au mieux le consentement à payer de l'échantillon pour l'atteinte du bon état des eaux en 2015.



2.1. Procédure d'échantillonnage

Pour recueillir des informations sur une population, on peut disposer de deux méthodes :

- La méthode exhaustive ou recensement : on examine chacun des individus de la population selon le caractère étudié
- La méthode des sondages : on examine une partie de la population appelée échantillon.

Le principal objectif de la procédure d'échantillonnage est d'assurer que l'échantillon prélevé est représentatif de la caractéristique de la variable que l'on souhaite étudier à l'intérieur de la population et de mesurer, aussi justement que possible, une statistique (moyenne, proportion...) de cette caractéristique, tout en tenant compte d'une certaine variabilité à l'intérieur de l'échantillon.

L'échantillon est alors un sous-ensemble représentatif d'une population, tiré selon des règles précises conformément à un plan de sondage précis donné et une base de sondage.

L'échantillonnage est la méthodologie suivie pour déterminer l'échantillon: sa taille, la base de sondage, le plan de tirage...

Le sondage est donc une enquête sur un échantillon représentatif de la population mère alors défini par un taux, un plan et une base de sondage. C'est aussi le procédé qui consiste à tirer l'échantillon.

On considère une population bien déterminée et une variable formalisant l'information qui nous intéresse, appelée variable d'intérêt et que l'on notera désormais Y , définie sur chaque individu de cette population.

L'individu est l'unité de base à laquelle on s'intéresse, et la population est l'ensemble des individus. Le terme « individu » est à prendre au sens large : il peut s'agir d'une personne physique, mais aussi d'un logement (dans une population de logements), d'une entreprise (dans une population d'entreprises), ...

On peut considérer qu'une population est définie par la conjonction de quatre facteurs : sa nature (un individu, un logement, une entreprise), ses caractéristiques intrinsèques (le sexe, le type de logement, le secteur d'activité, la matière), sa localisation (dans une ville, un



district donné), et la date à laquelle on la considère. Ces facteurs sont cités dans un ordre de « stabilité » décroissante.

On suppose, sauf mention contraire, que la population est de taille finie et connue, notée N . On prend pour acquis qu'il existe, pour chaque individu de cette population, une information d'une nature quelconque permettant de le repérer précisément et sans aucune ambiguïté. Une information de cette nature est appelée identifiant. L'identifiant de l'individu « courant » de la population sera notée i , et la valeur prise par la variable Y sur cet individu sera notée Y_i . La variable Y à laquelle on fait référence peut être quantitative (revenu d'un individu, nombre de pièces d'un logement, bénéfice d'une entreprise) ou qualitative (catégorie socio - professionnelle d'un individu, caractère individuel ou collectif d'un logement, localisation géographique du siège social d'une entreprise).

La démarche qui consiste à collecter et à traiter de l'information pour mieux connaître la population au travers de la fonction des Y_i qui nous intéresse s'appelle l'enquête.

Déterminer la méthode de sélection de l'échantillon et la formulation de l'estimateur, c'est déterminer par définition le plan de sondage.

2.1.1. Le plan d'enquête

Une fois les objectifs, les lignes directrices et les définitions élaborées, un plan d'enquête peut être élaboré. Il comporte trois parties :

- Le plan d'échantillonnage : la façon dont on prélèvera l'échantillon
- Les techniques d'estimation : la façon dont on appliquera les résultats établis à partir de l'échantillon à l'ensemble de la population
- Les mesures de la précision : la façon dont on mesurera l'erreur d'échantillonnage.



Les étapes principales sont alors les suivantes :

1. Déterminer ce que sera la population observée
2. Choisir le délai d'exécution de l'enquête le plus approprié
3. Définir les unités d'enquête
4. Établir la taille de l'échantillon
5. Sélectionner une méthode d'échantillonnage.

L'échantillonnage permet de tirer des conclusions au sujet d'un tout en y examinant une partie. Il permet d'estimer des caractéristiques d'une population en observant directement une partie de l'ensemble de la population. On ne s'intéresse pas à l'échantillon lui-même, mais à ce qu'il est possible d'apprendre à partir de l'enquête et à la façon dont on peut appliquer cette information à l'ensemble de la population.

L'enquête - échantillon doit être correctement définie et organisée. Si l'on pose les mauvaises questions aux mauvaises personnes, l'information que recevront les statisticiens ne leur sera pas utile lorsqu'ils l'appliqueront à l'ensemble de la population.

Voici les étapes à suivre pour sélectionner un échantillon et s'assurer qu'il atteindra ses buts :

■ **Établir les objectifs de l'enquête**

La première étape de la planification d'une enquête utile et efficace consiste à en préciser de façon aussi détaillée que possible les objectifs. L'enquête ne produira probablement pas de résultats utilisables sans ces objectifs. Clarifier les objectifs de l'enquête est essentiel à son succès définitif. Il faudrait à ce stade identifier les utilisateurs initiaux et définir les utilisations initiales des données.

On devrait alors évaluer les avantages et les inconvénients d'un recensement par rapport à une enquête par échantillonnage ou à l'utilisation de dossiers administratifs et déterminer la méthode la plus appropriée à employer.



■ Définir la population cible

La population cible est la population totale pour laquelle on a besoin de l'information. Il faut décrire les unités qui composent la population sous forme de caractéristiques les identifiant clairement. Plus précisément, les caractéristiques suivantes définissent la population cible :

- la nature des données dont on a besoin : sur des personnes, des hôpitaux, des écoles, ...
- l'emplacement géographique : il faut déterminer les limites géographiques qui circonscrivent la population et le degré de détail géographique dont on a besoin pour l'estimation découlant de l'enquête (par province, par ville, ...).
- la période de référence : la période de temps visée par l'enquête.

D'autres caractéristiques, comme des caractéristiques sociodémographiques ou le type d'industrie.

■ Déterminer les données à recueillir

Il faut établir les exigences de l'enquête en matière de données. On doit aussi déterminer la terminologie et les définitions nécessaires relatives aux données pour s'assurer que les exigences de l'enquête sont justifiées sur le plan opérationnel.

■ Fixer le degré de précision

Il y a un degré d'incertitude associé aux estimations établies à partir d'un échantillon. Par exemple, si l'on tente d'estimer la distance moyenne entre la maison et l'école des élèves d'une classe qui en compte 25, à partir d'un échantillon de 5 personnes, l'estimation dépendra de l'identité des 5 élèves échantillonnés. Si les 5 élèves échantillonnés vivent tous près de l'école, les résultats ne pourront représenter la classe avec exactitude. Cette variation d'un échantillon à l'autre est ce qui cause l'erreur d'échantillonnage. Toutefois, on peut estimer l'erreur d'échantillonnage associée à un plan de sondage particulier et essayer de la réduire le plus possible.

Lorsqu'on conçoit une enquête, il faut établir le degré acceptable d'incertitude des estimations découlant de l'enquête. Ce degré dépend de l'utilisation finale des résultats et de l'importance du budget global de l'enquête. Plus le budget de l'enquête sera élevé, plus on disposera de ressources et, par conséquent, moins le risque d'erreur sera élevé. De plus, si le résultat final de l'enquête consistait à servir une fin particulière, le degré acceptable



d'incertitude serait alors moins élevé qu'un résultat final qui consisterait simplement à chercher des tendances générales.

La taille de l'échantillon déterminera aussi le degré d'incertitude. L'accroissement de la taille de l'échantillon entraînera une diminution de l'erreur d'échantillonnage. (Si on échantillonne 24 des 25 élèves de la classe, il n'y aura pas autant de variations d'un échantillon à un autre qu'il y en aurait si on n'échantillonnait que 5 élèves sur les 25 échantillons possibles.)

En résumé, pour pouvoir réaliser un tirage probabiliste proprement, c'est-à-dire un tirage où, par définition, chaque individu de la population a une probabilité connue et fixée par avance de faire partie de l'échantillon à enquêter, il est nécessaire de disposer avant toutes choses d'une liste de toutes les unités d'échantillonnage faisant partie du champ de l'enquête (c'est-à-dire susceptibles d'être enquêtées parce qu'elles appartiennent à la population sur laquelle on réalise l'inférence). Cette liste doit avoir trois qualités principales :

- Elle doit permettre de repérer l'unité sans aucune ambiguïté.
- Elle doit être exhaustive
- Elle doit être sans double compte.

Le sondage ne doit être conçu qu'en examinant parallèlement ces trois questions :

- L'estimateur et la précision dépendent fondamentalement de la méthode de tirage
- précision dépend de l'estimateur utilisé
- la méthode de tirage est autonome dans sa réalisation, mais elle est (presque toujours...) choisie en fonction de la précision souhaitée et de la complexité qu'il y a à calculer les estimateurs.

Déterminer la méthode de sélection de l'échantillon et la formulation de l'estimateur, c'est déterminer par définition le plan de sondage.



2.1.2. La base de sondage

La base de sondage est l'outil qu'on utilise pour avoir accès à la population. Il existe deux types de bases de sondage : les nomenclatures et les bases aléatoires.

Une nomenclature est simplement une liste de noms et d'adresses qui donnent directement accès à des « unités ». Les bases aléatoires sont des listes de régions géographiques qui donnent indirectement accès à des unités (comme les quartiers d'une localité).

On doit définir la population cible tôt durant le processus de conception de l'enquête. Il s'agit de la population pour laquelle on a besoin d'information. Il faut toutefois en exclure certains membres en raison de contraintes opérationnelles : le coût élevé de la collecte des données dans certaines régions éloignées, la difficulté d'identifier des composantes de la population cible et de les contacter,.... Lorsque certains des membres de la population cible sont exclus d'une enquête, nous appelons la population qui est prise en compte la population observée.

La population cible est la population que nous voulons observer, tandis que la population observée est la population que nous pouvons observer.

Ce processus a pour but de faire en sorte que la population observée se rapproche autant que possible de la population cible. Il est également très important d'informer les utilisateurs des données des différences entre les deux populations, étant donné que les résultats de l'enquête ne s'appliqueront qu'à la population observée.

2.1.3. Les unités d'enquête

La fonction des valeurs individuelles inconnues Y_i est ce que nous cherchons à calculer. L'obtention de données individuelles peut mettre en jeu deux notions du terme « individu ». Il peut s'agir de l'unité d'observation, unité de base i intervenant dans la fonction que l'on cherche à connaître, et sur laquelle on collecte effectivement l'information. Il peut aussi s'agir de l'unité d'échantillonnage, unité désignée au terme du processus de tirage de l'échantillon qui, lorsqu'elle diffère de l'unité d'observation, est en mesure de fournir à l'enquêteur



l'information recherchée concernant l'ensemble des unités d'observation auxquelles elle renvoie.

Il existe trois types d'unités qu'il faut identifier correctement afin d'éviter des problèmes durant les stades de la sélection, de la collecte des données et de l'analyse des données. Ce sont :

- L'unité d'échantillonnage, qui fait partie de la base de sondage et qui peut donc être sélectionnée.
- L'unité déclarante, qui fournit l'information qu'exige l'enquête.
- L'unité de référence ou l'unité d'analyse, c'est-à-dire l'unité au sujet de laquelle de l'information est fournie, qui sert à analyser les résultats de l'enquête.

Par exemple, dans le cadre d'une enquête sur les nouveau-nés dans une ville lambda, l'unité d'échantillonnage pourrait être un ménage, l'unité déclarante, l'un des parents ou le tuteur légal, et l'unité de référence, le bébé.

Les unités d'échantillonnage peuvent différer suivant la base de sondage utilisée. C'est pourquoi on définit la population observée, la base de sondage et les unités d'enquête les unes par rapport aux autres.

On supposera désormais qu'une unité d'observations et une unité d'échantillonnage coïncident. En effet, chaque unité d'observation renvoyant à une unique unité d'échantillonnage, on peut établir des correspondances propres et simples entre échantillon (réel) d'unités d'échantillonnage et échantillon (dédit) d'unités d'observations à partir duquel on construit notre estimateur.

2.1.4. La taille de l'échantillon

Pour atteindre un certain degré de précision, il faudra que la taille de l'échantillon repose, entre autres choses, sur les facteurs suivants :

- La variabilité des caractéristiques qu'on sera en train d'observer. Si toutes les personnes membres d'une population gagnaient le même salaire, un échantillon



d'une seule personne serait alors tout ce dont on aurait besoin pour estimer le salaire moyen de la population en question. Si les salaires de ses membres étaient très différents, on aurait alors besoin d'un échantillon plus grand pour en produire une estimation fiable.

- La taille de la population : dans une certaine mesure, plus la population est importante, plus on a besoin d'un échantillon de plus grande taille. Cependant, une fois qu'on a atteint un certain niveau, une augmentation de la population n'a plus d'influence sur la taille de l'échantillon. La taille de l'échantillon nécessaire pour atteindre un certain degré de précision, par exemple, sera à peu près la même pour une population d'un million que pour une population deux fois plus importante.
- Les méthodes d'échantillonnage et d'estimation : toutes les méthodes d'échantillonnage et d'estimation ne sont pas aussi efficaces les unes que les autres. On aura besoin d'un échantillon plus grand si notre méthode d'échantillonnage n'est pas la technique la plus efficace. Toutefois, en raison de contraintes opérationnelles et de la non - disponibilité d'une base de sondage suffisante, on ne peut pas toujours utiliser la technique la plus efficace.

2.1.4.1. Quelle doit être la taille minimale de l'échantillon ?

La question de la taille minimale de l'échantillon se pose essentiellement pour la méthode d'évaluation contingente et la méthode des coûts de transport. Pour la méthode des prix hédoniques, les problèmes sont spécifiques.

Cette question peut être appréhendée sous deux aspects :

- **Budget disponible** : compte tenu du budget disponible et de la méthode d'enquête choisie, quel est le nombre de personnes que l'on peut interroger ?
- **Calculs statistiques** : pour obtenir une précision (et une puissance) donnée, combien de personnes faut-il interroger ?



2.1.4.2. Détermination de la taille de l'échantillon en fonction du budget disponible

Le coût total de réalisation d'une enquête sous-traitée à un bureau d'études ou à un institut de sondages peut généralement être décomposé de la façon suivante (les montants sont indicatifs et TTC ; ils peuvent varier d'une étude à l'autre et d'un consultant à l'autre) :

- **Préparation de l'enquête** : élaboration des plans de sondage, rédaction des questionnaires, tirage des adresses, repérage sur site, pilotage des questionnaires. Le coût de cette phase est généralement compris entre 9 000 € et 12 000 €.
- **Réalisation des enquêtes/questionnaires** : Le coût de cette phase est fonction du mode d'enquête, du nombre et de la durée des questionnaires.
- **Restitution des résultats** (hors analyse) : codification, saisie, rapports. Le coût de cette phase est généralement compris entre 8 000 € et 12 000 € .

Dans cette optique, la taille de l'échantillon s'obtient en divisant le budget consacré à la réalisation de l'enquête (deuxième étape) par le coût unitaire de réalisation d'un questionnaire. Le budget consacré à la réalisation de l'enquête s'obtient par différence entre le montant que l'on souhaite allouer à l'étude et le coût des deux autres phases.

2.1.4.3. Détermination de la taille de l'échantillon à partir de calculs statistiques

La taille de l'échantillon a une influence à la fois sur la précision des résultats obtenus et sur la puissance des tests statistiques. Dans les études de valorisation, c'est surtout le premier élément qui est privilégié. Plus la taille de l'échantillon sera grande, plus les résultats seront précis et fiables.

La théorie des sondages fournit des éléments pour déterminer de façon théorique la taille minimale d'un échantillon pour une précision donnée. La précision d'une enquête peut être décrite par :

- **l'erreur absolue** : écart (en valeur absolue) entre la vraie valeur (inconnue) et la valeur estimée sur l'échantillon
- **l'erreur relative** : écart en pourcentage entre la vraie valeur (inconnue) et la valeur estimée sur l'échantillon.



Pour calculer la taille d'échantillon minimale, il est nécessaire de connaître la variance ou le coefficient de variation (rapport entre l'écart-type et la moyenne) de la variable (le consentement à payer ou à recevoir) pour la population générale. Or, ces deux grandeurs sont inconnues. On peut les obtenir à partir d'une enquête précédente portant sur un thème similaire ou par une enquête pilote.

Les tableaux suivants présentent les tailles d'échantillon minimales pour différentes valeurs du coefficient de variation, différents degrés de précision (erreur relative) et différentes tailles de la population générale (habitants ou ménages selon le cas étudié).

Taille de la population générale : 5 000 ménages

		Erreur relative								
		2%	4%	5%	7,5%	10%	15%	20%	25%	50%
Coefficient de variation	0,75	2 597	1 063	737	357	207	94	53	34	9
	1	3 288	1 622	1 175	601	357	165	94	61	15
	1,5	4 060	2 597	2 044	1 175	737	357	207	135	34
	2	4 424	3 288	2 757	1 767	1 175	601	357	234	61
	4	4 842	4 424	4 155	3 430	2 757	1 767	1 175	822	234

Tableau 5 : taille d'échantillon minimale

Lecture : Si la population totale est de 5 000 ménages, pour obtenir une précision de 10 % avec un coefficient de variation de 1, il faut interroger 357 personnes.

Taille de la population générale : 10 000 ménages

		Erreur relative								
		2%	4%	5%	7,5%	10%	15%	20%	25%	50%
Coefficient de variation	0,75	3 507	1 190	796	370	212	95	54	34	9
	1	4 899	1 936	1 332	639	370	168	95	61	15
	1,5	6 836	3 507	2 569	1 332	796	370	212	136	34
	2	7 935	4 899	3 807	2 146	1 332	639	370	240	61
	4	9 389	7 935	7 109	5 222	3 807	2 146	1 332	895	240

Tableau 6 : taille d'échantillon minimale

Dans les études d'évaluation contingente, les écarts-types sont parfois importants par rapport à la moyenne (coefficient de variation supérieur ou égal à 2), ce qui oblige à ce que les échantillons soient de taille relativement grande.

Pour la méthode d'évaluation contingente, l'utilisation de questions fermées pour la révélation du consentement à payer (recevoir) requiert une taille d'échantillon plus grande que



l'utilisation de questions ouvertes. Néanmoins, dans les questions ouvertes, il est fréquent qu'une proportion non négligeable de personnes prêtes à payer ne parvienne pas à formuler un montant, de sorte que la taille de l'échantillon utilisable est réduite.

Sauf cas particulier et en faisant abstraction du coût de réalisation de l'enquête, la taille d'un échantillon ne devrait jamais être inférieure à 250-300 observations. La taille recommandée est plutôt de 750 à 1000 questionnaires.

2.1.4.4. Cas particulier de la méthode des prix hédoniques

Pour la méthode des prix hédoniques, l'échantillon devrait être exhaustif, c'est-à-dire comprendre l'ensemble des transactions réalisées au cours d'une période donnée. A défaut, la taille minimale de l'échantillon devrait être de 250-300 transactions. Même si l'échantillon est exhaustif, conduire une analyse par la méthode des prix hédoniques avec un échantillon de taille inférieure à 250 mutations semble délicat.

2.1.5. L'inférence statistique

La fonction des Y_i qui nous intéresse est un paramètre, c'est-à-dire une grandeur fixée mais inconnue. On la note :

$$\vartheta = f(Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$$

où N est la taille connue de la population. Elle fait intervenir, dans le cas le plus général, l'ensemble des valeurs Y_i de tous les individus de la population. Pour le sondeur, elle représente la vraie valeur⁹ qu'il faut estimer. Dans le cas d'une moyenne, par exemple :

$$f(Y_1, Y_2, \dots, Y_N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i = \bar{Y}$$

Dans le cas d'une dispersion (ou « variance » en statistique descriptive) :

$$f(Y_1, Y_2, \dots, Y_N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2$$

⁹ Pour des raisons qui touchent à la fois à l'honnêteté et à la méthodologie, il convient de préciser, préalablement à chaque enquête, ce que l'on mesurerait si on pouvait effectuer un recensement. C'est précisément cela que l'on appelle « vraie valeur », élément fondamental à connaître dans la théorie des sondages.



L'information est collectée sur un échantillon de taille n tiré par une méthode appropriée. Une fois l'échantillon tiré, nous disposons de l'information suivante :

$$Y_{i_1}, Y_{i_2}, \dots, Y_{i_N}$$

Supposons que nous ne disposions que de cela (absence totale d'information auxiliaire). Cherchant toujours θ , il faut combiner ces n valeurs pour obtenir une expression dont la valeur numérique soit proche de celle de θ . Il s'agit d'une fonction g , qui peut être d'expression compliquée, et qui est calculée à partir des données de l'échantillon seulement, soit :

$$g(Y_{i_1}, Y_{i_2}, \dots, Y_{i_N})$$

La procédure qui permet de passer des données recueillies sur l'échantillon à la vraie valeur inconnue s'appelle l'inférence¹⁰ statistique. On peut aussi parler d'extrapolation, mais pas de redressement car ce dernier terme doit être réservé à des opérations très particulières. L'inférence constitue le cœur même du processus de sondage.

¹⁰ Inférer : tirer une conséquence d'un fait, d'un principe.



La figure suivante résume le procédé :

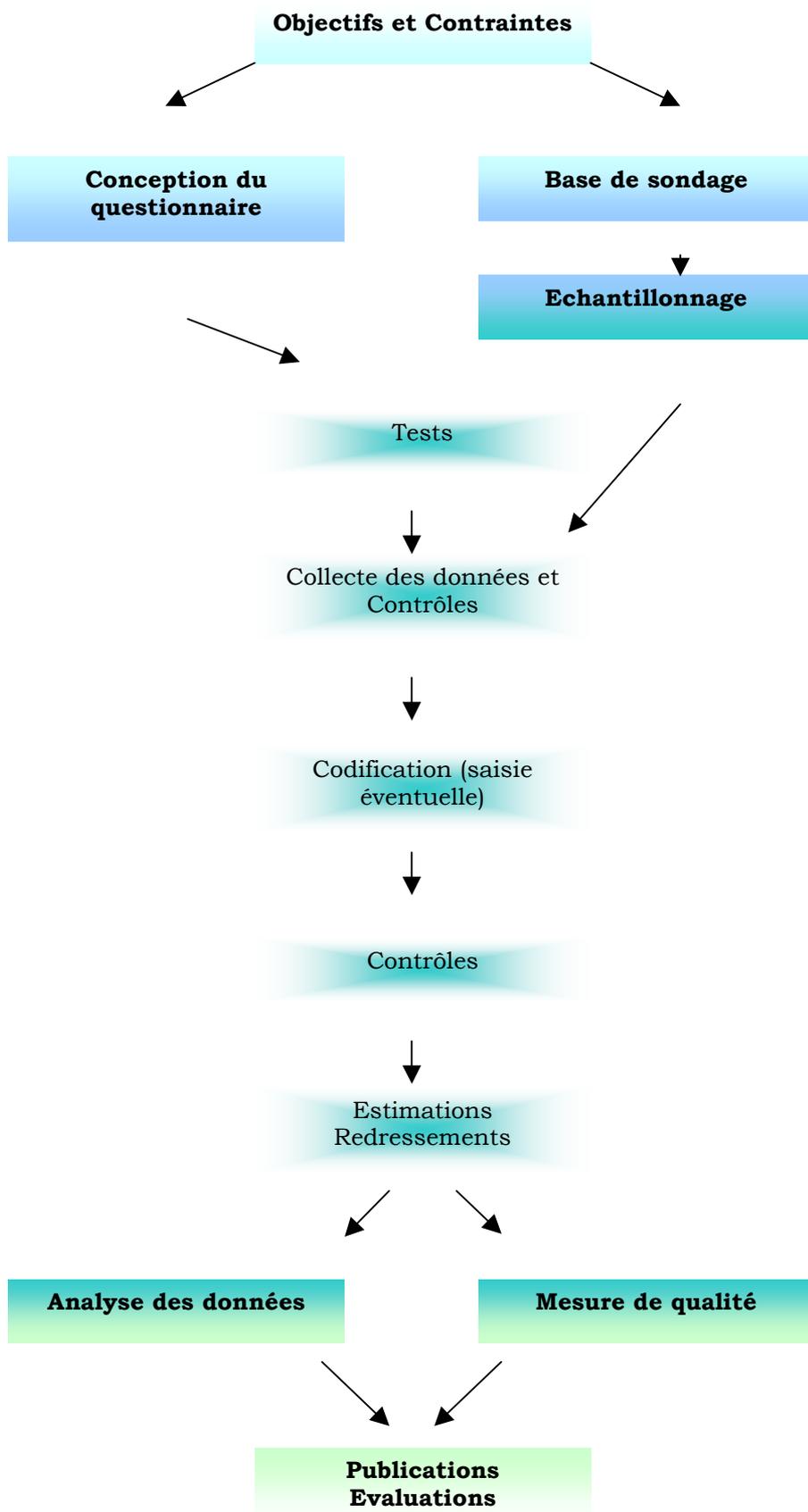


Figure 10 : Procédure d'inférence statistique



2.2. Taille de l'échantillon

Le but de l'échantillonnage est de fournir suffisamment d'informations pour que des inférences concernant la population puissent être faites. En fait, dans nombre de cas, il s'avère tout simplement impossible d'étudier toute la population, parce que ce serait risqué, paradoxal ou trop exigeant.

Lors de l'échantillonnage, on tente de choisir un sous-ensemble de la population qui représente le plus fidèlement possible les caractéristiques de la population.

Cependant, il est impossible de choisir un échantillon qui soit parfaitement représentatif de la population : on ne peut raisonnablement pas imaginer que l'indice statistique obtenu pour un échantillon prenne exactement la même valeur que le paramètre que l'on désire estimer.

La taille de l'échantillon a une influence considérable sur la validité des conclusions. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, la taille de l'échantillon est relativement peu liée à la taille de la population étudiée. En revanche, elle doit être définie en fonction du budget et des ressources disponibles, du nombre de sous-groupes qui doivent être étudiés, du temps dont on dispose pour l'enquête, des fluctuations au sein d'une population de la variable étudiée, du degré de certitude que l'on aimerait avoir sur le fait que l'estimation se situe dans une certaine marge de la valeur réelle pour cette population, ainsi que de la marge d'erreur maximale (ou erreur d'échantillonnage) qu'on lui accorde, celle-ci se rapportant à la certitude que l'échantillon représente bien la population étudiée et à la probabilité qu'il ne soit pas biaisé.

En somme, il est impossible d'éliminer complètement l'*erreur d'échantillonnage*. Mais les méthodes de l'inférence statistique tiennent systématiquement compte de ce type d'erreur. Il est à noter que la seule façon d'éliminer complètement cette erreur serait d'étudier l'ensemble de la population.

Dans un échantillon, la valeur d'un paramètre statistique quelconque comme la moyenne ou la variance tend à suivre une certaine distribution bien déterminée et converge vers la valeur réelle du paramètre correspondant dans la population - mère d'où on a tiré l'échantillon. C'est ce qu'on appelle la distribution d'échantillonnage.



Sur cette propriété fondamentale s'appuient les techniques de sondage pour fixer la **taille minimale d'un échantillon à enquêter** si on veut qu'il soit représentatif (on effectue un tirage aléatoire afin de s'assurer qu'il ne prenne pas en compte la spécificité propre des individus) ou si on veut estimer la valeur réelle d'un paramètre de la population en fonction du résultat obtenu sur l'échantillon avec un risque d'erreur connu (i.e. lorsqu'on souhaite estimer la valeur d'un paramètre sur l'ensemble de la population, comme la proportion, la moyenne, la variance du caractère étudié... à partir de la valeur du paramètre statistique de l'échantillon).

Pour atteindre un certain degré de précision, il faut que la taille de l'échantillon repose, entre autres choses, sur les facteurs suivants :

La variabilité des caractéristiques qu'on est en train d'observer.

- **La taille de la population** : dans une certaine mesure, plus la population est importante, plus on a besoin d'un échantillon de plus grande taille. Cependant, une fois qu'on a atteint un certain niveau, une augmentation de la population n'a plus d'influence sur la taille de l'échantillon. La taille de l'échantillon nécessaire pour atteindre un certain degré de précision, par exemple, sera à peu près la même pour une population d'un million que pour une population deux fois plus importante.
- **Les méthodes d'échantillonnage et d'estimation** : Toutes les méthodes d'échantillonnage et d'estimation ne sont pas aussi efficaces les unes que les autres. On aura besoin d'un échantillon plus grand si notre méthode d'échantillonnage n'est pas la technique la plus efficace. Toutefois, en raison de contraintes opérationnelles et de la non - disponibilité d'une base de sondage suffisante, on ne peut pas toujours utiliser la technique la plus efficace.

La taille de l'échantillon a une influence fondamentale sur la précision des estimations réalisées sur les caractéristiques de la population - mère.

Pour des raisons économiques, il est nécessaire d'utiliser une taille d'échantillon la plus réduite possible tout en obtenant un taux de confiance suffisant.



Le sondage trouve son fondement théorique dans la **loi faible des grands nombres** de Bernouilli (Annexe 4). Cette loi établit le passage de la théorie des probabilités à la théorie statistique et rend compte de la convergence des fréquences et des probabilités. Lorsque la taille de l'échantillon n augmente, les valeurs observées dans l'échantillon tendent à converger vers les valeurs réelles de la population avec un certain risque déterminé (Annexe 5). Ce risque d'erreur diminue lorsque la taille de l'échantillon augmente et tend vers zéro dans le cas d'un recensement .

Trois paramètres doivent être pris en compte pour la détermination d'une taille minimum d'échantillon :

- La **marge d'erreur** que l'on se donne pour la grandeur que l'on veut estimer
- Le **taux de confiance** que l'on souhaite garantir sur la mesure
- La **proportion** connue ou supposée dans la population – mère.

Deux types de sondages sont considérés :

- le sondage **sans remise** (chaque individu qui est tiré est sorti de la base d'échantillonnage)
- le sondage **avec remise** (chaque individu tiré est remis dans la base d'échantillonnage).
- Dans les deux cas, les tirages sont successifs.

La méthode de sondage avec remise fournit une estimation satisfaisante de la moyenne réelle car l'espérance mathématique est un estimateur sans biais, d'une part, et que l'on peut donner un encadrement de l'estimation dès lors que n est suffisamment grand (>30). Deux paramètres vont alors déterminer l'importance de l'intervalle : la variance dans la population et la taille de l'échantillon.

Le calcul de la taille d'un échantillon peut être traité de manière analogue dans deux situations :

- celle d'une **variable dichotomique** (i.e. qui prend deux modalités)
- celle d'une **variable continue** (i.e. qui prend une infinité de valeurs).



Dans le premier cas, il s'agira de faire l'estimation d'une fréquence, dans le second cas d'une moyenne. On se limitera ici au premier cas :

Soit π la fréquence dans la population, et p la fréquence estimée par un échantillon de taille n (p représente la valeur estimée).

L'intervalle de confiance est défini par :

$$p - t_{\alpha} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \leq \pi \leq p + t_{\alpha} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

La **précision absolue** de la mesure est :

$$\varepsilon = \pm t_{\alpha} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

t dépend du degré de confiance que l'on souhaite (Veut-on un encadrement à 95%, 99% ?)

La **taille de l'échantillon** est donc donnée par :

$$n = \frac{p(1-p)t_{\alpha}^2}{\varepsilon^2}$$

On peut faire la remarque suivante :

Dans l'**hypothèse où on ne connaît pas par avance la proportion**, on retient le cas le plus défavorable, c'est-à-dire celui où $p=50\%$. Dans ce cas général, la formule de la taille d'un échantillon pour un intervalle de confiance à 95% peut être approximée par : $n = \frac{1}{\varepsilon^2}$.

La taille de l'échantillon est donc inversement proportionnelle au carré de la précision. Ceci a une conséquence non négligeable en terme de coût (l'échantillon est en effet plus grand avec $p=1/2$).



Dans les formules suivantes on appelle :

N : la taille de la population - mère

n : la taille de l'échantillon

ε : la marge d'erreur

t : le coefficient de marge déduit du taux de confiance

p : la proportion des éléments de la population - mère qui présentent une propriété donnée.

Les taux de confiance les plus utilisés et les coefficients de marge associés sont donnés dans le tableau suivant :

Taux de confiance	Coefficient de marge (t)
90%	1.65
95%	1.96
99%	2.57

Cas de l'échantillon indépendant (non exhaustif)

La formule donnant la taille de l'échantillon minimum est la suivante (ici, on suppose que la taille de la population est infinie ou très grande) :

$$n = t^2 \frac{p \cdot (1 - p)}{\varepsilon^2}$$

Cas de l'échantillon indépendant corrigé (non exhaustif)

La formule devient :

$$n = t^2 \frac{p \cdot (1 - p)}{\varepsilon^2} \frac{N - n}{N - 1} \Leftrightarrow n = t^2 \frac{p \cdot (1 - p) \cdot N}{\varepsilon^2 \cdot (N - 1) + t^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

Cas de l'échantillon tiré à probabilités inégales (exhaustif)

Dans le tirage exhaustif, l'élément tiré n'est pas remis en jeu. Si N est grand par rapport à n, ce rapport tend vers 1 et il n'y a pas de différence entre les deux modes de tirage. En revanche, si n représente une fraction substantielle de N, alors ce coefficient est très inférieur



à 1 et l'erreur type est donc fortement réduite. Ceci signifie que pour une même précision, on peut avoir un échantillon de taille réduite et donc un sondage moins coûteux.

$$n = \frac{t^2 N}{t^2 + \varepsilon^2 (N - 1)}$$

L'application des formules précédentes suppose la connaissance de la proportion d'éléments de la population - mère sur lesquels porte l'étude. Deux approches sont possibles :

- **Réaliser un pré - sondage** sur un échantillon de petite taille pour avoir une approximation de cette proportion.
- **Estimer au mieux** cette proportion. Dans les formules précédentes, la proportion p est présente sous la forme de la fonction $p(1-p)$ dont la variation est représentée ci-dessous :

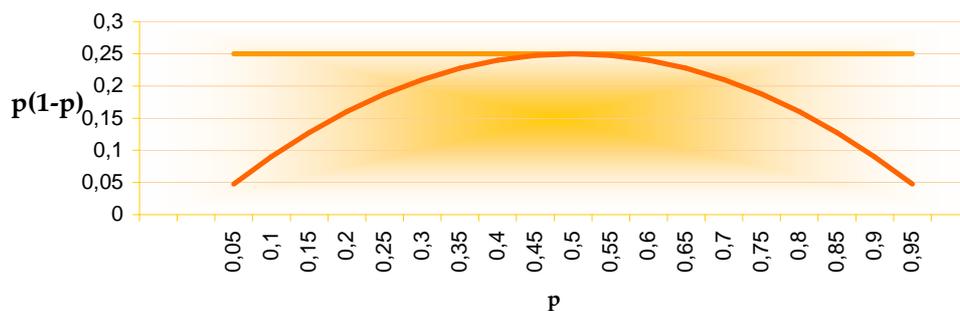


Figure 11 : Variation de la proportion p

Le terme $p(1-p)$ varie entre les valeurs 0 et 0,25, avec une moyenne de 0,175. Si l'on veut avoir un **majorant de la taille de l'échantillon**, on prend la valeur maximum de $p(1-p)$ soit 0,25 correspondant à $p = 0,5$. Si l'on veut une approche plus fine qui **minimise l'erreur** faite sur l'évaluation de la taille, on prend la valeur moyenne soit 0,175 qui correspond à $p = 0,226$.

2.3. La méthode d'échantillonnage

Un plan d'échantillonnage décrit les aspects spatiaux et temporels d'une campagne d'échantillonnage. Il existe deux types de méthodes d'échantillonnage : L'échantillonnage probabiliste et l'échantillonnage non probabiliste. La différence entre les deux tient au fait que dans le cas de l'échantillonnage probabiliste, chaque unité a une « chance » d'être sélectionnée et que cette chance peut être quantifiée, ce qui n'est pas vrai pour l'échantillonnage non probabiliste. Dans ce cas, chaque unité incluse à l'intérieur d'une population n'a pas une chance égale d'être sélectionnée.

Lorsqu'on réalise un sondage, il est nécessaire de garder à l'esprit les deux pôles d'intérêt bien distincts que sont :

- premièrement, la méthode de tirage
- deuxièmement, l'expression de l'estimateur.

La méthode de tirage est le processus que l'on a choisi pour tirer l'échantillon. Parmi les données à considérer à l'issue du tirage, on s'attachera fondamentalement aux valeurs des probabilités que chaque individu tiré avait d'être sélectionné dans l'échantillon avant que le tirage ne se fasse. Dans un sondage dit « probabiliste », ces probabilités sont d'ailleurs calculables pour chaque individu de la population (et pas seulement pour les individus tirés). Elles ne sont pas caractéristiques de la méthode de tirage, car plusieurs méthodes de tirage différentes peuvent conduire au même jeu de probabilités. Elles sont fondamentales, car systématiquement présentes dans le calcul des estimateurs (sur ce point, seulement celles qui concernent les individus de l'échantillon).

L'expression de l'estimateur, en revanche, est la « formule » choisie pour estimer le paramètre inconnu θ qui nous intéresse. Pour une méthode de tirage donnée, il existe de nombreux estimateurs concurrents. Réciproquement, un estimateur donné peut être appliqué à des échantillons tirés selon des méthodes différentes.

Le choix de la méthode de tirage et de l'estimateur dépendent de considérations :

- de biais
- de variance
- de coût
- de disponibilité d'information adéquate.



On rappelle qu'ensemble, ils constituent ce qu'on appelle le plan de sondage.

Deux classes de sondage

On distingue deux grandes catégories de sondage :

- les sondages probabilistes
- les sondages empiriques.

Par définition, les sondages probabilistes sont ceux pour lesquels chaque individu de la population a une probabilité donnée connue d'avance d'appartenir à l'échantillon (dite probabilité d'inclusion, ou probabilité de sélection).

Par opposition, les sondages empiriques sont ceux qui ne permettent pas de calculer la probabilité d'inclusion des individus. Il s'agit principalement des méthodes de quotas et d'unités types.

2.3.1. Échantillonnage probabiliste

L'échantillonnage probabiliste entraîne la sélection d'un échantillon à partir d'une population, sélection qui repose sur le principe de la randomisation (la sélection au hasard ou **aléatoire**) ou la chance. Il est plus complexe, prend plus de temps et est habituellement plus coûteux que l'échantillonnage non probabiliste. Toutefois, comme les unités de la population sont sélectionnées au hasard et qu'il est possible de calculer la probabilité d'inclusion de chaque unité dans l'échantillon, on peut, grâce à l'échantillonnage probabiliste, produire des estimations fiables, de même que des estimations de l'erreur d'échantillonnage et faire des inférences au sujet de la population.

Il existe plusieurs méthodes différentes permettant de sélectionner un échantillon probabiliste. La méthode qu'on choisira dépendra d'un certain nombre de facteurs, comme la base de sondage dont on disposera, la façon dont la population sera distribuée, ce que sonder les membres de la population coûtera et la façon dont les utilisateurs analyseront les données. Lorsqu'on choisira un plan d'échantillonnage probabiliste, notre but devrait consister à réduire le plus possible l'erreur d'échantillonnage des estimations pour les variables d'enquête les plus importantes, tout en réduisant le plus possible également le délai et le coût de réalisation de l'enquête.



Les méthodes d'échantillonnage probabiliste les plus courantes sont :

- l'échantillonnage aléatoire simple
- l'échantillonnage systématique
- l'échantillonnage avec probabilité proportionnelle à la taille
- l'échantillonnage stratifié
- l'échantillonnage en grappes
- l'échantillonnage à plusieurs degrés
- l'échantillonnage à plusieurs phases.

2.3.1.1. Échantillonnage aléatoire simple

Cette méthode consiste à prélever par tirage aléatoire et de façon indépendante n éléments d'une population statistique de N éléments qu'on a au préalable numérotés. Chaque élément de la population possède la même probabilité de faire partie de l'échantillon.

Chaque membre d'une population a donc une chance égale d'être incluse à l'intérieur de l'échantillon. Chaque combinaison de membres de la population a aussi une chance égale de composer l'échantillon. Ces deux propriétés sont ce qui définit un échantillonnage aléatoire simple. On devra dresser une liste de toutes les unités incluses dans la population observée pour sélectionner un échantillon aléatoire simple. Un échantillonnage aléatoire simple peut s'effectuer avec ou sans remplacement. On fera référence à l'échantillonnage sans remplacement lorsque l'on traitera de l'échantillonnage aléatoire simple aux fins des présentes descriptions.

L'échantillonnage aléatoire simple est la méthode d'échantillonnage la plus facile à appliquer et la plus couramment utilisée. L'avantage de cette technique tient au fait qu'elle n'exige pas de données additionnelles dans la base de sondage (comme des régions géographiques) autres que la liste complète des membres de la population observée et l'information pour les contacter. Également, puisque l'échantillonnage aléatoire simple est une méthode simple et que la théorie qui la sous-tend est bien établie, il existe des formules-types pour déterminer la taille de l'échantillon, les estimations, etc.

Cependant, cette technique ne fait aucunement appel aux données auxiliaires contenues dans la base de sondage qui pourraient rendre le plan d'échantillonnage plus efficace. En



outre, même s'il est facile d'appliquer l'échantillonnage aléatoire simple à de petites populations, le faire peut être coûteux et irréalisable pour de grandes populations, parce qu'il faut en identifier et en étiqueter toutes les unités avant l'échantillonnage.

2.3.1.2.Échantillonnage systématique

On peut employer cette méthode lorsque les éléments de la population statistique sont ordonnés en une dimension (au cours du temps) ou en deux dimensions (sur une carte géographique) et sont en nombre connu N .

Parfois appelé échantillonnage par intervalles, l'échantillonnage systématique signifie **qu'il existe un écart, ou un intervalle, entre chaque unité sélectionnée qui est incluse dans l'échantillon**. Chaque membre de la population ne fait partie que de l'un des échantillons et chaque échantillon a une chance égale d'être sélectionné.

Les avantages de l'échantillonnage systématique tiennent au fait que la sélection de l'échantillon est la plus simple (on n'obtient qu'un seul nombre aléatoire, l'origine choisie au hasard, et le reste de l'échantillon suit automatiquement) et que l'échantillon est distribué dans des proportions égales à l'intérieur de la population répertoriée. L'inconvénient majeur de la méthode d'échantillonnage systématique tient au fait que les échantillons possibles risquent de ne pas être représentatifs de la population s'il existe un certain cycle sur le plan du mode d'ordonnement de la population inscrite sur une liste et si ce cycle coïncide d'une quelconque façon avec l'intervalle d'échantillonnage.

On détermine d'abord l'effort d'échantillonnage n . La raison de la progression systématique de l'échantillonnage est le plus grand entier p compris dans N/n . Parmi les N éléments de la population statistique, on choisit par tirage aléatoire le premier élément qui fera partie de l'échantillon; celui-ci se trouvant alors en position i dans la série d'éléments. Les éléments suivants de l'échantillon se trouvent en positions $(i + p)$, $(i + 2p)$, $(i + 3p)$, ... ainsi que $(i - p)$, $(i - 2p)$, $(i - 3p)$, ... dans la population statistique. Cette procédure devrait produire un échantillon systématique comportant n éléments.



2.3.1.3. Échantillonnage avec probabilité proportionnelle à la taille

Pour l'échantillonnage probabiliste, il faut que chaque membre de la population observée ait une chance d'être inclus dans l'échantillon, mais **il n'est pas nécessaire que cette chance soit la même pour tous**. Si la base de sondage renferme de l'information sur la taille de chaque unité, et si la taille de ces unités varie, on peut utiliser cette information dans le cadre de la sélection de l'échantillonnage afin d'en accroître l'efficacité. Cela s'appelle l'échantillonnage avec probabilité proportionnelle à la taille. Dans le cas de cette méthode, plus la taille de l'unité est grande, plus sa chance d'être incluse dans l'échantillon est élevée. Il faut que la mesure de la taille soit exacte pour que cette méthode accroisse l'efficacité.

2.3.1.4. Échantillonnage stratifié

Cette méthode s'impose lorsque les résultats sont recherchés au niveau de chaque sous-population et de la population entière. Le critère de stratification dépend du but recherché. Les résultats de chaque strate sont pondérés par la représentation de la strate dans l'échantillon.

Lorsqu'on utilise l'échantillonnage stratifié, on **divise la population en groupes homogènes** (appelés strates), qui sont mutuellement exclusifs¹¹, **puis on sélectionne à partir de chaque strate des échantillons indépendants**. On peut utiliser n'importe laquelle des méthodes d'échantillonnage mentionnées ici (et il en existe d'autres) pour sélectionner l'échantillon à l'intérieur de chaque strate. La méthode d'échantillonnage peut varier d'une strate à une autre. Lorsqu'on utilise l'échantillonnage aléatoire simple pour sélectionner l'échantillon à l'intérieur de chaque strate, on appelle ce plan d'échantillonnage un plan d'échantillonnage aléatoire simple stratifié. On peut stratifier avant l'échantillonnage une population au moyen de toute variable dont on dispose pour la totalité des unités incluses dans la base de sondage (comme l'âge, le sexe, la province de résidence, le revenu, etc.)

On crée des strates pour plusieurs raisons, la principale étant que leur création peut rendre la stratégie d'échantillonnage plus efficace. On a besoin d'un échantillon plus grand pour obtenir une estimation plus exacte d'une caractéristique qui varie beaucoup d'une unité à l'autre.

¹¹ Lorsqu'un événement exclut automatiquement la possibilité qu'un second événement se produise au même moment, on dit que les résultats sont exclusifs.



C'est l'idée qui sous-tend le gain d'efficacité qu'on réalise grâce à la stratification. Si l'on crée des strates à l'intérieur desquelles des unités auraient des caractéristiques qui seraient similaires (comme le revenu) et qui différeraient considérablement de celles d'unités incluses dans d'autres strates (comme la profession et le type de logement), on n'aurait alors besoin que d'un petit échantillon tiré de chaque strate afin d'obtenir une estimation précise du revenu total pour la strate en question. On pourrait ensuite combiner ces estimations afin d'obtenir une estimation précise du revenu total de l'ensemble de la population. Si l'on doit utiliser un échantillonnage aléatoire simple de la population entière sans effectuer de stratification, il faudrait un échantillon plus grand que la totalité de tous les échantillons de strate afin d'obtenir pour le revenu total une estimation du même degré de précision.

L'échantillonnage stratifié assure l'obtention d'une taille d'échantillon suffisante pour des sous-groupes de la population à laquelle on s'intéresse. Etant donné que chaque strate devient une population indépendante lorsqu'on stratifie une population, on doit déterminer pour chaque strate la taille de l'échantillon.

La stratification est des plus utiles lorsque les variables de stratification sont simples à utiliser, faciles à observer et étroitement reliées au thème de l'enquête.

2.3.1.5. Échantillonnage en grappes

Il est parfois trop dispendieux de disséminer un échantillon dans l'ensemble de la population. Les coûts de déplacement risquent de devenir élevés lorsque les intervieweurs doivent sonder des gens d'un bout à l'autre du pays. Les statisticiens peuvent choisir la technique de l'échantillonnage en grappes pour réduire les coûts.

La technique de l'échantillonnage en grappes entraîne la **division de la population en groupes ou en grappes**. Suivant cette technique, on sélectionne au hasard un certain nombre de grappes pour représenter la population totale, puis on englobe dans l'échantillon toutes les unités incluses à l'intérieur des grappes sélectionnées. On n'inclut dans l'échantillon aucune unité de grappes non sélectionnées; ces unités sont représentées par celles tirées de grappes sélectionnées. La technique en question diffère de la technique d'échantillonnage stratifié, qui entraîne la sélection d'unités de chaque groupe.

Réduire les coûts est l'une des raisons d'utiliser l'échantillonnage en grappes. Ce dernier crée des « poches » d'unités échantillonnées, au lieu de disséminer l'échantillon sur tout le territoire. Le fait que l'on ne dispose parfois pas d'une liste de toutes les unités incluses dans la population (une nécessité lorsqu'on effectue un échantillonnage aléatoire simple, un



échantillonnage systématique ou un échantillonnage avec probabilité proportionnelle à la taille), tandis qu'une liste de toutes les grappes est disponible ou facile à dresser, constitue une autre raison d'utiliser l'échantillonnage en grappes.

Dans la plupart des cas, une perte d'efficacité comparativement à ce qu'il en est lorsqu'on utilise un échantillonnage aléatoire simple représente le principal inconvénient de l'emploi de l'échantillonnage en grappes. Il est habituellement préférable de sonder un grand nombre de petites grappes, plutôt qu'un petit nombre de grandes grappes. En effet, les unités avoisinantes tendent à se ressembler davantage, ce qui donne un échantillon ne représentant pas l'éventail complet d'opinions ou de situations de l'ensemble de la population. L'échantillonnage en grappes ne permet pas de contrôler totalement la taille finale de l'échantillon, ce qui constitue un autre inconvénient de son utilisation.

2.3.1.6.Échantillonnage à plusieurs degrés

La méthode d'échantillonnage à plusieurs degrés ressemble à la méthode d'échantillonnage en grappes, sauf qu'il faut dans son cas **prélever un échantillon à l'intérieur de chaque grappe sélectionnée**, plutôt que d'inclure toutes les unités dans la grappe. Ce type d'échantillonnage exige au moins deux degrés. On identifie et sélectionne au premier degré de grands groupes ou de grandes grappes. Ces grappes renferment plus d'unités de la population qu'il n'en faut pour l'échantillon final.

Pour obtenir un échantillon final, on prélève au second degré des unités de la population à partir des grappes sélectionnées (à l'aide de l'une des méthodes d'échantillonnage probabiliste possibles). Si l'on utilise plus de deux degrés, le processus de sélection d'unités de la population à l'intérieur des grappes se poursuit jusqu'à l'obtention d'un échantillon final.

2.3.1.7.Échantillonnage à plusieurs phases

Un échantillonnage à plusieurs phases entraîne la collecte de données de base auprès d'un échantillon d'unités de grande taille et ensuite, pour un sous - échantillon de ces unités, la collecte de données plus détaillées. La forme la plus courante d'échantillonnage à plusieurs phases est l'échantillonnage à deux phases (ou l'échantillonnage double), mais il est également possible d'effectuer un échantillonnage à trois phases ou plus.



L'échantillonnage à plusieurs phases est assez différent de l'échantillonnage à plusieurs degrés, malgré les similarités entre eux sur le plan de leur appellation. Même si l'échantillonnage à plusieurs phases suppose aussi le prélèvement de deux échantillons ou plus, dans son cas, tous les échantillons sont tirés de la même base de sondage et les unités sont structurellement les mêmes à chaque phase. Comme dans le cas de l'échantillonnage à plusieurs degrés, plus l'on utilisera de phases, plus le plan d'échantillonnage et l'estimation deviendront complexes.

L'échantillonnage à plusieurs phases est utile lorsqu'il manque à l'intérieur de la base de sondage des données auxiliaires qui pourraient servir à stratifier la population ou à rejeter à la sélection une partie de la population.

On pourrait utiliser l'échantillonnage à plusieurs phases lorsqu'on disposerait d'un budget insuffisant pour recueillir des données auprès de l'échantillon entier ou lorsque recueillir des données auprès de l'échantillon entier imposerait un fardeau excessif aux répondants ou même quand les coûts de collecte pour différentes questions d'une enquête différeraient énormément.

2.3.2. Échantillonnage non probabiliste

La différence entre l'échantillonnage probabiliste et l'échantillonnage non probabiliste tient à une hypothèse de base au sujet de la nature de la population étudiée. Dans le cas de l'échantillonnage probabiliste, chaque unité a une chance d'être sélectionnée. Dans celui de l'échantillonnage non probabiliste, on suppose que la **distribution des caractéristiques à l'intérieur de la population est égale**. C'est ce qui fait que le chercheur croit que n'importe quel échantillon serait représentatif et que les résultats, par conséquent, seront exacts. Pour l'échantillonnage probabiliste, la randomisation est une caractéristique du processus de sélection, plutôt qu'une hypothèse au sujet de la structure de la population.

Dans le cas de l'échantillonnage non probabiliste, puisqu'on choisit arbitrairement des unités, il n'existe aucune façon d'estimer la probabilité pour une unité quelconque d'être incluse dans l'échantillon. Également, comme la méthode en question ne fournit aucunement l'assurance que chaque unité aura une chance d'être incluse dans l'échantillon, on ne peut estimer la variabilité de l'échantillonnage ni identifier le biais possible.



On ne peut pas mesurer la fiabilité d'un échantillonnage non probabiliste; la seule façon de mesurer la qualité des données en résultant consiste à comparer certains des résultats de l'enquête à l'information dont on dispose au sujet de la population. Encore une fois, rien ne fournit l'assurance que les estimations ne dépasseront pas un niveau acceptable d'erreur. Les statisticiens hésitent à utiliser les méthodes d'échantillonnage non probabiliste, parce qu'il n'existe aucun moyen de mesurer la précision des échantillons en découlant.

Malgré ces inconvénients, les méthodes d'échantillonnage non probabiliste peuvent être utiles lorsqu'on désire des commentaires descriptifs au sujet des échantillons eux-mêmes. Deuxièmement, leur utilisation prend peu de temps tout en étant plus économique et plus pratique. Il existe aussi des domaines, comme la recherche sociale appliquée, où il est impossible ou presque impossible d'effectuer un échantillonnage probabiliste.

L'application de la plupart des méthodes d'échantillonnage non probabiliste exige un certain effort et une certaine organisation, mais d'autres méthodes d'échantillonnage non probabiliste, comme l'échantillonnage de commodité, sont à l'occasion appliquées et n'exigent pas de plan d'action formel.

Les types les plus courants des méthodes en question sont:

- l'échantillonnage de commodité ou à l'aveuglette
- l'échantillonnage **volontaire**
- l'échantillonnage **au jugé**
- l'échantillonnage **par quotas**.

2.3.2.1. Échantillonnage de commodité ou à l'aveuglette

On appelle parfois l'échantillonnage de commodité l'échantillonnage à l'aveuglette ou accidentel. Cet échantillonnage n'est pas normalement représentatif de la population cible, parce **qu'on ne sélectionne des unités d'échantillonnage dans son cas que si on peut y avoir facilement et commodément accès**.

L'avantage évident de la méthode est qu'elle est facile à utiliser, mais la présence de biais annule énormément ce dernier. Même si ses applications utiles sont limitées, la technique peut donner des résultats exacts lorsque la population est homogène.



2.3.2.2.Échantillonnage volontaire

Ce type d'échantillonnage intervient lorsque **des gens offrent volontairement leurs services** pour l'étude dont il est question.

Le fait d'échantillonner des participants volontaires plutôt que la population en général peut introduire des biais marqués.

Il faut aussi noter que les gens qui participent à de tels sondages pourraient avoir des vues différentes de celles des gens qui ne le font pas.

2.3.2.3.Échantillonnage au jugé

On utilise la méthode d'échantillonnage au jugé lorsqu'on **prélève un échantillon en se fondant sur certains jugements au sujet de l'ensemble de la population**. L'hypothèse qui sous-tend son utilisation est que l'enquêteur sélectionnera des unités qui seront caractéristiques de la population. La question cruciale dans ce cas est l'objectivité : dans quelle mesure peut-on se fier à son jugement pour en arriver à un échantillon typique? L'échantillonnage au jugé est exposé aux préjugés du chercheur et est peut-être encore davantage biaisé que l'échantillonnage de commodité ou à l'aveuglette. Étant donné que l'échantillonnage au jugé reflète toutes les idées préconçues que risque d'avoir le chercheur, il peut y avoir introduction de biais importants si ces idées sont inexactes.

La réduction du coût et du temps qu'exige l'acquisition de l'échantillon est l'un des avantages de l'échantillonnage au jugé.

2.3.2.4.Échantillonnage par quotas

L'échantillonnage par quotas est l'une des formes les plus courantes d'échantillonnage non probabiliste. Il s'effectue **jusqu'à ce qu'un nombre précis d'unités (de quotas) pour diverses sous - populations ait été sélectionné**. Puisqu'il n'existe aucune règle qui régirait la façon dont il faudrait s'y prendre pour remplir ces quotas, l'échantillonnage par quotas est réellement un moyen de satisfaire aux objectifs en matière de taille d'échantillon pour certaines sous - populations.



Les quotas peuvent être fondés sur des proportions de la population. On peut penser que l'échantillonnage par quotas est préférable à d'autres formes d'échantillonnage non probabiliste (comme l'échantillonnage au jugé), parce qu'il impose l'inclusion dans l'échantillon de membres de différentes sous - populations.

L'échantillonnage par quotas est un peu similaire à l'échantillonnage stratifié parce que dans son cas également les unités semblables sont regroupées. Toutefois, il en diffère, cependant, sur le plan du mode de sélection. Dans le cas d'un échantillonnage probabiliste, on sélectionne les unités au hasard, tandis que dans celui d'un échantillonnage par quotas, on laisse habituellement à l'intervieweur le soin de déterminer qui sera échantillonné. Cela peut donner lieu à des biais de sélection.

Il est courant, mais il n'est pas nécessaire, que l'échantillonnage par quotas fasse appel à des procédures de sélection au hasard aux stades de départ, en grande partie de la même façon que le fait l'échantillonnage probabiliste. La première étape de l'échantillonnage à plusieurs degrés, par exemple, consisterait à sélectionner au hasard les régions géographiques. La différence se situe au niveau de la sélection des unités aux stades finaux du processus.

L'échantillonnage par quotas est généralement moins coûteux que l'échantillonnage aléatoire. Il est également facile à administrer, compte tenu notamment du fait qu'on peut omettre de la procédure les tâches consistant à dresser la liste de la population entière, à sélectionner au hasard l'échantillon et à exercer un suivi auprès des non répondants. L'échantillonnage par quotas, qui est une méthode d'échantillonnage efficace lorsqu'on a instamment besoin d'information, peut être effectué indépendamment des bases de sondage qui existent. Il peut être la seule méthode d'échantillonnage appropriée dans bien des cas où il n'existe pas de base de sondage convenable pour la population étudiée.



2.4. Préparation des données et redressement d'échantillon

Le redressement d'échantillons est une pratique courante dans l'univers des études et des sondages. Certains résultats ne s'envisagent d'ailleurs tout simplement pas sans le recours préalable à cette technique. C'est le cas notamment des sondages politiques, dont les valeurs sont toujours fournies après l'application de multiples calages, pour prendre en compte les répartitions socio-démographiques, les résultats des élections précédentes et d'autres ajustements plus contestables.

Le redressement d'échantillon est une technique qui consiste à modifier l'échantillon des répondants lors d'une enquête pour s'assurer de sa représentativité. Il est nécessaire lorsque un biais, dû éventuellement à la méthode d'administration, a provoqué la sur-représentation ou la sous - représentation de certaines catégories de répondants au sein de l'échantillon final. Le redressement peut se faire par extraction de profils sur-représentés ou en comptabilisant plusieurs fois des profils sous-représentés.

2.4.1. La préparation des données

Le principal objectif attendu d'une analyse des données est de transformer une base d'informations, qualitatives ou quantitatives, en décisions et plans d'actions opérationnels pour un service, une entreprise ... Pour y parvenir, et quelles que soient les méthodes utilisées, des plus simples aux plus complexes, la performance de la démarche repose sur la qualité des informations qui serviront de base aux analyses. Cette qualité dépend de plusieurs facteurs : le recueil des données, en particulier selon leur origine et leur mode de collecte. Ce recueil peut reposer sur de multiples moyens, supports et processus, ce qui exigera des consolidations ou des liens entre plusieurs fichiers ayant parfois des structures différentes : la teneur des informations, en termes de types de variables (quantitatives/qualitatives, brutes ou classifiées,...) mais également concernant les valeurs aberrantes, manquantes ou nulles. La phase indispensable de préparation des informations à analyser dépend de plus en plus des logiciels que l'on souhaite utiliser pour effectuer les traitements. Les formats, le mode de gestion des données nulles ou absentes, les modes de calculs, répondent à certaines contraintes, qui peuvent être différentes d'un outil à l'autre. Ces éléments doivent être bien connus et anticipés si l'on veut éviter, lors du traitement, les surprises éventuelles et les erreurs de raisonnement et de calcul qui pourraient en découler. La meilleure manière de



s'assurer que l'on dispose de données de qualité consiste à contrôler à la source, lorsque cela est possible, le processus d'acquisition et éventuellement de consolidation des données. Au delà des procédures de contrôle liées aux sources d'informations, d'autres actions sont essentielles et poursuivent cette étape, en s'intéressant directement au "contenu" des informations. Même si la base est alimentée de façon automatique, il est de toute manière nécessaire de réaliser des contrôles de présence et de cohérence des données. Plus la base est importante plus un développement informatique et une automatisation de cette tâche seront utiles, en contrôlant par exemple la qualité des données par des tests de distribution et des mesures de contribution de certaines valeurs. On peut distinguer et détailler ici trois exemples de procédures possibles :

- l'identification de valeurs aberrantes
- la prise en compte de valeurs manquantes
- la gestion de valeurs nulles .

L'identification de valeurs aberrantes peut être réalisée principalement suivant trois méthodes :

- Isoler des "pics" de valeurs suivant une distribution statistique.
- Définir un intervalle compris entre la moyenne et un certain nombre d'écart types
- Puis limiter ou supprimer toutes les valeurs se trouvant à l'extérieur de cet intervalle.

On doit prêter attention à une procédure de ce type entraînant un nombre trop élevé de suppression, qui peut révéler un problème plus grave quant à la fiabilité de la base de données.

La prise en compte de valeurs manquantes peut là encore suivre trois méthodes :

- La suppression des enregistrements incomplets : c'est une décision très radicale et restrictive, qui peut faire perdre un nombre élevé d'informations, par ailleurs tout à fait valables sur certains champs, alors que l'on pourrait envisager de remplacer ou de "réparer" ces valeurs.



- Le remplacement des valeurs : certains logiciels permettent de substituer une valeur absente par une valeur calculée, mais encore faut-il s'accorder sur la méthode de ce choix (moyenne, médiane, ...)
- La gestion des valeurs : certains logiciels acceptent de réaliser des calculs en l'absence de certaines valeurs, sans altérer la pertinence des traitements et des résultats, ou en les considérant comme des facteurs complémentaires d'indécision, en multipliant les cas de résolution possibles. Cela reste cependant un frein au déroulement correct de l'étude.

La gestion des valeurs nulles dépend directement du principe de calcul des logiciels ensuite utilisés, et du degré de fiabilité des traitements et des résultats que cela peut induire. Il faut cependant souligner qu'une présence trop importante de valeurs nulles ou de valeurs absentes peut en fait révéler des problèmes plus généraux, liés soit au recueil des données, au système de stockage, aux règles de contrôle, à la complexité des données elles-mêmes, ... et qu'il faut veiller à remonter à la source du problème.

2.4.2. *Le redressement d'échantillon*

Le principe fondamental à retenir est le suivant : lorsqu'on **dispose d'une information auxiliaire, il faut chercher à l'utiliser** dans le but d'obtenir des estimateurs plus précis que les estimateurs simples de la moyenne ou du total qui apparaissent naturellement dans la partie consacrée au sondage aléatoire simple. L'opération de prise en compte de l'information auxiliaire dans l'expression de l'estimateur lorsqu'il y a déconnexion complète entre phase de tirage et utilisation de cette information mène au **redressement**.

La philosophie du redressement selon une variable X est la suivante : ayant tiré un échantillon selon un procédé quelconque, on construit un estimateur qui, mis en œuvre pour estimer le vrai total T connu pour la variable X , conduit à l'estimation T quelque soit l'échantillon. Cet estimateur estime donc avec une variance nulle le total, supposé connu, de la variable selon laquelle on redresse. Ce résultat constitue la **propriété fondamentale du redressement**.

Pratiquement, on part d'un estimateur classique ne tenant pas compte de l'information auxiliaire X , et on modifie les poids des individus de l'échantillon pour obtenir la propriété



voulue. Le terme « redressement » s'applique donc aux poids (en général, la modification est légère) : ce sont les poids de sondage des individus de l'échantillon (et par prolongement, les estimateurs) qui sont redressés, et non pas l'échantillon (qui est déjà tiré, et sur lequel on ne revient pas).

La question du redressement est donc intimement liée à la quantité d'information sur la population dont on dispose a priori.

On distingue trois grandes méthodes de redressement utilisées :

- l'estimateur post-stratifié
- l'estimateur par le ratio
- l'estimateur par la régression.

Le redressement est donc un procédé destiné à améliorer la précision des estimations. Il consiste à vérifier dans l'échantillon la distribution de quelques variables qui présentent une relation plausible avec la variable que l'on veut connaître et dont les valeurs réelles sont connues au niveau de l'ensemble de la population puis à en rétablir les distributions exactes par un jeu de pondérations quand l'échantillon s'en écarte.

Il s'agit de prendre en compte des informations sur la population (post-stratification) afin de corriger les distorsions dues à des erreurs de non-observation (erreurs de couverture et/ou de non-réponse).

Ce type de correction est plus courant pour les échantillons non-probabilistes (par exemple par quotas), ou dans les échantillons probabilistes entachés d'importantes erreurs de non-observation.

Ne pas redresser revient à attribuer aux non-répondants le comportement moyen de l'ensemble des répondants, ce qui constitue souvent une grossière erreur. Les non-répondants se trouvent en effet plus particulièrement dans des catégories sociales spécifiques (personnes âgées, personnes à faible niveau d'instruction, ...). D'habitude, il est préférable d'attribuer aux non-répondants le comportement moyen des répondants appartenant aux mêmes catégories sociales.



Le redressement est trop souvent considéré comme une simple étape «informatique», permettant de caler mécaniquement la structure de l'échantillon sur celle de la population étudiée. Cela finit par devenir une pratique de « maquillage » d'échantillon, ayant pour but de corriger les écarts entre quotas demandés et quotas réalisés. Comme toute autre phase de l'enquête, le redressement doit être préparé en amont : il faut penser à poser les bonnes questions, codées de façon homogène aux données de référence les plus récentes, en prenant garde aux unités statistiques (ménages vs individus, entreprises vs établissements...).

Afin de réduire la variance des estimateurs, les variables de redressement doivent être le plus corrélées possible aux thématiques de l'enquête. Leur sélection dépend donc du sujet traité : nombre de personnes dans le ménage, présence d'enfants, type et équipement du logement, ... et doivent être peu nombreuses et agrégées de façon pertinente (afin d'éviter des effets mal maîtrisés). Les non - répondants aux questions utilisées dans le redressement doivent être éliminés ou laissés à leur poids (si l'on veut éviter des hypothèses trop fortes à leur égard).

Il est important d'opérer une validation préalable de la structure brute d'échantillon, sur un ensemble de variables critiques, qu'elles aient fait l'objet de quotas ou qu'elles soient utilisées comme simples variables de contrôle. Après redressement, il faut vérifier la distribution des poids générés : min, max, quantiles et courbes de fréquence, indicateurs de

forme du type¹² $\frac{100 * (\sum \text{poids})^2}{n \sum \text{poids}^2}$.

Le plus important est de :

- ne pas se répéter
- toujours utiliser des données de référence fiables et à jour
- veiller à redresser en plusieurs étapes s'il le faut : d'abord une première pondération (par exemple ménage ou pays), ensuite un calage sur marges portant sur les variables «individu»
- rester aussi critique que possible sur les éventuels erreurs de mesure commises.

¹² Cela vaut 100 si tous les poids sont égaux, entre 50 et 70 s'il y a une forte dispersion, à moins de 50 le redressement est à revoir.



Le redressement d'échantillon a donc pour objectif d'améliorer la représentativité de l'échantillon interrogé, sur un certain nombre de critères de qualification, le principe sous-jacent étant que seul un échantillon ayant la même structure que la population - mère sur les critères que l'on connaît de cette population, permet de généraliser les réponses obtenues sur les autres critères à l'ensemble de cette population. Le redressement cherche donc à **appliquer des pondérations aux individus pour augmenter le poids de ceux appartenant à des groupes sous-représentés dans l'échantillon interrogé par rapport à la population-mère, et à réduire parallèlement le poids de ceux qui sont sur-représentés**. Mais il faut bien prendre garde à un élément fondamental : des pondérations trop importantes font courir un risque certain à la qualité des résultats. Ainsi, il semble aberrant de donner un poids dix fois plus important, comme cela se pratique parfois, aux réponses de la seule personne que l'on a réussi à interroger dans une catégorie donnée. Il est donc important de chercher, autant que possible, à obtenir en amont des échantillons cohérents, en pensant qu'il suffira ensuite de redresser. En substance, on pourrait dire que le besoin de recourir aux redressements est moindre si les résultats sont meilleurs.

La technique du redressement d'échantillon est utilisée pour rapprocher le fichier de données de la réalité. Les coefficients trouvés pondèrent les données dont on dispose. Mais si ces données sont fausses dès le départ, qu'elles ont été mal collectées, mal saisies, ou qu'elles comportent trop de données manquantes, il ne servira à rien de chercher à redresser. Le choix des variables de redressement est simple en théorie mais plus complexe dans la pratique. En effet, l'idéal serait d'utiliser toutes les variables sur lesquelles la répartition de la population-mère est connue de manière fiable. Ces éléments sont généralement recherchés dans les données des recensements disponibles auprès de l'Insee, ou, lorsqu'il s'agit d'enquêtes sur des univers spécifiques (par exemple clients, distributeurs), dans les fichiers internes disponibles. Les difficultés sont multiples : La population-mère doit être définie de manière précise pour éviter de prendre en compte des statistiques disponibles sur une population proche mais pas identique. Ainsi la population active peut correspondre à plusieurs définitions et délimitations. La population des jeunes peut correspondre à des tranches d'âge différente. Il faut s'assurer que les répartitions disponibles sont conformes aux catégories utilisées dans l'enquête. Il convient pour cela d'utiliser dans les questionnaires les rubriques standards de l'INSEE en ce qui concerne par exemple les catégories socio-professionnelles, les secteurs d'activité... La formulation de la question renseignée pour la population - mère doit être identique à celle posée à l'échantillon. Pour les variables numériques, les tranches doivent être identiques, et les



valeurs exprimées dans la même unité statistique. Il faut s'assurer de la fiabilité des valeurs utilisées. Le recours à des fichiers incomplets peut provoquer des biais importants. Il faut donc au préalable veiller à **la bonne préparation de l'enquête**.

Il existe plusieurs méthodes de redressement, qui font toutes partie du cadre général de la théorie du calage. Pour fonctionner, cette théorie fait intervenir le choix d'une fonction de distance entre les poids de sondage et les poids de calage. Cinq fonctions ont retenu l'attention des statisticiens : la **méthode linéaire** (régression généralisée) dont les cas particuliers sont l'estimateur par la régression, par le quotient et par la différence, la **méthode exponentielle** (raking - ratio) dont le *calage sur marges* et la *post-stratification*¹³ sont des cas particuliers, leurs variantes tronquées *i.e.* les méthodes *linéaire tronquée* et *exponentielle tronquée* (méthode logit ou logistique) qui permettent un bornage des poids, et dernièrement la **méthode du sinus hyperbolique** (cf. Roy *et al.*, 2001).

2.4.3. Les calculs de redressement

Les calculs de redressement sont complexes lorsqu'il s'agit de redresser l'échantillon sur plusieurs variables en même temps, comme c'est généralement le cas. Moins fréquent, le redressement sur une seule variable correspond à une simple règle de 3 : si l'on veut obtenir 55% de femmes et 45% d'hommes, alors que la répartition dans le fichier est de 40/60, il suffit d'appliquer à chaque femme le coefficient 55/40ème c'est-à-dire 1,375 et à chaque homme le coefficient 45/60ème c'est-à-dire 0,75.

En présence de plusieurs variables (tranche d'âge, sexe, CSP, ...), la règle de 3 peut également être appliquée si l'on connaît la distribution croisée de toutes les variables entre elles. Autrement dit, cette stratification a posteriori n'est possible que si l'on dispose d'un tableau théorique indiquant le nombre d'individus pour chaque combinaison de réponses de toutes les variables à redresser. Le rapport entre l'effectif théorique divisé par l'effectif réel constitue alors le coefficient multiplicateur à appliquer aux individus correspondants à la combinaison. Cette méthode n'est toutefois pas vraiment utilisée pour plusieurs raisons : lorsque le nombre de variables est important, l'effectif des cases peut être nul dans l'échantillon, une règle de 3 utilisant la valeur 0 donne un effectif redressé nul le plus souvent,

¹³ calage sur une seule marge.



et on ne dispose pas de cette répartition croisée mais seulement des distributions marginales (répartition des individus sur les modalités de chaque variable).

La méthode de redressement la plus utilisée part donc des répartitions marginales des individus sur chaque modalité de réponse et tente, par itérations successives, de « caler » l'échantillon sur ces marges. C'est pour cela qu'on parle généralement de « calage sur les marges ». Cette méthode fait appel à des calculs répétitifs qui ne sont pas complexes en soi mais nécessitent de nombreuses opérations. C'est pour cela que les redressements multi-critères ne s'envisagent généralement qu'avec l'aide de l'informatique.

Les étapes du redressement sont généralement les suivantes :

- l'utilisateur sélectionne dans la liste des variables de l'enquête celles qui doivent faire l'objet d'un redressement
- le logiciel calcule les marges sur l'échantillon en cours
- l'utilisateur indique, à côté de l'effectif calculé pour chaque modalité, l'effectif cible à obtenir.

Le redressement est indispensable. Il permet de corriger les erreurs de non – observation et de standardiser des structures à des fins de comparaison. Cependant, il ne peut pas corriger les erreurs de mesure, de déclarations de revenus, ... Attention toutefois, le redressement peut augmenter les biais. Utiliser à bon escient l'information auxiliaire est censé améliorer la qualité des estimations, sauf si cette information provient elle-même d'une enquête par sondage de trop faible taille, auquel cas il peut s'avérer que la précision des résultats en soit si altérée qu'il soit éventuellement préférable de ne pas effectuer de redressement. Même si l'on sait qu'il est totalement illusoire de croire que l'on va éliminer tous les biais en redressant un échantillon sur un certain nombre de variables, il est en général admis qu'un redressement améliore la précision des résultats (à condition que celui-ci soit réalisé dans de bonnes conditions : identité des concepts observés et théoriques, coïncidence temporelle, proximité des structures par rapport à celles de référence, corrélation forte entre les variables de redressement et les variables d'intérêt, etc.). La confiance accordée au redressement repose d'abord sur le fait que l'on introduit dans les estimations une information exhaustive, a priori non entachée d'erreur. Lorsque cette donnée provient elle-même d'une enquête par sondage,



le redressement introduit dans les résultats une incertitude supplémentaire correspondant à la variabilité de l'information auxiliaire.

2.5. Vérification des données

Il importe de vérifier les données avant de les présenter à titre d'information. Il faut s'assurer de l'exactitude, l'exhaustivité et de la cohérence de l'information. Cette vérification peut se faire manuellement, avec l'aide d'un programme informatique, ou en combinant ces deux méthodes, selon le support (électronique ou papier) sur lequel se trouvent les données.

Il existe deux niveaux de vérification : la **micro vérification** et la **macro vérification**.

La **micro vérification** consiste à corriger les données au niveau de l'enregistrement. Ce processus vise à détecter les erreurs par la vérification de chaque enregistrement de données. Il a pour but de déterminer la cohérence des données et de corriger chaque enregistrement.

La **macro vérification** vise aussi à détecter les erreurs, mais par l'analyse des données agrégées (totaux). Les données sont comparées à celles des autres enquêtes, des fichiers administratifs ou de versions antérieures des mêmes données. Ce processus détermine la compatibilité des données.

Les erreurs peuvent être de plusieurs formes :

- Un répondant peut avoir mal interprété une question
- Un répondant peut avoir coché la mauvaise réponse
- Un répondant peut avoir donné des réponses inexactes.

On doit toujours tenir compte des objectifs de la vérification de manière à :

- assurer l'exactitude des données
- assurer la cohérence des données
- déterminer l'exhaustivité des données
- assurer la cohérence des données agrégées
- obtenir les meilleures données possibles.



La première étape de la vérification consiste à appliquer aux données des « règles » (ou des facteurs dont il faut tenir compte). Ces règles résultent de la connaissance experte d'un spécialiste du domaine, de la structure du questionnaire, de l'historique des données et d'autres enquêtes ou données connexes.

La connaissance experte peut provenir de diverses sources. Le spécialiste peut être un analyste qui possède une vaste expérience du type de données vérifiées. Un expert peut aussi être un commanditaire de l'enquête, familier avec les relations entre les données.

La disposition et la structure du questionnaire influent aussi sur les règles de vérification. Par exemple, il arrive parfois que les répondants passent certaines questions si elles ne s'appliquent pas à eux ou à leur situation. Il importe de respecter cette spécification et de l'intégrer dans les règles de vérification.

Enfin, d'autres enquêtes portant sur le même type de variables ou de caractéristiques servent à établir certaines règles de vérification.

Il existe plusieurs types de vérifications, dont :

- la **vérification de la validité**, qui porte sur un champ à la fois. Elle fait en sorte que des descripteurs d'enregistrement soient pris en compte, des caractères et des valeurs invalides, que les champs obligatoires aient été remplis.
- la **vérification de l'étendue** ressemble à la vérification de la validité, car elle porte aussi sur un champ à la fois. Ce type de vérification a pour but d'assurer que les valeurs, les rapports et les calculs respectent les limites prédéterminées.
- la **vérification des dédoublements** examine un enregistrement complet à la fois. Elle recherche les dédoublements de sorte à ce que l'enregistrement d'une personne ou d'une chose n'apparaisse qu'une seule fois. Cette vérification recherche aussi si le répondant apparaît plus d'une fois dans l'univers de l'enquête, surtout après la modification du nom. Enfin, elle vérifie aussi si les données ont été entrées une seule fois dans le système.
- la **vérification de la cohérence** compare les diverses réponses d'un enregistrement pour en assurer la cohérence l'une par rapport à l'autre. La vérification inter-champ constitue une autre forme de vérification de la



cohérence. Elle vise à vérifier que, si un chiffre est déclaré dans une section, un chiffre équivalent sera déclaré dans une autre section.

- la **vérification historique** sert à comparer les réponses dans les enquêtes régulières (c'est-à-dire, détecter toute modification importante par rapport à la déclaration précédente). Elle compare aussi les rapports et les calculs. Ainsi, tout écart qui ne respecte pas les limites établies est signalé et fait l'objet d'une analyse.
- la **vérification statistique** compare un ensemble complet de données. Ce type de vérification a lieu seulement après l'exécution de toutes les autres vérifications et la correction subséquente des données. Les données sont compilées et toute valeur extrême, toute donnée suspecte et toute valeur aberrante est rejetée.
- les **vérifications diverses** portent sur les dispositions spéciales de déclaration, les vérifications dynamiques propres à l'enquête, les vérifications de la classification appropriée, les modifications apportées aux adresses physiques, aux lieux et aux contacts ainsi que la vérification de la lisibilité, qui permet de s'assurer que les chiffres et les symboles sont reconnaissables.

La vérification des données dépend de la complexité du questionnaire. Cette complexité vise la longueur et le nombre de questions posées. Elle porte aussi sur les détails des questions et l'étendue du domaine que couvre le questionnaire. Dans certains cas, la question peut utiliser une terminologie très technique. Dans ce type d'enquête, le recours à des méthodes spéciales de déclaration et à des vérifications propres à cette industrie est nécessaire.

La vérification des données devrait détecter et minimiser les erreurs, telles que :

- les questions non posées
- les réponses non enregistrées
- les réponses non pertinentes.

Une réponse inexacte peut résulter d'une négligence ou d'un effort délibéré de donner des réponses déroutantes. Elle aura aussi lieu lorsque la réponse nécessite un calcul mathématique. Par exemple, la conversion des jours en heures ou d'un revenu annuel en revenu hebdomadaire accroît le risque d'erreurs.



Les réponses à chaque question semblent acceptables. C'est seulement lors de leur comparaison que nous pouvons relever des inexactitudes dans une ou plusieurs des réponses données.

Le recouplement, type de vérification de la cohérence, est seulement un type de vérification. Il permet la comparaison des réponses données à diverses questions. On peut l'effectuer manuellement ou au moyen d'un logiciel de vérification.

2.6. Estimation à partir d'un échantillon

Une enquête a pour but d'obtenir de l'information sur une population donnée. Lorsque l'échantillon a été sélectionné et que les données ont été traitées, il reste à s'acquitter de la tâche consistant à apparier les données rassemblées à partir de l'échantillon à l'ensemble de la population.

L'estimation est le processus consistant à déterminer une valeur vraisemblable pour une variable de la population observée, en se fondant sur des données recueillies à partir de l'échantillon.

On s'intéresse habituellement à l'examen pour différentes variables des estimations d'un grand nombre de statistiques, des totaux, des moyennes et des proportions le plus souvent.

Les **sondages probabilistes** ont l'avantage de permettre des études de précision des estimateurs utilisant essentiellement la théorie et le calcul des probabilités. Ils ont un caractère « scientifiquement rigoureux » et une théorie mathématique qui les justifie, permettant de faire des choix fondés sur des hypothèses nécessairement formalisables.

Les **sondages empiriques**, comme leur nom l'indique, s'inspirent de considérations moins objectives, plus discutables, et sont par conséquent moins rigoureux. Ils se justifient davantage par des raisons qualitatives que quantitatives, et leur utilisation est souvent dictée par des considérations budgétaires.

On s'attachera ici aux plans de sondage probabilistes.



Dans la présentation des plans de sondage classiques, il apparaît clairement que notre préoccupation tourne autour des trois questions fondamentales suivantes :

- expression et calcul de l'estimateur $\hat{\theta}$ du paramètre θ
- expression de son biais et de sa variance vraie
- expression et calcul de l'estimateur (voire des estimateurs) de cette variance.

Dans cette partie, et sauf mention contraire, les biais et les variances ne traduisent que les erreurs d'échantillonnage. On travaille donc avec une base de sondage parfaite, des enquêteurs, des enquêtés, et un système de codification–saisie qui n'introduisent aucune erreur d'observation, et on suppose qu'il n'existe pas de non–réponse.

Il nous reste à rappeler quelques règles importantes de statistique mathématique, que l'on peut aisément vérifier directement : si X et Y sont des estimateurs (grandeurs par conséquent aléatoires), et a un nombre réel (donc non aléatoire), alors :

$$\begin{aligned}E(aX) &= aE(X) \\E(X + Y) &= E(X) + E(Y) \\V(aX) &= a^2V(X) \\V(X + Y) &= V(X) + V(Y) + 2\text{cov}(X, Y)\end{aligned}$$

où $E(X)$ est l'espérance de l'estimateur X , $V(X)$ sa variance, et où $\text{cov}(X, Y)$ est la covariance entre les deux estimateurs X et Y . La covariance vaut par définition :

$$\text{cov}(X, Y) = E(X - E(X))(Y - E(Y))$$

Elle est d'autant plus grande que X et Y ont tendance à varier dans le même sens.



2.6.1. Terminologie de l'estimation

En statistique, on étudie un ou plusieurs phénomènes pour lesquels on dispose d'un certain nombre de données appelées **séries statistiques**.

On appelle **caractère statistique** le ou les phénomènes dont on étudie les valeurs dans une série statistique.

La **population** est l'ensemble global pour lequel on étudie le ou les caractères statistiques. En d'autres termes, c'est l'ensemble complet des unités qu'on désire étudier.

Deux cas peuvent se présenter :

- Les données de la série statistique portent sur **toute la population** à laquelle on s'intéresse : on utilise alors différentes méthodes mathématiques pour étudier ces données : moyenne, histogrammes, droites de régression... On parle de **statistique descriptive**.
- Les données de la série statistique ne portent que sur **une partie de la population** (pour des raisons de temps et de coûts). On n'étudiera ici que ce deuxième cas, où les données de la série statistique ne porteront que sur une partie de la population totale (*i.e.* sur un échantillon). A partir de ces données partielles obtenues à partir d'un échantillon, on essaie de déduire des connaissances sur la valeur des caractères statistiques pour toute la population.

En statistique inférentielle, un **estimateur** est une valeur calculée sur un échantillon et que l'on espère être **une bonne évaluation de la valeur que l'on aurait calculée sur la population totale**. On cherche à ce qu'un estimateur soit **sans biais, convergent, efficace et robuste**.

Un estimateur est très souvent une **moyenne**, une **population totale**, une **proportion** ou une **variance**.

Un estimateur est une variable aléatoire. Une valeur observée de cette variable est appelée une **estimation** du paramètre.



On suppose que la population est finie et de taille N . Pour simplifier, dans le cas où les données de la série statistique portent sur un seul caractère statistique, la série statistique est alors une suite x_1, x_2, \dots, x_n de valeurs du seul caractère (où n est la taille de l'échantillon). On note :

- $P = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ la population étudiée.
- y_1, y_2, \dots, y_n la valeur du seul caractère étudié pour les différents éléments E_1, E_2, \dots, E_n de la population P .
- Soit a une valeur quelconque du caractère statistique étudié. On appelle **fréquence** (ou **proportion**) de la valeur a du caractère dans la population le nombre :

$$p(a) = \frac{1}{N} \text{card}\{1 \leq j \leq N / y_j = a\}$$

- Si les valeurs du caractère étudié sont réelles alors :

$$m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j$$

est la **moyenne** des valeurs du caractère dans la population.

- De même :

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (y_j - m)^2$$

est la **variance** des valeurs du caractère dans la population. σ^2 mesure la dispersion des valeurs y_1, y_2, \dots, y_N du caractère autour de leur moyenne m .

On **remarquera** que ces quantités sont inconnues du fait que l'on ne connaît pas les valeurs y_1, y_2, \dots, y_N du caractère pour tous les éléments de la population.



On appelle **échantillon** de la population P de taille n toute suite $e = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ constituée de n éléments de la population.

Pour que les résultats obtenus à partir d'un échantillon puissent être généralisés à toute la population, il faut que l'échantillon de la population soit suffisamment représentatif de la population, en particulier :

- La taille n de l'échantillon ne doit pas être trop petite. Au niveau théorique, de nombreux résultats sont des résultats limite (quand la taille n tend vers l'infini) qui ne sont valables comme approximation que pour des échantillons de grande taille.
- L'échantillon de la population doit être choisi au hasard¹⁴.

Par ailleurs, on distingue deux types d'échantillons dans la population. Un échantillon $e = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ de taille n de la population P est dit :

- Choisi **sans remise** quand les éléments e_1, e_2, \dots, e_n sont nécessairement différents.
- Choisi **avec remise** quand les éléments e_1, e_2, \dots, e_n peuvent être différents.

On supposera toujours que les échantillons de la population sont choisis au hasard et avec remise.

Soit un caractère statistique $X : P \rightarrow R$ (qui est une variable aléatoire de loi discrète ou absolument continue). Tout vecteur aléatoire $X^{(n)} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ ($\forall n \geq 2$) à valeurs dans R tel que les variables aléatoires X_1, X_2, \dots, X_n sont **mutuellement indépendantes** et de **même loi de probabilité** que le caractère X est appelé **échantillon aléatoire de taille n** de variables aléatoires indépendantes et de lois identiques à X .

¹⁴ Un échantillon de taille n de la population est dit choisi au hasard quand la méthode de choix est telle que tous les échantillons différents de taille n de la population ont même probabilité d'être choisis.



Soit (x_1, x_2, \dots, x_n) un échantillon de valeurs du caractère X de taille n .

■ Pour toute valeur a du caractère X , le nombre

$$f(a) = \frac{1}{n} \text{card}\{1 \leq i \leq n / x_i = a\}$$

est appelée la **fréquence** de la valeur a du caractère X de l'échantillon de valeurs.

■ $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ est appelée la **moyenne** de l'échantillon de valeur

■ $s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ est appelée la **variance** de l'échantillon de valeur.

2.6.2. Poids d'échantillonnage

Toutes les unités échantillonnées n'ont pas toujours le même poids d'échantillonnage. Certains plans donnent aux unités une probabilité inégale d'être sélectionnées, ce qui fait que des unités incluses dans le même échantillon ont des poids d'échantillonnage différents. Les réponses d'un ménage ou d'une entreprise à un questionnaire pourraient représenter celles de 200 unités de la population, tandis que les réponses d'un autre ménage ou d'une autre entreprise au même questionnaire pourraient ne représenter que 50 unités faisant partie de la population.

Lorsque chaque unité incluse dans l'échantillon a le même poids d'échantillonnage, on dit que le plan d'échantillonnage est **auto pondéré**. Ce genre de plan épargne du temps et est pratique sur le plan opérationnel, pour des échantillons de grande taille en particulier. Parce que chaque unité a le même poids, on peut ne pas en tenir compte lorsqu'on estime des moyennes et des proportions. La moyenne établie pour l'échantillon donne une estimation appropriée de la moyenne pour l'ensemble de la population.

Les plans d'échantillonnage aléatoire simple et d'échantillonnage systématique sont des exemples de plans auto pondérés.

On ajuste parfois les poids d'échantillonnage avant une estimation, et ce, pour deux raisons fondamentalement :



- Pour **tenir compte des non-réponses** à un questionnaire : l'utilisation de poids d'échantillonnage pour établir une estimation donne de bons résultats lorsqu'on peut enquêter toutes les unités sélectionnées. Afin d'apporter un ajustement pour en tenir compte, les statisticiens d'enquête accroissent habituellement les poids des unités ayant répondu au questionnaire d'enquête de manière à prendre en considération la perte de représentativité causée par les non-réponses à ce dernier.
- Pour **tenir compte de données externes** : on connaît parfois le total réel pour une ou plusieurs variables mesurées à l'intérieur d'un échantillon. Si on utilise les réponses découlant de l'enquête et le poids d'échantillonnage, cela pourrait entraîner des estimations inexactes. L'une des solutions à ce problème consisterait à réduire le poids d'une des variables échantillonnée et à accroître celui de la seconde variable (par exemple) échantillonnée également pour que l'échantillon donne une estimation de $p\%$ de la première variable et de $1-p\%$ de la seconde variable, ce qui réduirait la distorsion entraînée par un « mauvais » échantillon. Dans bien des cas, cependant, les totaux au niveau de la population sont connus, mais on ignore l'attribut de chaque unité incluse dans la base de sondage. On sait, par exemple, à partir du recensement de la population, combien d'hommes et de femmes il y a dans une localité donnée, mais tout ce dont on dispose pour un échantillonnage est une liste de ménages. Il serait donc impossible de stratifier cette population selon le sexe. On utilise souvent des projections démographiques suivant l'âge et le sexe pour chaque province dans le cadre d'enquêtes sociales afin d'ajuster les poids d'échantillonnage.

L'utilisation des poids pour extrapoler les résultats de l'échantillonnage n'est pas l'unique méthode d'estimation qui existe. Cependant, il s'agit de la plus simple. Il est, néanmoins, important de savoir qu'il existe d'autres méthodes pouvant mener à des estimations plus précises (comme l'utilisation de données auxiliaires). Le processus d'estimation doit tenir compte du plan d'échantillonnage qui a été utilisé. Les estimations qui en résulteraient pourraient, autrement, être sérieusement biaisées.



2.6.3. Erreur d'échantillonnage

Toutes les estimations calculées à partir d'échantillons sont exposées à ce qu'on appelle l'**erreur d'échantillonnage**, qui découle du fait que l'on n'a observé qu'une partie, au lieu de la totalité, de la population. Un échantillon différent aurait pu fournir des résultats différents également. L'erreur d'échantillonnage est le degré de variation qui existe entre les estimations établies à partir des différents échantillons possibles. On ne connaît pas cette erreur d'échantillonnage, puisque l'on devrait connaître la réponse pour chaque unité de la population afin de la calculer. On peut, cependant, l'estimer en utilisant les données d'enquête. L'ampleur de l'erreur d'échantillonnage dépend de :

- la méthode d'échantillonnage
- la méthode d'estimation
- la taille de l'échantillon
- la variabilité de la caractéristique estimée.

C'est pourquoi chaque estimation d'un échantillon entraîne une erreur d'échantillonnage qui lui est propre. On devrait donc lisser cette erreur pour chaque estimation d'un total, d'une moyenne, d'une proportion, ... fournie par une enquête.

Il y a un erreur d'échantillonnage lorsqu'on estime une caractéristique de la population en étudiant seulement une partie de la population au lieu de la population au complet. Il s'agit de la différence entre l'estimation calculée à partir d'une enquête par échantillon et la « vraie » valeur qui aurait été obtenue si un recensement auprès de la population entière avait été effectué dans les mêmes conditions. Dans un recensement, il n'y a pas d'erreur d'échantillonnage étant donné que les calculs sont basés sur la population au complet.

Les erreurs d'échantillonnage sont caractérisées par :

- En général, le nombre d'erreurs d'échantillonnage diminue au fur et à mesure que la taille de l'échantillon augmente (mais pas proportionnellement).
- Le nombre d'erreurs d'échantillonnage dépend de la taille de la population étudiée.



- Le nombre d'erreurs d'échantillonnage dépend de la variabilité de la caractéristique d'intérêt de la population.
- Les erreurs d'échantillonnage peuvent être notées et on peut en réduire le nombre grâce à un plan de sondage approprié.
- Le nombre d'erreurs d'échantillonnage peut être mesuré et contrôlé dans les enquêtes portant sur un échantillon aléatoire.

En général, plus grande est la différence entre les unités de la population, plus grande sera la taille de l'échantillon nécessaire pour atteindre un certain niveau de fiabilité.

Il est important d'élaborer un **plan de sondage efficace** dans le cadre duquel les renseignements disponibles servent à choisir un plan d'échantillonnage et une procédure d'estimation. La méthode d'échantillonnage, ou plan d'échantillonnage, peut grandement influencer sur la taille de l'erreur d'échantillonnage. Bon nombre d'enquêtes comprennent des plans d'échantillonnage complexes qui entraînent souvent un plus grand nombre d'erreurs d'échantillonnage qu'un simple plan d'échantillonnage aléatoire. La procédure d'estimation a également une grande incidence sur l'erreur d'échantillonnage.

Il existe des méthodes qui évaluent le nombre d'erreurs d'échantillonnage pour les enquêtes portant sur un échantillon aléatoire. La variance d'échantillonnage est la mesure la plus couramment utilisée dans la quantification des erreurs d'échantillonnage, et comme les autres méthodes, elle découle directement des méthodes d'échantillonnage et d'estimation utilisées dans l'enquête.

Mesures des méthodes d'échantillonnage

Une des préoccupations des sondeurs est de réaliser un tirage pour lequel $E(\hat{\theta})$ soit proche de θ . On cherche alors à réduire la quantité :

$$E(\hat{\theta} - \theta) = E(\hat{\theta}) - \theta$$

que l'on appelle biais de l'estimateur $\hat{\theta}$, et qui constitue donc une première mesure de l'erreur d'échantillonnage que l'on commet.



La notion de moyenne ne suffit pas à mesurer la qualité d'un échantillonnage. Il faut une autre grandeur davantage liée à la dispersion des valeurs de $\hat{\theta}$. On calcule donc la variance des estimations $\hat{\theta}(s)$ lorsque l'aléa est l'échantillon s .

$$V(\hat{\theta}) = E(\hat{\theta} - E(\hat{\theta}))^2 = \sum_s p(s)(\hat{\theta}(s) - E(\hat{\theta}))^2$$

où $p(s)$ est la probabilité de tirage.

La somme est encore étendue à tous les échantillons possibles de taille n . On note $V(\hat{\theta})$ cette variance dite variance de l'estimateur $\hat{\theta}$.

La présence du carré fait toute la différence avec le biais puisque les écarts positifs et négatifs correspondant respectivement à des estimations supérieures et inférieures à $E(\hat{\theta})$ ne se compensent plus : tout écart à la moyenne contribue positivement à la mesure d'imprécision.

La présence du carré dilate cependant un peu trop les erreurs : pour se ramener à l'échelle courante, on décide de prendre la racine carrée de la variance de $V(\hat{\theta})$, que l'on appelle écart-type de l'estimateur $\hat{\theta}$, noté $\sigma(\hat{\theta})$. Cette grandeur a deux atouts que n'a pas la variance : être directement comparable à $\hat{\theta}$ d'une part (en particulier, l'écart-type s'exprime dans la même unité que l'estimateur, alors que l'unité de la variance est l'unité de l'estimateur au carré), et servir de base au calcul des intervalles de confiance d'autre part. On a :

$$\sigma(\hat{\theta}) = \sqrt{V(\hat{\theta})}$$

En terme de sondage, $\sigma(\hat{\theta})$ et $V(\hat{\theta})$ mesurent la précision et réalisent, après le biais, une seconde mesure de l'erreur d'échantillonnage que l'on commet : plus ils sont grands, moins le plan de sondage est bon. Il faut alors, soit agir sur l'expression de $\hat{\theta}$ (formule de l'estimateur), soit agir sur les probabilités de tirage $p(s)$, c'est-à-dire modifier la méthode de tirage de l'échantillon.

Un indicateur très intéressant de la qualité est le coefficient de variation, défini comme le rapport de l'écart-type à la vraie valeur, soit :



$$CV(\hat{\theta}) = \frac{\sigma(\hat{\theta})}{\theta}$$

Il n'a pas d'unité et offre donc une possibilité pour comparer différents estimateurs entre eux : la séparation entre « bons » et « mauvais » estimateurs est évidemment tout à fait subjective et sujette à discussion. On peut la situer ici aux alentours de 5%.

On insiste sur le fait que ni l'espérance ni la variance ne peuvent renseigner sur l'écart exact entre la valeur de $\hat{\theta}$ obtenue et la vraie valeur θ qui reste inconnue. En revanche, ils donnent des indications précieuses sur l'écart à attendre en moyenne.

On peut construire un indicateur de précision qui englobe les notions de biais et de variance. Il suffit de calculer la moyenne des carrés des écarts des estimateurs à la vraie valeur (et non plus à la moyenne) selon

$$E(\hat{\theta} - \theta)^2$$

Cette grandeur s'appelle l'erreur quadratique moyenne (EQM). On montre que :

$$\text{EQM} = \text{Variance} + (\text{biais})^2$$

L'EQM est un indicateur synthétique de qualité permettant de répondre (en fait, en la contournant) à la question philosophiquement complexe suivante : est-il préférable d'avoir un biais fort et une variance faible ou un biais faible et une variance forte ? Il n'y a évidemment pas de « bonne réponse », mais la pratique prouve que l'on cherche en général à éviter en priorité les biais forts.



2.6.4. Erreurs non dues à l'échantillonnage

Outre l'erreur d'échantillonnage associée au processus de sélection d'un échantillon, un large éventail d'erreurs peuvent être repérées dans une enquête.

Ces erreurs non dues à l'échantillonnage peuvent être définies comme étant des erreurs possibles pendant toutes les activités d'enquête, mis à part l'échantillonnage. Comparativement aux erreurs d'échantillonnage, les erreurs non dues à l'échantillonnage peuvent se retrouver dans les enquêtes par échantillon et les recensements.

Les erreurs non dues à l'échantillonnage peuvent être classées en deux groupes : les erreurs aléatoires et les erreurs systématiques.

- Les erreurs aléatoires sont imprévisibles et découlent de l'estimation. Elles sont généralement éliminées si un échantillon suffisamment large est utilisé. Toutefois, lorsque ces erreurs ont lieu, elles entraînent souvent une variabilité accrue de la caractéristique d'intérêt (i.e. plus grande est la différence entre les unités de la population, plus grande sera la taille de l'échantillon nécessaire pour atteindre un certain niveau de fiabilité).
- Les erreurs systématiques ont tendance à s'accumuler dans tout l'échantillon. Par exemple, s'il y a une erreur dans la conception du questionnaire, cela pourrait causer des problèmes relativement aux réponses du répondant, qui pourraient à leur tour créer des erreurs de traitement, etc. Ces types d'erreurs peuvent souvent donner des résultats finaux biaisés.

Les erreurs non dues à l'échantillonnage sont extrêmement difficiles sinon impossibles à mesurer. Etant donné que les erreurs aléatoires ont tendance à s'éliminer, les erreurs systématiques représentent la principale cause d'inquiétude. Comparativement à la variance d'échantillonnage, le biais causé par les erreurs systématiques ne diminue pas malgré l'augmentation de la taille de l'échantillon.



Les erreurs non dues à l'échantillonnage sont caractérisées par le fait :

- qu'elles peuvent se produire dans tous les aspects du processus d'enquête, mis à part l'échantillonnage.
- qu'elles se retrouvent dans les enquêtes par sondage et les recensements.
- qu'elles sont difficiles à mesurer.

Les erreurs non dues à l'échantillonnage peuvent survenir en raison de :

- problèmes de couverture
- réponse
- non-réponse
- traitement des données
- estimation
- analyse.

Une erreur de couverture survient lorsqu'il y a une omission, une répétition ou un ajout erroné des unités dans la population ou l'échantillon. Les omissions sont appelées sous-dénombrement, tandis que les répétitions et les ajouts erronés sont appelés sur-dénombrement. Ces erreurs sont causées par des défauts dans la base de sondage : inexactitude, insuffisance de données, répétition, données inadéquates et obsolescence. Les erreurs de couverture peuvent également survenir dans les procédures sur place (une enquête est menée, mais l'intervieweur oublie par exemple plusieurs ménages ou personnes).

Les erreurs de réponse résultent des données qui ont été demandées, fournies, reçues ou enregistrées de façon erronée. Les erreurs de réponse peuvent survenir en raison des inefficacités relativement au questionnaire, à l'intervieweur, au répondant ou au processus d'enquête.

Il est essentiel que les questions de l'enquête par échantillon ou du recensement soient soigneusement formulées de façon à éviter un biais. Si les questions induisent en erreur ou portent à confusion, alors les réponses peuvent être faussées. Il faut donc être très attentif lors de la conception du questionnaire.

Le biais d'entrevue est déterminé par le fait qu'un intervieweur peut avoir de l'influence sur la façon dont un répondant répond aux questions d'une enquête. Cela peut se produire



lorsque l'intervieweur est trop amical ou distant à l'égard du répondant, ou lorsqu'il pousse le répondant à répondre. L'enquêteur doit également porter une grande attention à la façon dont il pose chaque question. Si un intervieweur change la formulation d'une question, cela peut avoir une incidence sur la réponse du répondant.

Les répondants peuvent aussi donner de mauvaises réponses. Des souvenirs fautifs, la tendance à exagérer des événements ou à en minimiser l'importance, et la tendance à donner des réponses qui semblent plus « souhaitables sur le plan social » sont plusieurs raisons pour lesquelles un répondant peut donner une mauvaise réponse.

Des erreurs peuvent également survenir en raison d'un problème lié au processus d'enquête actuel. Utiliser des réponses par procuration (prendre les réponses d'une personne autre que le répondant) ou le manque de contrôle sur les procédures d'enquête ne sont que quelques façons d'augmenter la possibilité d'erreurs de réponse.

Les **erreurs de non-réponse** se produisent lorsque le répondant n'a pas donné suffisamment de réponses aux questions de l'enquête. Il y a deux types d'erreurs de non-réponse :

- les erreurs de non-réponse **complètes**
- les erreurs de non-réponse **partielles**.

Les **erreurs de non-réponse complètes** peuvent se produire lorsque l'enquête ne mesure pas certaines unités de l'échantillon sélectionné. Les raisons derrière ce type d'erreur peuvent s'expliquer par le fait que le répondant n'est pas disponible ou est temporairement absent, qu'il est incapable de participer à l'enquête ou qu'il refuse, ou que le logement est vacant. Si un nombre important de personnes ne répondent pas à une enquête, alors les résultats peuvent être biaisés, étant donné que les caractéristiques des non-répondants peuvent différer des caractéristiques de ceux qui ont participé.

Les **erreurs de non-réponse partielles** se produisent lorsque l'information obtenue du répondant est incomplète. Pour certaines personnes, certaines questions peuvent être difficiles à comprendre. Afin de réduire cette forme de biais, il faudrait porter une attention particulière au moment de concevoir et de mettre à l'essai les questionnaires. Des stratégies de vérification et d'imputation appropriées aideront également à minimiser ce biais.



Les **erreurs de traitement** se produisent parfois pendant la préparation des fichiers de données finaux. Par exemple, des erreurs peuvent survenir lorsque les données sont codées, saisies, corrigées ou imputées.

Si une **méthode d'estimation inappropriée** est utilisée, alors les résultats peuvent toujours être biaisés, malgré le fait que l'enquête était sans erreur avant l'estimation.

Les **erreurs d'analyse** comprennent toutes les erreurs qui se produisent lorsqu'on utilise les mauvais outils d'analyse ou lorsque les résultats préliminaires sont utilisés au lieu des résultats finaux. Les erreurs qui se produisent pendant la publication de ces résultats sont également considérées comme des erreurs d'analyse.

2.6.5. Propriétés des estimateurs

Un estimateur est une valeur \bar{x} calculée sur un échantillon tiré au hasard. La valeur \bar{x} est donc une variable aléatoire possédant une espérance $E(\bar{x})$ et une variance $V(\bar{x})$. On comprend alors que la valeur \bar{x} puisse fluctuer selon l'échantillon. Elle a de très faibles chances de coïncider exactement avec la valeur X qu'elle est censée représenter. L'objectif est donc de maîtriser l'erreur commise en prenant la valeur \bar{x} pour la valeur X .

Une variable aléatoire fluctue autour de son espérance. On souhaite donc que l'espérance de x soit égale à X . On dit alors que l'estimateur est **sans biais**.

On souhaite aussi pouvoir, en augmentant la taille de l'échantillon, diminuer l'erreur commise en prenant x à la place de X . Si c'est le cas, on dit que l'estimateur est **convergent**¹⁵.

La variable aléatoire fluctue autour de son espérance. Plus la variance de $V(x)$ est faible, moins les variations sont importantes. On cherche donc à ce que la variance soit la plus faible possible. C'est ce qu'on appelle l'**efficacité** d'un estimateur.

Enfin, il arrive que lors du sondage, une valeur extrême et rare. On cherche à ce que ce genre de valeur change de manière très faible la valeur de l'estimateur. On dit alors que l'estimateur est **robuste**.

¹⁵ (x_n) est convergent si $\lim p(|x_n - X| > \varepsilon) = 0$ pour tout réel positif ε (la probabilité de s'éloigner de la valeur à estimer de plus de ε tend vers 0 quand la taille de l'échantillon augmente).



2.6.6. Quelques estimateurs

L'échantillonnage aléatoire simple est la plus simple de toutes les méthodes d'échantillonnage. On présentera ici l'estimateur le plus courant pour établir la moyenne (arithmétique), la variance, la proportion et le total d'une population sous **l'échantillonnage aléatoire simple**.

Le sondage aléatoire simple est une méthode de tirage. De nombreux estimateurs, éventuellement très compliqués, peuvent être utilisés suite à un sondage aléatoire simple.

On rappelle que le sondage aléatoire simple consiste à tirer dans la population de taille N un échantillon de taille fixée n sans remise à partir des seuls identifiants de façon à ce que chaque individu ait la même probabilité d'inclusion, et cela sans aucune manipulation préalable dans la population ni intervention d'aucune information auxiliaire (ce point est fondamental).

Le sondage aléatoire simple attribue également à chaque échantillon s de taille fixe n qui peut être formé la même probabilité de sortie $p(s)$, égale à l'inverse du nombre d'échantillons distincts que l'on peut constituer dans la population. Cette propriété remarquable le caractérise. Il est très important de bien préciser que le sondage aléatoire simple est réalisé dans la population « brute » telle qu'elle se présente à l'origine au travers de la base de sondage, et sans utiliser d'information auxiliaire (aucune stratification, pas de degrés de tirage, pas de respect de contraintes d'équilibrage, ...). Cet aspect est à la fois un bien parce que le coût s'en trouve réduit, et un mal parce qu'on se prive d'un moyen d'améliorer la précision.

Il est possible d'utiliser une procédure programmée sous SAS :

```
PROC SURVEYSELECT DATA=TABLE M=SRS SAMPZISE=n
```

Cette procédure tire un échantillon de taille n dans la base de sondage TABLE.

La loi de l'estimateur est, finalement, la forme la plus avancée sous laquelle se traduit l'erreur d'échantillonnage. Une fois que la loi de l'estimateur est « déterminée », exactement



(de manière exceptionnelle) ou approximativement le plus souvent (la loi sur laquelle on s'appuie est d'autant plus approximative que la méthode de tirage, ou l'estimateur, ou a fortiori les deux ensembles, présentent un « minimum » de complexité), on peut construire des **intervalles de confiance**.

Lorsqu'on cherche à estimer un paramètre θ inconnu, il y a deux types de réponses possibles suite à l'expérience. Soit on fournit seulement la valeur de l'estimateur (c'est une estimation « ponctuelle »), soit on fournit un encadrement de θ par deux nombres calculés de telle manière que la vraie valeur θ ait une certaine probabilité donnée d'être effectivement comprise entre les deux valeurs en question. Ces deux valeurs, appelées **bornes de l'intervalle**, sont fonction de l'estimateur et de la variance : ce sont donc des variables aléatoires. La seconde méthode, qui est celle de l'intervalle de confiance, est donc une réponse prudente, et même doublement prudente. D'une part on ne se risque pas à proposer une valeur ponctuelle bien particulière, mais seulement un intervalle. D'autre part, on n'affirme même pas que cet intervalle contienne la vraie valeur, puisqu'on se laisse encore un droit supplémentaire à l'erreur en acceptant qu'avec une certaine probabilité la vraie valeur soit en réalité en dehors de l'intervalle. La plupart du temps, les intervalles de confiance sont calculés de façon à ce qu'ils recouvrent la vraie valeur avec 95 chances sur 100.

Pour calculer des bornes d'intervalles de confiance lorsque l'échantillon tiré sans remise est suffisamment grand et que l'estimateur a une expression relativement « simple » (typiquement une moyenne pondérée ou une fonction simple de moyennes comme par exemple un rapport de moyennes), on fait souvent l'hypothèse que $\hat{\theta}$ suit une loi de Gauss. On « sait » ainsi, en consultant des tables statistiques appropriées, avec quelle probabilité l'estimateur peut être compris entre deux valeurs au choix fixées a priori.



2.6.7. Efficacité, convergence et intervalle de confiance

La manière dont \bar{x} fluctue autour de son espérance $E(X)$ dépend de sa variance $V(\bar{x})$. Cette variance se calcule grâce à $V(X)$.

■ $V(\bar{x}) = \frac{V(X)}{n}$ dans le cas d'un tirage avec remise

■ $V(\bar{x}) = \frac{N-n}{N-1} \frac{V(X)}{n}$ dans le cas d'un tirage sans remise

On peut remarquer que, pour N très grand devant n , les deux valeurs sont très voisines. Par la suite, on ne s'intéressera donc qu'au cas du tirage avec remise en estimant N très grand.

On s'aperçoit que plus n est grand, plus $V(\bar{x})$ est petit. Donc, plus la taille de l'échantillon est grand, plus l'estimateur \bar{x} est efficace.

L'inégalité de Bienaymé - Tchebychev¹⁶ précise que, pour tout réel positif ε , $P(|\bar{x} - \bar{X}| > \varepsilon) < \frac{V(\bar{x})}{\varepsilon^2}$

donc que $P(|\bar{x} - \bar{X}| > \varepsilon) < \frac{V(X)}{n\varepsilon^2}$.

Or $\frac{V(X)}{n\varepsilon^2}$ converge vers 0 quand n tend vers l'infini.

Il en est de même de $P(|\bar{x} - \bar{X}| > \varepsilon)$. L'estimateur \bar{x} est convergent.

Enfin, on démontre que pour n relativement grand, la variable aléatoire \bar{x} suit une loi normale d'espérance $E(X)$ et de variance $\frac{V(X)}{n}$, variance que l'on peut estimer être voisine de

$$\frac{s^2}{n}$$

¹⁶ Soit X une variable aléatoire de moyenne μ et de variance finie σ^2 (l'hypothèse de variance finie garantit l'existence de la moyenne). L'inégalité de Bienaymé Tchebychev affirme que, pour tout réel strictement positif α : $P(|X - \mu| \geq \alpha) \leq \frac{\sigma^2}{\alpha^2}$



Pour toute loi normale, dans 95% des cas, la variable aléatoire s'éloigne de son espérance de moins de deux fois son écart type. Dans le cas du sondage, cela signifie qu'il y a 95% de chances que l'estimateur \bar{y} s'éloigne de \bar{X} de moins de $\frac{2s}{\sqrt{n}}$.

L'intervalle $\left[\bar{X} - \frac{2\sigma(X)}{\sqrt{n}}, \bar{X} + \frac{2\sigma(X)}{\sqrt{n}} \right]$ est appelé intervalle de confiance à 95%. On peut remarquer que, pour diviser par deux l'intervalle de confiance, ce qui consiste à augmenter la précision de l'estimateur, il faut multiplier par 4 la taille de l'échantillon.

On parle souvent de la précision d'une enquête : c'est le rapport $\frac{\sigma(\bar{x})}{\bar{X}}$, rapport entre l'écart type et la moyenne la variable aléatoire \bar{x} .

2.6.8. Estimation d'une moyenne d'une population et intervalle de confiance

Soit $X: P \rightarrow R$ une variable aléatoire discrète ou absolument continue et soit un paramètre $\theta = E(X)$.

Soit (x_1, x_2, \dots, x_n) un échantillon de valeurs de X de taille n une réalisation d'un échantillon aléatoire (X_1, X_2, \dots, X_n) *i.i.d* de X . Alors

$$\bar{x}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

est une estimation non biaisée et convergente de θ

où

x_i $i^{\text{ème}}$ une valeur observée

\bar{x}_n estimation de la moyenne de la population

$\sum_{i=1}^n x_i$ somme de toutes les valeurs y_i observées dans l'échantillon

n nombre d'observations à l'intérieur de l'échantillon

\bar{x}_n est appelée la **moyenne empirique** de Y .



\bar{x}_n est un estimateur sans biais de la moyenne quelque soit le mode de tirage de l'échantillon.

Si les résultats de l'échantillonnage ont été résumés à l'intérieur d'une table des fréquences, l'estimation de la moyenne d'une population est alors la même que la moyenne de l'échantillon. Ainsi,

$$\bar{x}_n = \frac{\sum_{i=1}^n x_i f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

où

x_i $i^{\text{ème}}$ une valeur observée

f_i la fréquence de la valeur (le nombre de fois que cette valeur a été observée dans l'échantillon)

\bar{x}_n estimation de la moyenne de la population

$\sum_{i=1}^n x_i f_i$ somme de toutes les valeurs $x_i f_i$ observées (le produit des valeurs observées multiplié par sa fréquence) dans l'échantillon

$\sum_{i=1}^n f_i$ somme des fréquences enregistrées à l'intérieur de l'échantillon.

Si la population est distribuée normalement, la distribution d'échantillonnage des moyennes est une distribution normale, peu importe la taille des échantillons.

Si la population n'est pas distribuée normalement ou si la distribution de la population est inconnue, on sait que la distribution d'échantillonnage des moyennes est approximativement normale dès que la taille des échantillons est assez grande ($n > 30$).

Le **niveau** (ou degré) **de confiance** est le niveau de probabilité associé à l'intervalle d'estimation. Plus le niveau de probabilité est élevé, plus la «confiance» est grande que l'estimation englobe la moyenne de la population.



Pour un niveau de confiance donné, on obtient, *via* la table de la distribution normale, la valeur du Z appropriée pour construire l'intervalle voulu.

On doit considérer plusieurs niveaux de confiance puisque, si on veut augmenter le niveau de confiance, il faut accepter une marge d'erreur plus élevée. En d'autres termes, d'un plus haut niveau de confiance résulte un intervalle d'estimation plus long, d'où une diminution de la précision de l'estimation.

Généralement, le niveau de confiance est fixé avant que ne s'effectue l'estimation. Son choix dépend de la question à l'étude, *i.e.* de l'importance relative de la confiance et de la précision désirées.

Soit un caractère X de **loi normale** et $\theta = E(X)$. Soit $x^{(n)} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ un échantillon de valeurs de X de moyenne

$$\bar{x}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

et de variance

$$s_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2$$

Alors $\forall \alpha \in]0,1[$, l'intervalle

$$I(x^{(n)}) = [\bar{x} - t_\alpha \sigma_{\bar{x}}, \bar{x} + t_\alpha \sigma_{\bar{x}}]$$

est un **intervalle de confiance** au seuil α de paramètre θ si le réel $t_\alpha > 0$ vérifie $P(|T_{n-1}| > t_\alpha) = \alpha$ avec T_{n-1} une variable aléatoire de loi de Student à $n-1$ degré de liberté.

■ $\sigma_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$ si la population est infinie

■ ou $\sigma_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$ si la population est finie



2.6.9. Estimation de la variance σ^2 d'une population

On pourrait penser que s^2 est un bon estimateur de $V(x)$. Cependant des calculs prouvent que cet estimateur est biaisé, l'espérance de s^2 étant toujours inférieure à $V(x)$.

Soit $X: P \rightarrow R$ une variable aléatoire discrète ou absolument continue et soit un paramètre $\theta = Var(X) > 0$.

Soit (x_1, x_2, \dots, x_n) un échantillon de valeurs de X de taille n une réalisation d'un échantillon aléatoire (X_1, X_2, \dots, X_n) *i.i.d* de X de variance

$$s_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2$$

avec

$$\bar{x}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i .$$

Alors

$$s_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2$$

est une estimation non biaisée et convergente de θ .

Soit un caractère X de loi normale et $\theta = Var(X)$. Soit $x^{(n)} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ un échantillon de valeurs de X de variance

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2$$

avec

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$



Alors $\forall \alpha \in]0,1[$ l'intervalle

$$I(x^{(n)}) = \left[\frac{ns^2}{b_\alpha}, \frac{ns^2}{a_\alpha} \right]$$

est un **intervalle de confiance** au seuil α de paramètre θ si les réels a_α et $b_\alpha > 0$ vérifient $P(a_\alpha \leq Z_{n-1} \leq b_\alpha) = 1 - \alpha$ avec Z_{n-1} une variable aléatoire de loi du Chi deux à $n-1$ degrés de liberté (χ^2_{n-1}).

2.6.10. Estimation du total d'une population

Dans le cas d'un échantillonnage aléatoire simple, la formule d'estimation d'un total pour la population est :

$$\bar{x} = N \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

où

x_i $i^{\text{ème}}$ une valeur observée

\bar{x} total estimatif de la population

$\sum_{i=1}^n x_i$ somme de toutes les valeurs x_i observées dans l'échantillon

n nombre d'observations dans l'échantillon

N nombre total d'observations à l'intérieur de la population.

C'est l'estimation de la valeur moyenne multipliée par le nombre d'unités incluses dans la population.

Si les résultats de l'échantillonnage étaient résumés à l'intérieur d'une table des fréquences, la formule d'estimation pour la population totale serait :

$$\bar{x} = N \frac{\sum_{i=1}^n x_i f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}$$



où

x_i $i^{\text{ème}}$ une valeur observée

\bar{x} total estimatif de la population

$\sum_{i=1}^n x_i f_i$ somme de toutes les valeurs $x_i f_i$ observées dans l'échantillon

$\sum_{i=1}^n f_i$ somme des fréquences enregistrées dans l'échantillon

N nombre total d'observations effectuées à l'intérieur de la population.

2.6.11. Estimation du pourcentage π d'une population

Dans le cas des pourcentages, on sait que si la taille de l'échantillon est suffisamment grande ($n \geq 30$), la distribution des pourcentages des échantillons est approximativement normale.

Par conséquent, on peut construire, autour du pourcentage p de l'échantillon, un **intervalle de confiance** pour estimer le pourcentage π de la population.

Puisque $n \geq 30$, on a la formule :

$$p - Z\bar{\pi}_n < \pi < p + Z\bar{\pi}_n$$

où

p le pourcentage de l'échantillon

Z la valeur de Z qui correspond au niveau de confiance donné

$\bar{\pi}_n$ l'estimateur de l'erreur type du pourcentage, *i.e.*

■ $\bar{\pi}_n = \sqrt{\frac{p(100\% - p)}{n}} \sqrt{\frac{N - n}{N - 1}}$ si la population est finie

■ ou $\bar{\pi}_n = \sqrt{\frac{p(100\% - p)}{n}}$ si la population est infinie



2.6.12. Influence des techniques de sondages sur les estimateurs

Découper la population en strates homogènes peut réduire de manière significative la valeur de la variance de l'estimateur et donc le rendre plus efficace.

Utiliser un tirage aléatoire à probabilités inégales, procéder à un sondage en plusieurs étapes ou par grappe change évidemment les formules calculées précédemment.

Enfin, l'utilisation d'informations auxiliaires permet parfois d'effectuer une correction sur l'estimateur pour le rapprocher de la valeur réelle.

2.6.13. Détermination de la taille d'un échantillon

Jusqu'à présent, on a calculé la valeur de l'intervalle pour un échantillon puisque la taille de l'échantillon n et le niveau de confiance sont fixés (en effet, il est injustifié de jouer *a posteriori* avec cette probabilité) on doit accepter cet intervalle, quelle qu'en soit la longueur.

Or, dans nombre de cas, on désire obtenir une estimation d'une précision donnée *a priori*. Il est alors possible, moyennant certaines hypothèses de calculer la taille de l'échantillon requise pour atteindre ce degré de précision (ici, on suppose que la taille de la population est infinie ou très grande).

2.6.14. Taille de l'échantillon pour estimer μ

Lorsque l'on écrit l'intervalle $\bar{x} - Z\hat{\sigma} < \mu < \bar{x} + Z\hat{\sigma}$ la forme générale des bornes est $\bar{x} \pm Z\hat{\sigma}$ c'est-à-dire $\hat{x} \pm \delta$ où δ est la marge d'erreur tolérée.

Or, puisque $\delta = Z\sigma_{\bar{x}} = Z\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ on peut tout mettre au carré, *i.e.* $\delta^2 = Z^2\frac{\sigma^2}{n}$ et, en isolant n , on a

$$n = Z^2 \frac{\sigma^2}{\delta^2} = \left(\frac{\sigma^2}{\sigma_{\bar{x}}^2} \right)$$



Où

Z	valeur correspondant au niveau de confiance désiré
σ^2	variance dans la population
δ	marge d'erreur tolérée

Il est important de noter ici que, comme le montre la formule précédente, il est nécessaire de poser une hypothèse quant à la valeur de σ pour être en mesure d'évaluer la taille requise pour l'échantillon.

Il faut également noter que la forme de l'intervalle considéré suppose que la distribution d'échantillonnage est normale. Par conséquent, sauf si σ est connu et que la distribution de la population est normale, on doit considérer que si la formule donne un $n < 30$, on pose $n = 30$.

2.6.15. Taille de l'échantillon pour estimer π

De même, lorsque l'on écrit l'intervalle $p - Z\sigma_p < \pi < p + Z\sigma_p$, la forme générale des bornes est $p \pm Z\sigma_p$ c'est-à-dire $p \pm \delta$ où δ est la marge d'erreur tolérée.

Or, puisque

$$\delta = Z\sigma_p = Z\sqrt{\frac{\pi(100\% - \pi)}{n}}$$

on peut tout mettre au carré, *i.e.*

$$\delta^2 = Z^2\sigma_p^2 = Z^2\frac{\pi(100\% - \pi)}{n}$$

et, en isolant n , on a

$$n = Z^2 \frac{\pi(100\% - \pi)}{\delta^2} = \frac{\pi(100\% - \pi)}{\left(\frac{\delta}{Z}\right)^2}$$

Où

Z	valeur correspondant au niveau de confiance désiré
π	le pourcentage dans la population
δ	la marge d'erreur tolérée



Etrangement, cette formule exige la connaissance de π , ce qu'on cherche justement à estimer. Il s'agit donc de faire un estimé conservateur de π . Dans nombre de cas, on connaît les bornes à l'intérieur desquelles le vrai π risque de se situer. Un intervalle conservateur peut être construit en donnant à π la valeur de la borne située le plus près de 50%. Dans le pire des cas, on pose $\pi = 50\%$ puisque alors le produit $\pi(1-\pi)$ sera maximal et le nombre d'observations requises sera surévalué.

En résumé, les propriétés de la distribution d'échantillonnage des moyennes sont décrites sous la forme du théorème limite central qui énonce les principes suivants :

- La moyenne de la distribution d'échantillonnage des moyennes est égale à la moyenne de la population, i.e. $\mu_{\bar{x}} = \mu$
- L'écart type de la distribution d'échantillonnage des moyennes est donné par
 - $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ si la population est infinie
 - $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$ si la population est finie
- Si la taille n de l'échantillon est suffisamment grande ($n \geq 30$), la distribution d'échantillonnage des moyennes s'approche d'une distribution normale et ce, quelle que soit la distribution de la population, sauf si elle est normale, car, dans ce cas, la distribution d'échantillonnage des moyennes est une distribution normale, quelle que soit la taille de l'échantillon.

Lorsque la taille de l'échantillon est suffisamment grande ($n > 30$), la distribution d'échantillonnage est approximativement une distribution normale, que la distribution de la population soit normale ou non.

De plus, lorsque la distribution de la population est normale, la distribution d'échantillonnage est une distribution normale.



Ce qu'il faut retenir...

- La moyenne empirique et la variance empirique fournissent des estimations de la moyenne et de la variance de la population.
- Ces estimations sont convergentes car leurs variances tendent vers zéro lorsque la taille de l'échantillon s'accroît indéfiniment.
- Elles sont correctes car leur limite est égale à la valeur à estimer.
- L'estimation de la moyenne est absolument correcte, ou sans biais, car son espérance est égale à la valeur cherchée quelle que soit la taille de l'échantillon.
- L'estimation de la variance est biaisée (son espérance est inférieure à la valeur cherchée). Pour obtenir une estimation sans biais, il faut utiliser une formule

légèrement différente de celle de la statistique descriptive : $s'^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2$

Les paramètres statistiques tendent à suivre une loi de distribution d'échantillonnage et convergent vers les valeurs correspondantes dans la population d'origine au fur et à mesure que la taille de l'échantillon augmente.

Connaissant ces lois, on peut fixer la taille de l'échantillon requise tout en estimant l'erreur commise et pouvoir généraliser le résultat obtenu à l'ensemble de la population concernée avec une probabilité donnée.

La généralisation n'est possible en réalité que lorsque l'échantillon est aléatoire et représentatif en terme quantitatif (taille minimale) et qualitatif (structure et base de sondage).



3. Questionnaire

La problématique liée à la conception des questionnaires est complexe. En effet, selon le type de méthode d'évaluation des bénéfices, chaque questionnaire devra être adapté en conséquence. Il s'appuiera également sur des éléments de psychologie et de statistique afin de permettre au mieux le traitement ultérieur des données.

Les détails de ces méthodes sont exposés en **Annexe 8**.

Deux domaines ont été retenus quant au choix des thématiques à prendre en compte lors de la réalisation des questionnaires :

- Les bénéfices engendrés par la sauvegarde de la biodiversité dans les rivières et les zones humides
- Les bénéfices écologiques et récréatifs liés à l'amélioration de la qualité de l'eau

Les deux questionnaires proposés sont présentés en **Annexe 9**.

4. Outil de saisie sous Access

Afin de permettre l'exploitation des données issues des questionnaires envoyés aux habitants du bassin Rhin Meuse, il sera nécessaire de mettre en place un **outil permettant la saisie des données** susnommée. Pour ce faire, le logiciel Access sera utilisé.

Un exemple, relatif aux données socio économiques des personnes enquêtées et qui s'appuie sur les esquisses des questionnaires qui ont été construits, est présenté ici. Il comprend entre autres des zones de listes déroulantes et des contrôles de cohérence qui permettent de **limiter les erreurs** dues à une mauvaise saisie. De même, les formats de chaque entrée ont été définis, et la possibilité de supprimer un enregistrement a été créée.



Partie III
Questions de nature socio - professionnelles et familiales

Sexe: Homme
 Âge: 45
 Activité:
 CSP: Agriculteur
 Niveau d'études: Sans diplôme
 Nombre d'enfants: 2
 Revenu net: moins de 1000€
 Résidence principale: aaa

Enregistrement suivant

Entr : 1 sur 2

Figure 12 : Fiche de saisie des données issues du questionnaire

Ces informations sont enregistrées automatiquement dans une base de données Access, ce qui permettra une extraction simple et efficace des données à analyser.

Numéro	Sexe	Âge	Activité	CSP	Niveau d'études	Nombre d'enfan	Revenu net	Résidence prin
4	Homme	45	<input checked="" type="checkbox"/>	Agriculteur	Sans diplôme	2	moins de 1000€	aaa
5	Femme	34	<input checked="" type="checkbox"/>	Profession inter	Bac+3, Bac+4	3	Entre 1 500 et 2 000€	bbb

Entr : 1 sur 2

Figure 13 : Base de données



5. Outil sous Excel d'analyse des données statistiques relatives aux données socio-économiques de l'échantillon

Afin d'obtenir un résumé statistique nécessaire à la réalisation d'un traitement statistique des données socio-économiques de l'échantillon, un outil sous Excel a été créé.

Après avoir intégré sur la feuille destinée à cet effet le tableau des données socio-économiques des personnes enquêtées, et *via* des macros enregistrées sous Visual Basic et des fonctions intégrées sous Excel, le calcul de la fréquence de chaque variable s'effectue et un graphique permet de visualiser ces résultats.

La base de données à analyser comprend les variables suivantes :

- Le numéro de l'individu
- Le sexe
- L'âge
- La catégorie socio-professionnelle
- Le niveau d'étude
- Le nombre d'enfants
- Le nombre de personnes dans le foyers
- La catégorie de revenu net du ménage
- La réponse (oui/non) à la question « Accepteriez-vous de payer... ? »

Un exemple sur la fréquence d'hommes et de femmes présents dans l'échantillon est présenté ci-dessous :

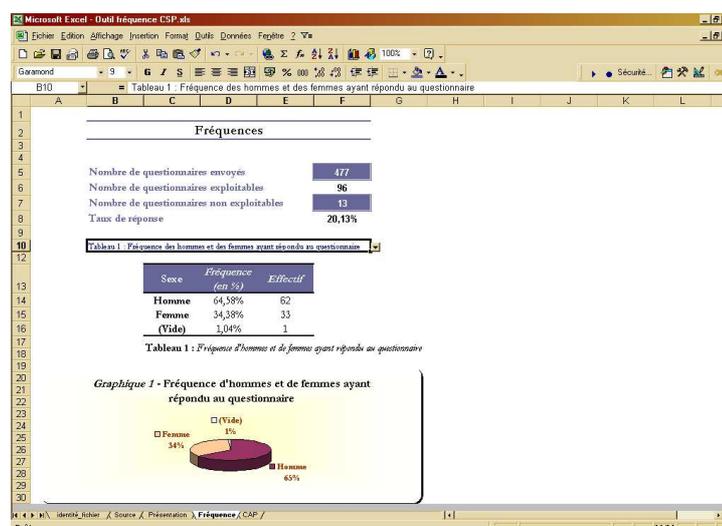


Figure 14 : Exemple de fréquence dans l'échantillon



6. Traitement statistique et économétrique

En fonction des différentes procédures de révélation du consentement à payer, différents modèles économétriques, plus ou moins complexes, sont utilisés pour relier le consentement à payer exprimé aux caractéristiques des personnes interrogées.

Les variables explicatives suivantes sont généralement retenues pour expliquer le consentement à payer : revenu, âge, catégorie socio-professionnelle du chef de famille, nombre d'enfants dans la famille, sexe, ainsi que d'autres variables spécifiques au cas étudié permettant d'approcher la sensibilité au bien considéré (représentations, pratiques...). Par exemple, dans le cas de l'évaluation d'un actif environnemental, il convient de s'intéresser à l'existence d'une « fibre environnementale » chez le répondant.

Les modèles économétriques considérés pour les méthodes de coûts de transport, des prix hédoniques, et de l'évaluation contingente sont présentés en *Annexe 10*.

Le bénéfice total associé à l'offre de l'actif à valoriser est obtenu en multipliant le CAP moyen par la population concernée.

Au préalable, il importe d'examiner plus précisément les réponses nulles et de distinguer les « vraies » valeurs nulles, qui doivent être conservées comme telles, des « fausses », qui révèlent d'un comportement de protestation ou de rejet du scénario proposé. Pour cela, les individus ayant refusé de contribuer sont interrogés sur les raisons motivant ce refus. Les vraies valeurs de ces « faux zéros » peuvent être reconstituées à partir de modèles expliquant la formation des CAP à partir de ses divers facteurs explicatifs.

Quel que soit le type de question retenu pour approcher le CAP, les non-réponses sont souvent nombreuses. Parmi elles, certaines sont certainement le fait de personnes non intéressées par le site ou la mesure à évaluer, donc qui ont un CAP nul. Mais, face aux difficultés de l'exercice demandé, il est également probable qu'un grand nombre de personnes interrogées ne parviennent pas à formuler une évaluation.

Parmi les valeurs très élevées que l'on peut observer (essentiellement dans le cas des questions ouvertes), certaines correspondent certainement à une valeur élevée accordée au bien ou à la mesure que l'on cherche à estimer. Toutefois, un certain nombre d'entre elles peuvent également relever d'une attitude de protestation à l'égard du scénario proposé ou de l'exercice d'évaluation lui-même. Compte tenu de la forte influence que peut exercer un petit nombre de valeurs extrêmes sur le CAP moyen, la prudence impose de les retenir. C'est surtout vrai lorsqu'elles ne se justifient pas en regard des facteurs explicatifs du CAP mis en évidence économétriquement. Il est alors possible d'appliquer une méthode robuste, comme par exemple borner à une valeur qui n'est dépassée que dans 1% ou 5% des cas.

Les programmes SAS sont présentés en Annexe 11.

6.1. Estimation des paramètres de tendance centrale et de dispersion

La PROC SURVEYMEANS sous SAS permet d'estimer le total dans la population d'une variable, sa moyenne, ou une proportion, à partir de données d'échantillon. Elle évalue la précision de ces estimations en tenant compte du plan de sondage. Elle permet également d'estimer des ratios et de réaliser des estimations par domaine.

L'option *total* permet de donner la taille de la population pour tenir compte de la correction de la population finie dans l'estimation de la variance. *sum* précise que l'on s'intéresse à l'estimation du total (par défaut la procédure donne une estimation de la moyenne) et *varsum* permet d'obtenir une estimation de la variance de l'estimateur du total. Les observations sont pondérées selon leur poids de sondage par l'option *weight*. Si les poids n'apparaissent pas dans le jeu de données, SAS les fixe alors à 1. Le total et son erreur-type sont alors sous-estimés par un facteur de N/n , où N est la taille de la population et n la taille de l'échantillon. L'option *var* nomme les variables à estimer.



6.2. Statistique exploratoire

6.2.1. Paramètres de position et de dispersion

La **PROC UNIVARIATE** est utilisée pour une variété de statistiques afin de résumer la distribution des données de chacune des **variables quantitatives** analysées :

Les moments de l'échantillon

Les paramètres de position et de dispersion

Les intervalles de confiance pour la moyenne, l'écart-type et la variance

Les tests de normalité

Les quantiles et les intervalles de confiance s'y référant

Les valeurs extrêmes

La fréquence des observations

Les valeurs manquantes

6.2.2. Analyses univariée et bivariée, analyse des corrélations

La **PROC FREQ** permet d'obtenir des tables de fréquences et des tableaux de contingences ainsi que plusieurs statistiques descriptives et différents tests. On s'intéressera plus particulièrement au test du Khi-deux de Pearson, à la valeur estimée par le maximum de vraisemblance et au test de Fisher.

Un **tableau de contingence**, ou tableau croisé se définit simplement comme le tableau de répartition des individus obtenus en croisant deux variables qualitatives (ordonnées selon un critère donné ou purement qualitatif).

Un tableau de contingence est en fait la distribution bivariée d'une population. Les deux variables ont un caractère qualitatif qu'elles soient nominales ou ordinales. Chaque variable comprend plusieurs modalités. Par commodité les modalités des deux variables considérées X et Y , sont indicées par i et j .

L'effectif total n est ainsi réparti dans les $k \times l$ cases du tableau, les effectifs partiels sont notés n_{ij} , (ligne i et colonne j). Par définition on a:



$$N = \sum_{i,j} n_{ij}$$

Si l'on effectue les totaux ligne par ligne, et colonne par colonne, on calcule les marges, qui ne sont autres que la répartition univariée des deux variables. On les note respectivement $n_{i.}$ et $n_{.j}$. Le point indique l'absence de la ligne ou de la colonne.

On a :

$$n_{i.} = \sum_{j=1}^l n_{ij} \quad \text{et} \quad n_{.j} = \sum_{i=1}^k n_{ij}$$

Ainsi le tableau suivant qui représente la répartition des classes d'effectifs pour chaque région (profil ligne) permet de comparer le profil des régions au profil moyen (dernière ligne) et de les comparer entre elles.

La lecture des profils lignes et des profils colonnes permet donc de découvrir des faits nouveaux. Cependant, la certitude de la liaison des deux variables n'est pas assurée. Un test est nécessaire. Celui-ci appelé le test du χ^2 . On notera que le calcul d'une certaine quantité (le χ^2) permet d'améliorer encore l'interprétation.

Celui-ci est un calcul statistique qui permet de trancher la question de savoir si la relation entre les deux variables est significative ou non. Plus précisément c'est une procédure qui permet de trancher la proposition suivante : il n'y a pas de relation entre les deux variables. Cette proposition est appelée hypothèse nulle. Pratiquement pour montrer qu'il existe une relation, on cherche à montrer que l'inexistence de la relation à une faible probabilité de se réaliser.

Le principe du test est simple : il suffit de comparer la répartition des observations entre les cases du tableau à une distribution idéale qui correspond exactement à une situation de liaison nulle entre les deux variables. Il faut donc deux tableaux : le tableau des effectifs observés, et le tableau des effectifs théoriques (correspondant à l'absence de liaison) et un critère de comparaison.



Celui-ci est appelé le χ^2 , il mesure l'écart des deux tableaux. Plus l'écart sera grand et plus faible la chance que le tableau observé soit semblable au tableau théorique, autrement dit que l'hypothèse nulle se réalise, et par conséquent que la liaison soit significative. Calculons le tableau des effectifs théoriques.

Ce calcul s'appuie sur un théorème de l'indépendance statistique de deux variables, celui-ci postule qu'il suffit que le produit des marges (totaux lignes et colonnes) soit égal aux effectifs croisés pour qu'il y ait indépendance. En reprenant le formalisme :

$$t_{ij} = \frac{n_{i.} \cdot n_{.j}}{N} = n_{ij}$$

Puisque nous avons les effectifs théoriques nous pouvons passer au calcul du χ^2 . Celui-ci est défini par la formule suivante:

$$\chi^2 = \sum_{i,j=1}^{k,l} \frac{(n_{ij} - t_{ij})^2}{t_{ij}}$$

En regardant plus attentivement la formule on se rend compte qu'elle se résume à une somme de χ^2 partiels qui correspondent à chacune des cases du tableau.

$$\chi^2 = \sum_{i,j=1}^{k,l} \chi_{ij}^2 \quad \text{avec} \quad \chi_{ij}^2 = \frac{(n_{ij} - t_{ij})^2}{t_{ij}}$$

Chacun de ces χ^2 partiels est obtenu en faisant élever au carré la différence des effectifs théoriques et empiriques, et en la rapportant à l'effectif théorique. Pour obtenir le χ^2 total il suffit de sommer toutes les cases.

Le χ^2 est une mesure d'écart. Plus sa valeur est grande et moins il est probable qu'il n'y ait pas de relation. Cette valeur est dépendante de la taille du tableau : on comprend aisément que plus il y a de lignes et de colonnes, plus fort est le χ^2 . Ce phénomène est pris en compte avec le calcul du **nombre de degré de liberté** (DDL) qui est défini par $(k-1)(l-1)$, k et l étant le nombre de lignes et de colonnes. Des tables permettent de calculer pour une valeur du χ^2 et un nombre de DDL la probabilité que le χ^2 soit le résultat du hasard. En règle générale on procède différemment.

Puisque SAS nous fournit directement cette probabilité, on se donne un **seuil**, par défaut 5%. Cette valeur signifie que l'on accepte que l'éventualité de la non relation n'ait que 5 chances sur 100 d'être vraie.



6.3. Analyse des données

6.3.1. Analyse multivariée

6.3.1.1. Analyse Factorielle des Correspondances

L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) est utile pour analyser des tableaux croisés et représenter graphiquement les proximités entre les modalités de deux variables qualitatives. Les variables qualitatives peuvent être disponibles sous forme d'un tableau individus/variables ou sous forme d'un tableau de contingence (tableau croisé).

L'AFC consiste à rechercher la meilleure représentation simultanée de deux ensembles constituant les lignes et les colonnes d'un tableau de contingence, ces deux ensembles jouant un rôle symétrique.

L'analyse en composantes principales (ACP), et l'analyse factorielle discriminante (AFD) exploitent des tableaux de données contenant des caractères mesurés sur des individus. On est souvent en présence de tableaux différents, dont le contenu est formé par les fréquences avec lesquelles sont observées les modalités de deux caractères non nécessairement quantitatifs. Il s'agit de tableaux de contingence qui peuvent être d'assez grandes dimensions. En présence de tels tableaux, la statistique classique nous donne par le test du Khi-2 le moyen de savoir s'il existe une liaison (ou correspondance) entre les caractères étudiés, mais ne permet guère de décrire cette liaison, ce qui est précisément l'objet de l'analyse factorielle des correspondances. L'AFC peut être considérée comme une ACP particulière dotée de la métrique du Khi-2 qui ne dépend que du profil des colonnes du tableau. L'analyse permet, dans le plan des deux premiers axes factoriels, une représentation simultanée, souvent fort suggestive des ressemblances entre les colonnes ou les lignes du tableau et de la proximité entre lignes et colonnes.



6.3.1.2. Analyse Factorielle des Correspondances Multiples

L'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM) est utile pour représenter graphiquement les proximités entre les modalités d'au moins deux variables qualitatives. En effectuant une AFCM, on souhaite identifier les relations possibles entre les différentes réponses aux différentes questions.

6.4. Régressions

La régression logistique permet de modéliser une variable binaire en fonction de variables explicatives quantitatives ou qualitatives.

La régression logistique, et les méthodes associées comme l'analyse Probit, sont très utiles lorsque l'on veut comprendre ou prédire l'effet d'une ou plusieurs variables sur une variable à réponse binaire, c'est à dire qui ne peut prendre que deux valeurs 0/1 ou Oui/Non par exemple.

La procédure SURVEYLOGISTIC permet l'estimation directe des modèles *Logit* et *Probit* par la technique du maximum de vraisemblance. Parmi les options, LINK = logit spécifie le modèle *Logit*, qui est le choix par défaut, et LINK = probit le modèle *Probit*. De la même façon, la procédure PROBIT évalue les données selon la méthode du maximum de vraisemblance.

Les paramètres obtenus dans le modèle *Logit* font l'objet d'un test analogue à celui employé dans le cas de la régression ordinaire, mais au lieu d'employer un test t , on emploie la statistique de Wald qui se distribue selon la loi du Chi-deux à un degré de liberté :

$$Wald = \left(\frac{b}{\sigma_b}\right)^2$$

Un problème est posé lorsque le paramètre b a une valeur absolue importante, dans ce cas l'erreur-type est trop grande, conduisant à ne pas rejeter l'hypothèse nulle à tort. C'est pourquoi il est généralement recommandé d'utiliser un autre test : celui des différences du Chi-deux.



De même qu'en régression multiple, la contribution des variables est difficile à déterminer lorsque les variables explicatives sont corrélées. Un moyen détourné est en régression ordinaire le calcul de corrélation partielle. Il en est de même pour la régression logistique. Cette corrélation étant calculée de la manière suivante :

$$R = \pm \sqrt{\frac{Wald - 2k}{-2 \text{Log vraisemblance du modèle initial}}}$$

où k est le nombre de degré de liberté.

Si la statistique de Wald est inférieure à $2k$, R est simplifié à 0.

On considère un événement Y ($Y = 0$ ou 1) obéissant à une loi de Bernoulli, une ou plusieurs variable(s) indépendante(s) X .

Pour l'estimation des coefficients d'un modèle de régression logistique, la méthode généralement utilisée est celle du maximum de vraisemblance. On peut décrire sommairement et généralement cette méthode comme suit.

Soit X une variable qui obéit à une loi de distribution de paramètre $\theta : f(X, \theta)$. À partir d'un certain nombre d'observations sur X , (X_1, X_2, \dots, X_n), on essaie de déterminer la valeur inconnue du paramètre θ . La méthode du maximum de vraisemblance postule que cette valeur de θ devrait être celle qui maximise la probabilité d'obtenir les valeurs observées sur X .

Ainsi, la procédure d'estimation par le maximum de vraisemblance suppose :

- d'abord la définition d'une fonction de θ , $FV(\theta)$, dite fonction de vraisemblance, qui permet de décrire la probabilité d'obtenir les valeurs observées de X ,
- puis la maximisation de cette fonction pour θ .



Fonction de vraisemblance de θ

$$FV(\theta) = f(X_1; \theta) \cdot f(X_2; \theta) \cdot \dots \cdot f(X_n; \theta)$$

Si X est une variable discrète, $FV(\theta)$ est un produit de probabilités.

Si X est continue, $FV(\theta)$ est un produit de fonctions de densité de probabilités.

Maximisation de $FV(\theta)$ ou équation de vraisemblance

La fonction $FV(\theta)$ atteint son maximum à la valeur de θ qui annule sa dérivée première:

$$\hat{\vartheta} \mapsto \frac{\partial FV(\vartheta)}{\partial \vartheta} = 0$$

Il est en général plus pratique d'opérer sur la transformation logarithmique de $FV(\theta)$, qui s'exprime comme une somme de fonctions de θ , plutôt qu'un produit de fonctions comme c'est le cas pour $FV(\theta)$. En raccourci, on écrira $L(\theta)$ pour désigner $\log FV(\theta)$. Soulignons le fait que les fonctions $L(\theta)$ et $FV(\theta)$ atteignent leur maximum à la même valeur de θ . Ainsi, l'estimation du maximum de vraisemblance de θ sera cette valeur $\hat{\theta}$ qui annule la dérivée première de $L(\theta)$. Il faut alors résoudre l'équation de vraisemblance:

$$\frac{\partial L(\vartheta)}{\partial \vartheta} = 0$$

Pour simplifier l'écriture, on omettra dorénavant l'accent circonflexe pour désigner l'estimation de θ ou de tout autre paramètre. On laissera au contexte le soin de spécifier la nature de la mesure.

La valeur de la fonction en son maximum

La valeur de la fonction en son maximum est calculée en appliquant simplement la fonction à la valeur θ obtenue comme estimation du maximum de vraisemblance. La valeur de



la fonction en son maximum joue un rôle central dans la définition du test statistique du rapport de vraisemblance.

Le modèle de régression logistique qui décrit ces données se présente comme :

$$g(X) = \alpha + \beta X$$

On veut estimer les paramètres α et β du modèle par la méthode du maximum de vraisemblance.

Fonction de vraisemblance $FV(\alpha, \beta)$

$$FV(\alpha, \beta) = \left(\frac{e^{\alpha+\beta}}{1+e^{\alpha+\beta}} \right)^a \left(\frac{e^\alpha}{1+e^\alpha} \right)^b \left(\frac{1}{1+e^{\alpha+\beta}} \right)^c \left(\frac{1}{1+e^\alpha} \right)^d$$

où

$$\frac{e^\alpha}{1+e^\alpha} = \pi(0)$$

$$\frac{e^{\alpha+\beta}}{1+e^{\alpha+\beta}} = \pi(1)$$

Fonction de vraisemblance $L(\alpha, \beta)$

$$L(\alpha, \beta) = (a+b)\alpha + a\beta - (a+c)\log(1+e^{\alpha+\beta}) - (b+d)\log(1+e^\alpha)$$

Équations de vraisemblance

$$\frac{\partial L(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} = (a+b) - \frac{(a+c)e^{\alpha+\beta}}{1+e^{\alpha+\beta}} - \frac{(b+d)e^\alpha}{1+e^\alpha} = 0$$

$$\frac{\partial L(\alpha, \beta)}{\partial \beta} = a - \frac{(a+c)e^{\alpha+\beta}}{1+e^{\alpha+\beta}} = 0$$



Estimations du maximum de vraisemblance

$$\alpha = \log \left[\frac{b}{d} \right]$$

$$\beta = \log \left[\frac{ad}{bc} \right] = \log RC$$

Test de Wald

Le test de Wald porte sur la signification statistique d'un coefficient particulier. Si β désigne ce coefficient, l'hypothèse testée est simplement $\beta = 0$. Sous l'hypothèse nulle ($\beta = 0$), le rapport du coefficient à son erreur-type obéit approximativement à une distribution normale.

$$\frac{\beta}{\sqrt{V(\beta)}} \approx Z \Rightarrow \frac{\beta^2}{V(\beta)} \approx \chi_1^2$$

Ce test est très pratique pour porter un jugement sur l'importance statistique d'une variable dichotomique ou continue. On doit cependant l'éviter lorsqu'il s'agit de porter un jugement sur une variable polytomique qui requiert l'introduction de plusieurs variables indicatrices, et donc de plusieurs coefficients, dans le modèle.



CONCLUSION

CONCLUSION

De l'effet de serre au recul de la biodiversité en passant par la pollution des sols, la question environnementale a aujourd'hui totalement investi le champ de la discipline économique. Cette révolution culturelle débute dans les années 1970 avec la prise de conscience écologique qui suit la médiatisation des premières grandes pollutions.

Les économies occidentales prennent progressivement la mesure du coût environnementale de la croissance : il s'agit d'une mutation profonde de la vision de l'environnement jusqu'alors considéré comme un réservoir illimité pour les intrants et les extrants. Au contraire, l'environnement montre des limites tant en approvisionnement (sur-exploitation des ressources naturelles comme le pétrole ou les réserves halieutiques) qu'en débouchés (pollution des nappes phréatiques, par exemple).

La notion de valeur est centrale en économie. Affecter une valeur à l'environnement est donc indispensable pour sa parfaite prise en compte dans les équations. Pour autant cette affectation n'est pas aisée : quelle valeur monétaire donner aux bénéfices engendrés par le bon état des eaux ?

L'attribution d'une valeur aux avantages obtenus grâce, par exemple, à la mise en place d'infrastructures touristiques sur un lac est relativement facile (combien de personnes vont-elles l'emprunter ? quels sont les bénéfices qui vont être générés ?) On imagine aisément que la valeur économique du lac est moins aisée à déterminer. Qui serait prêt à payer pour les mesures de restaurations et d'entretien ? Et, surtout combien ? Il faut donc déplacer l'interrogation sur un plan symbolique.

L'attribution d'une valeur aux composantes environnementales est donc fondamentale mais complexe. Plusieurs méthodes sont utilisées pour le faire : la méthode des coûts de transport ou de déplacement (quelle distance sont prêts à parcourir les individus pour profiter d'un paysage ?), la méthode des prix hédonistes (on observe les sommes que consacrent les individus pour obtenir tel ou tel avantage environnemental ; cette méthode s'applique surtout sur les biens immobiliers où elle revient à calculer le surcoût que représente un paysage agréable ou un air « pur ») ou encore la méthode d'évaluation contingente (combien êtes-

vous prêt à payer pour bénéficier d'une eau de meilleure qualité ?). Ces méthodes de valorisation constituent une importante aide à la décision pour les politiques publiques. C'est cette dernière qui a été retenue ici, et c'est dans cette optique qu'a été effectuée la conception des outils nécessaires à la conduite d'une enquête. Ces outils constituent ainsi une aide pour la cellule Economie et Prospective et leurs applications pourront être mises en place prochainement dans le cadre des directives imposées.

La DCE demande donc de réaliser une ACB pour chercher l'**augmentation de bénéfices générés par le passage au bon état de la masse d'eau** et non le bénéfice total d'une masse d'eau en bon état. Ce bénéfice est égal à :

$$\boxed{\text{Bénéfice environnemental} = \text{Coûts évités} + \text{Impact sur les activités économiques} + \text{CAP}}$$

Au total, depuis une première estimation sans doute imparfaite¹⁷, les bénéfices liés à l'atteinte du bon état des masses d'eau jugées « à risque » en France pourraient atteindre **1 milliard €/an**.

L'usage Alimentation en Eau Potable (AEP) a le poids économique le plus important : le bénéfice d'usage non marchand constituerait plus de 50% des bénéfices totaux, et les moindres coûts de traitement environ 30% – le reste étant essentiellement représenté par des bénéfices non marchands issus de l'amélioration du patrimoine écologique, en dehors de tout usage (valeur de non-usage). Si l'évaluation se limite aux rivières, c'est cette valeur de non-usage qui serait prépondérante (environ 80%).

¹⁷ « Evaluer les Bénéfices Environnementaux sur les masses d'eau », MEDD, D4E.

BIBLIOGRAPHIE
et
SITOGRAFIE

BIBLIOGRAPHIE et SITOGRAFIE

- AMIGUES Jean-Pierre, ARNAUD Fabienne, BONNIEUX François (2003), « Evaluation des dommages dans le domaine de l'eau : contribution à la constitution d'une base de données françaises », INRA
- ARDILLY Pascal (2006), « Les Techniques de Sondage », *Editions Technip*
- Directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000
- LE GALL-ELY Marine, ROBERT-DEMONTROND Philippe (2005), « Méthodes d'évaluation contingente et d'analyse conjointe », *Collection « Méthodes de recherche en sciences humaines et sociales »*, Editions APOGEE - IREIMAR
- MARESCA Bruno, RANVIER Martial, DUJIN Anne (2006), « VALORISER L'ACTION PUBLIQUE, Le "consentement à payer", un outil au service de la LOLF », Cahier de recherche N° 224, Novembre, Département « *Evaluation des politiques publiques* », dirigé par Bruno MARESCA
<http://www.credoc.fr/pdf/Rech/C224.pdf>
- MARESCA Bruno, RANVIER Martial, « Biodiversité : combien est-on prêt à payer ? Une méthode exploratoire appliquée au programme Natura 2000 », N°198, décembre 2006, *Crédoc (Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de Vie), Consommation et modes de vie*
<http://www.credoc.fr/pdf/4p/198.pdf>
- SCHERRER Sylvie, « Comment évaluer les biens et services environnementaux ? », *Réponses environnement, Ministère de l'écologie et du développement durable, La documentation Française*
- TERRA Sébastien (2006), « Guide de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la méthode d'évaluation contingente », Série Méthode 05-M04, *Ministère de l'écologie et du développement durable, Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale*
http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/05-M04_Guide_de_BP_pour_la_mise_en_oeuvre_de_la_MEC.pdf
- TERRA Sébastien (2006), « Guide de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la méthode des prix hédoniques », Série Méthode 05-M01, *Ministère de l'écologie et du développement durable, Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale*
http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/05-M01_Guide_de_BP_pour_la_mise_en_oeuvre_de_la_MPH-2.pdf
- TERRA Sébastien (2006), « Guide de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la méthode des coûts de transport », Série Méthode 05-M05, *Ministère de l'écologie et du développement durable, Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale*
http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/05-M05Guide_BP_MCT-2.pdf

■ TERRA Sébastien (2006), « Guide de bonnes pratiques pour la mise en œuvre des études de valorisation environnementale : aide à la rédaction de cahier des charges », Série Méthode 05-M05, *Ministère de l'écologie et du développement durable, Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale*
http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/05-M02_Guide_general-2.pdf

■ TERRA Sébastien, DERONZIER Patrick, « Etude sur la valorisation des aménités du Loir », *Ministère de l'écologie et du développement durable, Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale*
http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/05-E15_Les_amenites_recreatives_du_Loir-2.pdf

■ THOMAS Alban, « Econométrie des variables qualitatives », *Dunod*

<http://www.evri.ca/français/default.htm>

http://www.fne.asso.fr/PA/eau/dos/dce/DCE3_transparence_couts.htm

<http://www.eau-rhin-meuse.fr>

<http://www.economie.eaufrance.fr>

GLOSSAIRE

ACB : Analyse Coûts Bénéfices

AERM : Agence de l'Eau Rhin Meuse

AEP : Alimentation en Eau Potable

BAG : Benefits Assessment Guidance

Bassin hydrographique : toute zone dans laquelle les eaux de ruissellement convergent vers un réseau de rivières, fleuves et éventuellement de lacs vers la mer, dans laquelle elles se déversent par une seule embouchure, estuaire ou delta.

Biais: Un estimateur $\hat{\theta}$ d'un paramètre θ est sans biais si son espérance est égale à θ .

Par exemple, la moyenne \bar{x} calculée sur un échantillon aléatoire simple est un estimateur sans biais de la moyenne m de la population. Sinon, le biais d'un estimateur $\hat{\theta}$ est la valeur de $E(\hat{\theta}) - \theta$.

Un biais positif signifie que l'estimation, en moyenne, surestime θ , alors qu'un biais négatif le sous-estime.

Bon état d'une eau de surface : l'état atteint par une masse d'eau de surface lorsque son état écologique et son état chimique sont au moins « bons ».

Bon état d'une eau souterraine : l'état atteint par une masse d'eau souterraine lorsque son état quantitatif et son état chimique sont au moins « bons ».

CAP : Consentement A Payer

Consentement A Payer : Une des manières d'estimer la valeur d'un bien ou d'un service environnemental. C'est la mesure appropriée lorsque l'évaluation contingente propose aux personnes interrogées d'acheter un bien (par exemple, une amélioration de l'état écologique d'une masse d'eau).

Consentement A Recevoir : Concept théorique approprié quand l'évaluation contingente demande aux personnes interrogées de renoncer au bien étudié (par exemple, un dédommagement pour compenser la présence d'une usine d'incinération d'ordures ménagères à proximité du lieu de résidence des personnes interrogées).

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

D4E : Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale

Echantillon : Sous-groupe de la population à l'étude, choisi ou non de manière aléatoire.

Echantillonnage aléatoire : Pour qu'un échantillon soit représentatif de la population, il faut que chaque élément de la population ait les mêmes chances d'appartenir à l'échantillon.

Echantillonnage non exhaustif : Lors de l'échantillonnage, chaque élément extrait est remis dans la population après relevé de ses caractéristiques. Dans le cas inverse (on ne remet pas en jeu chaque élément extrait) l'échantillonnage est dit exhaustif.

Une population dénombrable (finie) sur laquelle on procède à un échantillonnage non exhaustif se comporte comme une population infinie.

Un échantillonnage exhaustif portant sur une population très grande (vis à vis de la taille de l'échantillon) est considérée comme non exhaustif.

Echantillon représentatif : Sous-groupe de la population choisi de manière aléatoire, et qui possède en principe les propriétés de la population.

Efficacité: un estimateur est efficace si, à effort d'échantillonnage égal, il fournit des estimations plus précises que d'autres : Si $\hat{\theta}_1$ et $\hat{\theta}_2$ sont deux estimateurs sans biais d'un même paramètre θ , $\hat{\theta}_1$ sera dit plus efficace que $\hat{\theta}_2$ si $V(\hat{\theta}_1) < V(\hat{\theta}_2)$.

Enquête par échantillonnage : Collecte d'information auprès d'une partie seulement de la population.

ERU : Eau Résiduaire Urbaine

Espérance: L'espérance (mathématique) d'une variable aléatoire numérique X , appelée aussi parfois par abus de langage moyenne de X , est la valeur que l'on peut espérer obtenir, en moyenne, en réalisant X . Elle est notée $E(X)$. Dans le cas d'une variable X

■ *discrète*, de loi de probabilité définie par les x_i et les p_i , c'est la moyenne des x_i , pondérée par les p_i

$$E(X) = \sum x_i p_i$$

■ *continue*, de fonction de densité f , c'est l'intégrale, sur l'intervalle des valeurs de X , de la fonction $x f(x)$:

$$E(X) = \int x f(x) dx$$

Estimateur: Variable aléatoire, fonction de variables d'échantillon X_1, X_2, \dots, X_n dont la réalisation est une estimation (c'est-à-dire une valeur approchée) d'un paramètre θ inconnu de la population.

Par exemple,

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

est un estimateur de m , moyenne de la population ($m = E(X)$). Sa réalisation est \bar{X} , moyenne calculée sur l'échantillon.

Estimation par intervalle : On dit que l'on procède à une estimation par intervalle d'un paramètre θ lorsqu'on détermine un intervalle de confiance pour θ .

Estimation ponctuelle : C'est une valeur approchée $\hat{\theta}$ du paramètre θ inconnu d'une population, calculée à partir d'un échantillon. C'est en fait la réalisation d'une variable aléatoire $\hat{\theta}$, estimateur de θ .

Etat d'un eau de surface : l'expression générale de l'état d'une masse d'eau de surface, déterminé par la plus mauvaise valeur de son état écologique et de son état chimique.

Etat d'un eau souterraine : l'expression générale de l'état d'une masse d'eau souterraine, déterminé par la plus mauvaise valeur de son état quantitatif et de son état chimique.

Extrapolation : Le poids comme coefficient d'extrapolation : passage des «effectifs échantillon» aux «effectifs population».

Facteur d'exhaustivité : C'est le nombre $\frac{N-n}{N-1}$ par lequel il faut multiplier la variance d'une variable aléatoire X lorsqu'on a un tirage exhaustif, et non pas sans remise (N est la taille de la population, n celle de l'échantillon).

Ce nombre étant inférieur à 1, cela signifie que la variance est plus faible lorsque le tirage se fait sans remise.

Lorsque la population est très grande (N beaucoup plus grand que n), le facteur d'exhaustivité est négligeable (presque égal à 1).

Marge d'erreur : Erreur moyenne commise dans l'estimation de la statistique qui intéresse le sondeur. Si cette statistique est une proportion, la marge d'erreur représente l'écart moyen entre l'estimation de la proportion à partir des résultats de l'échantillon et la vraie proportion de la population (qui n'est pas connue).

Masse d'eau artificielle : une masse d'eau de surface créée par l'activité humaine.

Masse d'eau fortement modifiée : une masse d'eau de surface qui ,par suite d'altérations physiques dues à l'activité humaine, est fondamentalement modifiée quant à son caractère.

Masse d'eau de surface : une partie distincte et significative des eaux de surface telles qu'un lac, un réservoir, une rivière, un fleuve, ou un canal, une partie de rivière, de fleuve ou de canal, une eau de transition ou une portion d'eau côtières.

Masse d'eau souterraine : un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères.

MEDD : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

MEDAD : Ministère de l'Ecologie et du Développement et de l'Aménagement Durable

Pondération : Redistribution de poids à effectif échantillon constant, visant à corriger une sur/sous -pondération de strates décidée lors de l'établissement du plan de sondage ou à tenir compte de la taille des unités primaires (par exemple ménages/individus).

Puissance: pouvoir de détecter des petites différences, sans pour autant augmenter la probabilité de déclarer différentes des échantillons identiques.

Redressement : Redistribution de poids à effectif échantillon constant, généralement fondée sur des critères multiples, visant à corriger une sur/sous – représentation de catégories de la population constatée *a posteriori*.

Robustesse: degré de sensibilité de l'analyse au non-respect des conditions d'application.

Services liés à l'utilisation de l'eau : tous les services qui couvrent, pour les ménages, les institutions publiques ou une activité économique quelconque :

- a. le captage, l'endiguement, le stockage, le traitement et la distribution d'eau de surface ou d'eau souterraine.
- b. les installations de collecte et de traitement des eaux usées qui effectuent ensuite des rejets dans les eaux de surface.

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

Substances dangereuses : les substances ou groupes de substances qui sont toxiques, persistantes et bioaccumulables, et autres, et autres substances ou groupes de substances qui sont considérées, à un degré équivalent, comme sujettes à caution.

Utilisation de l'eau : les services liés à l'utilisation de l'eau ainsi que toute autre activité susceptible d'influer de manière sensible sur l'état des eaux.

Valeur de non-usage : volonté de préserver le bien étudié pour l'usage des générations futures (valeur de legs) ou indépendamment de tout usage présent ou futur (valeur d'existence).

Valeur d'usage : : Se rapportent aux services fournis par le bien considéré soit comme facteur de production, soit comme élément de la demande finale (loisirs, santé). Les valeurs d'usage peuvent aussi renvoyer à des usages futurs potentiels que l'on veut préserver (valeur d'option).

Variable aléatoire : Une variable aléatoire X est une grandeur qui peut prendre différentes valeurs avec différentes probabilités, l'ensemble des valeurs que peut prendre X est noté ε_X . X est en fait une application qui, à toute issue d'une expérience aléatoire, associe un élément de ε_X . Selon la nature de ε_X , X sera une variable qualitative, numérique discrète ou numérique continue.

Variance : La variance d'une variable aléatoire numérique X , notée $V(X)$, est un nombre positif ou nul, nul si X est une constante, et d'autant plus grand que les valeurs de X sont "imprévisibles".

$$V(X) = E[X - E(X)]^2$$

$$\text{On a aussi : } V(X) = E(X^2) - [E(X)]^2$$

La racine carrée de la variance est l'écart-type.

Variation d'échantillonnage : Variation qu'accusent des échantillons d'une même population qui sont différents, mais d'une même taille.

ANNEXES

ANNEXE 1

Calendrier général de la DCE et son application en France

Décembre 2004	Publication des documents d'état des lieux : achèvement de l'analyse des caractéristiques des districts hydrographiques (art. 5) et établissement du registre des zones protégées (art. 6)
Fin 2006	Mise en place opérationnelle d'un programme de surveillance de l'état des eaux (art. 8) <i>Avant-projet de Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)</i> et de programme de mesures, <i>IXème programme d'intervention des agences de l'eau</i> , définition du Bon Etat Ecologique. Mesures nationales de normes de qualité environnementales pour les substances prioritaires (art. 16)
Décembre 2009	Publication du programme de mesures (art. 11) Publication du premier plan de gestion (art. 13)
Fin 2010	Mise en place d'une politique de tarification incitative
Décembre 2012	Mise en place opérationnelle des programmes de mesures (art. 11)
Décembre 2013	Mise à jour de l'analyse des caractéristiques du district hydrographique (art. 5)
Décembre 2015	Réalisation de l'objectif de bon état des eaux (art. 4.1) Premier réexamen des programmes de mesures (art. 11) Publication du second plan de gestion (art. 13)
Décembre 2027	Dernière échéance possible pour la réalisation des objectifs environnementaux (art. 4)

NB : les spécificités françaises apparaissent en italique

ANNEXE 2

Extraits des éléments économiques présents dans la Directive Cadre Européenne

Article 9

Récupération des coûts liés à l'utilisation de l'eau

1. Les Etats membres tiennent compte du principe de récupération des coûts des services liés à l'utilisation de l'eau y compris les coûts pour l'environnement et les ressources eu égard à l'analyse économique effectuée conformément à l'annexe III et conformément, en particulier, au principe du pollueur - payeur.

Les Etats membres veillent, d'ici 2010, à ce que :

- la politique de tarification de l'eau incite les usagers à utiliser les ressources de façon efficace et contribue ainsi à la réalisation des objectifs environnementaux de la présente directive,
- les différents secteurs économiques, décomposés en distinguant au moins le secteur industriel, le secteur des ménages et le secteur agricole, contribuent de manière appropriée à la récupération des coûts des services de l'eau, sur la base de l'analyse économique réalisée conformément à l'annexe III et compte tenu du principe du pollueur – payeur.

Ce faisant, les Etats membres peuvent tenir compte des effets sociaux, environnementaux et économiques de la récupération ainsi que des conditions géographiques et climatiques de la région ou des régions concernées.

2. Les Etats membres font rapport, dans le plan de gestion de district hydrographique, sur les mesures prévues pour la mise en œuvre du paragraphe 1 qui contribueront à la réalisation des objectifs environnementaux de la présente directive, ainsi que sur la contribution des différents types d'utilisation de l'eau au recouvrement des coûts liés à l'eau.

3. Le présent article n'empêche nullement le financement de certaines mesures préventives ou correctives en vue de réaliser les objectifs de la présente directive.

4. Les Etats membres ne commettent pas d'infraction à la présente directive lorsqu'ils décident, conformément à des pratiques établies, de ne pas appliquer les dispositions prévues

au paragraphe 1, deuxième phrase, et à cet effet, les dispositions pertinentes du paragraphe 2, pour une activité d'utilisation de l'eau donnée, dans la mesure où cela ne remet pas en question les buts de la présente directive et ne compromets pas la réalisation de ses objectifs. Les Etats membres font rapport, dans les plans de gestion de district hydrographique, sur les raisons pour lesquelles ils n'ont pas appliqué dans son intégralité le paragraphe 1, deuxième phrase.

Annexe III

Analyse économique

L'analyse économique doit comporter des informations suffisantes et suffisamment détaillées (compte tenu des coûts associés à la collecte des données pertinentes) pour :

a) effectuer les calculs nécessaires à la prise en compte, en vertu de l'article 9, du principe de récupération des coûts liés à l'utilisation de l'eau, compte tenu des prévisions à long terme de l'offre et de la demande d'eau dans le district hydrographique et, le cas échéant :

- une estimation des volumes, prix et coûts associés aux services liés à l'utilisation de l'eau, et
- une estimation des investissements pertinents, y compris la prévision de ces investissements

b) apprécier, sur la base de leur coût potentiel, la combinaison la plus efficace au moindre coût des mesures relatives aux utilisations de l'eau qu'il y a lieu d'inclure dans le programme de mesures visés à l'article 11.

ANNEXE 3

*ARTICLE 83 - loi du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques
(extrait) - Orientations prioritaires des programmes pluriannuels d'intervention
des agences de l'eau 2007 à 2012*

- Contribuer à la réalisation des objectifs des **schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux** (SDAGE) en application de la **directive cadre sur l'eau** et à ceux des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE)
- Contribuer à l'**épuration des eaux usées**, au **traitement des boues**, à la **réduction des rejets industriels**, à l'**élimination des rejets de substances dangereuses** et à la **maîtrise des pollutions des eaux** de toutes origines
- Contribuer à la **sécurité** de la distribution de l'eau et à la **qualité de l'eau distribuée** en privilégiant les actions préventives en amont des points de captage
- Contribuer à la **solidarité** envers les **communes rurales** (...) pour l'exécution de travaux d'alimentation en **eau potable** et d'**assainissement**
- Créer les conditions d'un **développement durable des activités économiques** utilisatrices d'eau en favorisant notamment la **lutte contre les fuites** et les **économies d'eau**... ainsi que l'utilisation de **ressources** respectant un **équilibre** "volumes consommés" et "ressources disponibles"
- Mener et favoriser des actions de **préservation**, de **restauration**, d'entretien et d'amélioration de la gestion des **milieux aquatiques** et des **zones humides**
- Favoriser les usages sportifs et de loisirs des milieux aquatiques dans le respect du code de l'environnement
- Contribuer à la **régulation des crues** par l'accroissement de la capacité de rétention des **zones naturelles d'expansion** des crues, le stockage de l'eau, un **meilleur entretien des rivières** et la restauration de leur lit
- Mener et soutenir des actions d'**information** et de **sensibilisation** dans le domaine de l'eau et de la protection des milieux aquatiques auprès du **public** et dans les **établissements scolaires**
- Participer à l'élaboration et au financement des contrats de rivière, de baie ou de nappe
- Mener et soutenir des actions de **coopération internationale** (...) et favoriser la coopération entre organismes de gestion de bassins hydrographiques

ANNEXE 4

Loi des grands nombres

Essentiellement, la **loi des grands nombres** indique que lorsque l'on fait un tirage aléatoire dans une série de grande taille, plus on augmente la taille de l'échantillon, plus les caractéristiques statistiques du tirage se rapprochent des caractéristiques statistiques de la population. Il est cependant intéressant de noter que la taille de l'échantillon à prendre pour approcher les caractéristiques de la population initiale ne dépend que faiblement, voire pas du tout, de la taille de la série initiale.

On distingue deux énoncés, appelés respectivement *loi faible des grands nombres* et *loi forte des grands nombres*. Le théorème de base de la théorie des sondages est la *loi faible des grands nombres de Bernoulli*

Si l'on considère n variables aléatoires indépendantes qui suivent la même loi de probabilité (*i.i.d.*), de variance finie et dont l'espérance est $E(X)$, la loi faible des grands nombres stipule que, pour tout réel strictement positif, la probabilité que la moyenne empirique $Y_n = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$ s'éloigne de l'espérance de plus de $\varepsilon \rightarrow 0$ pour les grandes valeurs de n :

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} P\left(\left|\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} - E(X)\right| \geq \varepsilon\right) = 0$$

Elle se démontre en utilisant le théorème de Tchebychev :

$$P(|Y - E(Y)| \geq \varepsilon) \leq \frac{V(Y)}{\varepsilon^2}$$

Comme la variable $Y_n = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$ a pour espérance $E(X)$ et pour variance $\frac{V(X)}{n}$,

alors :

$$P\left(\left|\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} - E(X)\right| \geq \varepsilon\right) \leq \frac{V(X)}{n\varepsilon^2}$$

c'est-à-dire que Y_n converge en probabilité vers $E(X)$.

ANNEXE 5

Théorème central limite

Un autre résultat fondamental de la statistique mathématique est celui du **théorème central limite**. La statistique associe une loi de probabilité à une population. Chaque élément extrait de la population est donc considéré comme une variable aléatoire et, en réunissant un nombre n de ces variables supposées indépendantes, on obtient un échantillon. La somme de ces variables aléatoires divisée par n donne une nouvelle variable : la moyenne empirique. Celle-ci, une fois réduite, tend vers une variable normale centrée réduite lorsque n tend vers l'infini. En résumé, le TCL dit que pour de grands échantillons, la moyenne empirique, considérée comme variable aléatoire, suit une loi presque normale. De plus, il ajoute que cette loi peut devenir aussi proche d'une loi normale que l'on veut, il suffit pour cela de considérer des échantillons de plus en plus grands.

Soit X_1, X_2, \dots un ensemble de variables aléatoires définies sur le même espace de probabilité, suivant la même loi D et indépendantes. Supposons que l'espérance μ et l'écart-type σ de D existent et soient finis ($\sigma \neq 0$).

Considérons la somme $S_n = X_1 + \dots + X_n$. Alors l'espérance de S_n est $n\mu$ et son écart-type vaut $\sigma n^{1/2}$. De plus, pour parler de manière informelle, la loi de S_n tend vers la loi normale $N(n\mu, \sigma^2 n)$ quand n tend vers l'infini.

On pose : $Z_n = \frac{S_n - n\mu}{\sigma\sqrt{n}}$ de sorte que l'espérance et l'écart-type de Z_n valent respectivement 0 et 1.

Alors la loi de Z_n converge vers la loi normale centrée réduite $N(0,1)$ lorsque n tend vers l'infini (il s'agit de la convergence en loi). Cela signifie que si Φ est la fonction de répartition de $N(0,1)$, alors pour tout réel z :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(Z_n \leq z) = \Phi(z)$$

ou

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\frac{\bar{X}_n - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \leq z\right) = \Phi(z)$$

$$\text{où } \bar{X}_n = \frac{S_n}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

ANNEXE 6

Les principales méthodes de valorisation

Selon la théorie néoclassique, la valeur économique d'un bien procède de son utilité : la dégradation d'un bien environnemental s'accompagnera donc d'une baisse de sa valeur économique si elle génère une perte d'utilité. Le but est donc, pour un agent individuel, la mesure de « toute modification du bien-être des individus [...] associée à une amélioration ou une détérioration de la qualité des services rendus par les actifs naturels » (Desaigues, Point, 1993). Ceci est possible grâce au **calcul du surplus économique de l'agent**, qui intègre en théorie les **valeurs d'usage et de non-usage** : c'est « une mesure de l'avantage net apporté par l'acquisition d'un certain bien » (Picard, 2002). La variation du surplus permet de traduire la variation d'utilité en équivalent monétaire – en **Consentement à Payer (CAP)** ou **Consentement à Recevoir (CAR)** – entre deux situations données.

L'évaluation est une méthode directe : la perte d'utilité des agents est évaluée par un **questionnement des individus**. D'autres méthodes indirectes, telles les prix hédonistes et des coûts de déplacement s'appuient sur des marchés réels (notamment immobilier et transport) et estiment les surplus d'agents. Au niveau des coûts mis en œuvre pour lutter contre une dégradation de la qualité environnementale, existent les méthodes des coûts d'évitement (traitement de la pollution avant qu'elle n'affecte le milieu), des coûts de restauration (restaurer le milieu une fois qu'il est touché).

L'évaluation contingente a cherché à pallier aux limites des méthodes d'évaluation monétaires dites « indirectes », c'est-à-dire fondées sur l'observation des comportements des agents. Parmi ces méthodes indirectes, on peut citer la méthode dite des coûts de déplacement qui déduit le Consentement à Payer des individus pour utiliser un actif (forêt, bibliothèque, musée...), des coûts engagés pour ce rendre sur ce site : le coût du transport et éventuellement le coût d'opportunité du temps. Une autre méthode indirecte est celle des prix implicites ou hédonistes qui repose sur l'hypothèse que les biens non-marchands sont évalués sur la base de l'utilité que leur confèrent leurs attributs caractéristiques. Les prix hédonistes sont mis en évidence à partir de l'observation des prix pratiqués et des caractéristiques des biens échangés sur un marché. Ils correspondent à la contribution de chacune des caractéristiques du bien échangé à la formation du prix qui conclut la transaction. A titre d'exemple, sur le marché immobilier, la méthode des prix hédonistes permet, à partir d'une base de données de transactions conclues, d'estimer la valeur accordée à une pièce supplémentaire, au m² de

certains quartiers, à la présence d'un balcon... **Ces méthodes dites indirectes présentent plusieurs limites.** Tout d'abord, elles n'abordent la valeur accordée au bien à évaluer qu'en fonction d'un usage qui en est fait. **Seuls les usagers du bien en question** (randonneurs sur un site naturel, visiteurs d'un musée ou usager d'une bibliothèque...) **sont pris en compte** et d'eux seuls découlera l'évaluation de la valeur du bien. Or, les biens publics tels que les forêts ou les monuments ont une valeur qui dépasse le seul usage que l'on en fait (valeur symbolique, patrimoniale, affective...). On touche ici à la notion de « non use value », c'est-à-dire à la valeur accordée à un bien selon d'autres déterminants que l'usage direct du bien. Par ailleurs, la seule observation des comportements ne permet pas d'identifier les motivations ayant conduit les individus à faire le choix de tel bien plutôt qu'un autre. L'interrogation directe des individus est privilégiée dès lors que l'on veut appréhender les déterminants de leur choix. Le développement de méthodes d'évaluation directes fondées sur des enquêtes cherche à combler ces limites. Le coeur de l'interrogation consiste à obtenir de l'individu interrogé un montant, exprimé monétairement, du consentement à payer, ainsi que des caractéristiques sur son profil, afin d'identifier les variables socio-démographiques influant sur le Consentement à Payer. La structure du questionnaire qui permet le recueil des consentements à payer est généralement standardisée. D'une étude à l'autre, on retrouve les mêmes séquences. Il se compose d'une description du bien à évaluer, du scénario et d'une procédure de révélation de la valeur accordée au bien. La description du bien doit permettre de cerner le plus précisément possible l'actif. Il s'agit d'une étape importante car bien souvent, l'enquêté ne connaît pas le bien à évaluer. C'est donc sur les informations fournies qu'il va fonder son jugement. Le scénario consiste en une situation hypothétique destinée à mettre l'enquêté en position d'accepter ou de refuser le marché qui lui est proposé. Les types de scénarios varient considérablement d'une enquête à l'autre. Ils peuvent être très simples comme très détaillés. L'ancrage du scénario dans une situation concrète et réaliste doit inciter le répondant à faire des choix les plus proches possible de ceux qu'il ferait dans la réalité. Enfin, après la présentation du scénario, l'enquêteur passe à une phase de révélation de la valeur et de recueil du Consentement à Payer du répondant.

Les trois principales méthodes de valorisation non-marchande sont la méthode des prix hédoniques, la méthode des coûts de transport et la méthode d'évaluation contingente.

Les **méthodes des coûts d'évitement, de remplacement et de réparation** peuvent aussi être utilisées pour déterminer la valeur de certains services rendus par des écosystèmes.

Des méthodes dérivées de la méthode d'évaluation contingente, comme le classement contingent (*contingent ranking*), la notation contingente (*contingent rating*) ou les expériences de choix (*choice experiments*) sont d'un usage encore peu répandu.

Afin de répondre aux objectifs de l'étude, trois méthodes de valorisation principales peuvent être utilisées pour mesurer la valeur d'aménités ou de dommages environnementaux. En fonction des objectifs poursuivis, une (ou plusieurs) méthode(s) peut être particulièrement adaptée.

Il est d'usage de distinguer

- les **méthodes de valorisation indirectes**, fondée sur les **préférences révélées** : méthode des coûts de transport et méthode des prix hédoniques
- et les **méthodes de valorisation directes**, fondées sur les **préférences déclarée** : méthode d'évaluation contingente.

1. La méthode des coûts de transport

La méthode des coûts de transport (ou des coûts de déplacement) trouve son origine dans une lettre envoyée en 1947 par Hotelling au directeur d'un parc national américain. L'idée de Hotelling est remarquablement simple et intuitive. **Pour bénéficier des aménités récréatives procurées par un site naturel, le visiteur doit se déplacer jusqu'à ce site et subir des coûts de transport. Ces coûts constituent des prix implicites et permettent d'estimer la valeur d'usage récréatif du site.**

La méthode des coûts de transport est donc utilisée pour **déterminer la valeur d'usage récréatif de sites naturels** : rivière sur laquelle la pêche est pratiquée, chemin de randonnée, parc naturel pour l'observation de la flore et de la faune, ...

Afin de déterminer la valeur du site pour chaque visiteur, il est nécessaire d'estimer la fonction de demande de fréquentation du site. Cette méthode est ainsi qualifiée de méthode indirecte de valorisation des aménités et dommages environnementaux car la valorisation du bien étudié nécessite l'estimation préalable de cette fonction de demande.

On distingue généralement deux types de modèles dans la méthode des coûts de transport :

- les modèles qui étudient un seul site
- les modèles qui estiment la demande pour plusieurs sites.

Seul le premier type de modèle sera présenté ici.

Les modèles pour site unique sont particulièrement utiles quand l'objectif de l'étude est d'estimer la valeur d'usage totale ou la « valeur d'accès » à un site. Il est également possible d'utiliser un modèle pour site unique pour estimer la valeur associée à un changement dans le coût d'accès au site.

Les différentes étapes de la réalisation d'une étude par la méthode des coûts de transport sont les suivantes:

- définir le cadre de l'étude
- choisir le mode d'enquête
- concevoir le questionnaire
- décider du traitement des visites à buts multiples
- mesurer les coûts de transport
- estimer le modèle
- calculer la valeur d'usage
- le modèle zonal

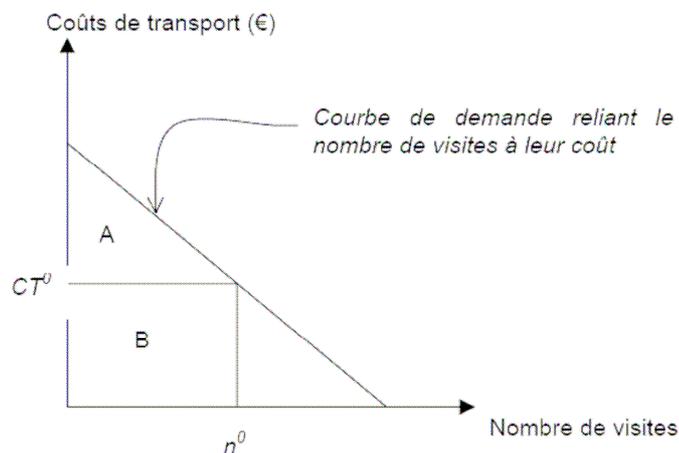
1.1. Brève présentation des fondements du modèle

Le modèle pour site unique cherche à expliquer le nombre de visites effectuées par une personne au cours d'une saison sur un site récréatif. D'un point de vue économique, ce modèle s'apparente à l'estimation d'une fonction de demande. La quantité demandée correspond au nombre de visites effectuées et le prix représente le coût de transport.

Dans sa forme la plus simple, le modèle pour site unique exprime l'idée que le nombre de visites effectuées par une personne sur le site est fonction du coût de transport pour s'y rendre. Comme pour toute fonction de demande, on s'attend à ce que **la quantité demandée** (nombre de visites) **diminue lorsque le prix** (coût de transport) **augmente**. En effet, les personnes qui résident à proximité d'un site dépensent moins pour se rendre sur celui-ci et, **toutes choses étant égales par ailleurs**, s'y rendent probablement plus fréquemment.

Les coûts de transport n'expliquent pas, à eux seuls, la demande d'une personne pour des visites récréatives. La demande peut dépendre d'autres éléments tels que le revenu, l'âge, le type d'activité pratiquée, les coûts de transport vers des sites substitués et d'autres variables dont on pense qu'elles influencent le nombre de visites effectuées sur un site.

Graphiquement, on peut représenter cette fonction de demande sur le graphique suivant. Dans ce modèle, si une personne dépense CT^0 € pour se rendre sur le site, alors elle effectuera n^0 visites durant la saison. L'aire A correspond à son surplus total pour des visites sur le site pendant la saison. Il s'agit de la différence entre son consentement à payer total pour le site (surface A + B) et le coût total du voyage (surface B). Cette valeur A est appelée **valeur d'accès individuelle** au site. Une erreur fréquente consiste à considérer que le résultat recherché est représenté par l'aire B. Or, c'est bien l'aire A que l'on cherche à mesurer.



Appliquer la méthode des coûts de transport revient à **estimer l'équation de la courbe de demande** du graphique précédent en utilisant des données de fréquentation pour le site. Une fois que le modèle est estimé, les paramètres sont utilisés pour calculer la valeur d'accès (aire A) au site pour chaque personne de l'échantillon. On peut ensuite calculer une valeur moyenne, cette estimation est ensuite extrapolée à la population générale.

1.2. Définir le cadre de l'étude

La première étape dans la mise en oeuvre de la méthode des coûts de transport réside dans la **définition du site étudié**. Par site, il faut entendre un parc, un lac, une plage, une zone naturelle, un tronçon de rivière, ou tout autre site naturel utilisé pour un usage récréatif.

Les frontières du site sont souvent faciles à délimiter, par exemple pour les parcs ou les lacs. En revanche, quand le bien dont on cherche à estimer la valeur est une rivière, il est nécessaire de déterminer la longueur du tronçon à étudier. La délimitation des cours d'eau par masses d'eau peut être utile pour procéder à la définition du site étudié.

Dans certains cas, le site étudié présente un usage récréatif unique ou dominant (par exemple la pêche). Dans d'autres cas, plusieurs usages coexisteront : pêche, baignade, pratique du canoë-kayak, randonnée, ...

Dans l'idéal, il serait nécessaire d'étudier tous les types d'usage et d'estimer une fonction de demande pour chaque type d'usage. Néanmoins, cette solution est parfois difficilement réalisable en pratique. En effet, les tailles d'échantillon des enquêtes ne permettent pas toujours d'obtenir un nombre suffisant de personnes pratiquant une activité pour estimer un modèle par activité.

Dès lors, il est possible de regrouper certains usages récréatifs, pour peu qu'ils soient assez similaires.

Ce regroupement des usages récréatifs permet de simplifier l'analyse, de réduire le nombre de personnes à interroger et d'alléger les traitements statistiques. Il convient toutefois de rester attentif à ce que les usages regroupés ne soient pas trop dissemblables.

Dans la mesure où les personnes interrogées pratiquent parfois plusieurs activités récréatives au cours d'une même visite, une pratique courante est d'identifier le but principal de la visite et de recueillir les informations sur les caractéristiques des visites uniquement pour cet usage.

Il est recommandé :

- d'identifier tous les usages pratiqués sur le site étudié
- de regrouper, si nécessaire, les usages les plus similaires
- de reconnaître le site avant l'enquête pour s'assurer que les usages identifiés se prêtent bien à l'enquête
- d'identifier les périodes et sites propices pour les enquêtes en fonction des différents usages (activités touristiques, saison de pêche, « passage » des poissons migrateurs)
- d'inclure dans le questionnaire une question permettant d'identifier l'usage pratiqué principalement sur le site par chaque personne interrogée.

1.3. Décider du traitement des visites à buts multiples

Les **voyages récréatifs** peuvent être à **but unique** ou à **buts multiples**. Dans le premier cas, l'objectif unique du trajet est la visite du site étudié. Dans le second cas, les visiteurs peuvent rendre visite à leur famille ou à des amis en se rendant sur le site étudié, peuvent visiter d'autres sites naturels,

Les **voyages à but unique** sont bien adaptés à la méthode des coûts de transport. En effet, dans un voyage à but unique, une personne quitte son domicile, se rend sur le site étudié, pratique une activité récréative avant de retourner à son domicile. Toutes les sommes dépensées au cours du voyage peuvent, à des degrés divers, être attribuées aux aménités procurées par le site.

Les **voyages à buts multiples** posent des problèmes plus complexes. Les sommes dépensées au cours du voyage ne peuvent plus être intégralement attribuées à l'usage récréatif sur le site. Il devient, dans ce cas, difficile de traiter le coût du trajet comme le prix d'un usage récréatif. Les tentatives pour répartir le coût du trajet entre les différents buts du voyage ont rencontrées peu de succès. Comment alors faut-il intégrer les voyages à but multiples dans l'analyse ?

Quand les données sont des données relatives à des jours de visites, **l'approche la plus courante est de supposer que toutes les visites sont à but unique**. Si l'on peut montrer que les personnes interrogées pratiquent peu d'activités en se rendant sur le site ou que ces autres buts aux voyages sont purement « accidentels », alors tous les voyages peuvent être traités

comme s'il s'agissait de voyages à but unique sans grande objection. Avec des données sur des journées de visite, il s'agit souvent d'une hypothèse raisonnable.

Une autre approche est d'écarter les visites à buts multiples de l'analyse. Dans ce cas, le statisticien demande (lors de la rédaction du questionnaire) aux personnes interrogées d'indiquer séparément les visites à buts multiples et les visites à but unique. Le modèle ne s'intéresse alors qu'aux visites à but unique.

1.4. Mesurer les coûts de transport

Le coût du trajet est la somme de toutes les dépenses nécessaires à la réalisation d'une visite vers le site étudié¹⁸ :

- coût de transport simple
- droit d'entrée, si nécessaire
- coût de l'équipement
- coût de l'hébergement, si applicable
- éventuellement, coût d'opportunité du temps.

1.4.1. Coût de transport simple

1.4.1.1. Déplacements en voiture

Les **coûts de transport** (CT) se calculent à partir de la **distance** (D) entre le domicile et le site étudié, en tenant compte de la **puissance du véhicule** et du **coût de revient kilométrique** (CM) associé ainsi que du **nombre de personnes** (P) composant le groupe de visiteurs, à partir de la formule suivante :

$$CT = \frac{2.D.CM}{P}$$

Le coût de revient kilométrique est fondé la puissance des véhicules, à partir de données publiées annuellement par l'administration fiscale au Bulletin Officiel des Impôts. Il prend en compte la dépréciation du véhicule, les frais de réparation et d'entretien, les dépenses de pneumatique, la consommation de carburant et les primes d'assurances. Le tableau 1 présente les coûts kilométriques utilisés dans ce calcul pour l'année 2005.

¹⁸ Suivant les sites étudiés, toutes ces dépenses ne s'appliquent pas nécessairement.

Tableau 1 : Coûts kilométriques

Puissance du véhicule	Coût kilométrique (€)
Inférieure ou égale à 4 CV	0,389
Entre 5 et 6 CV	0,478
Entre 7 et 9 CV	0,535
10 CV et plus	0,609

Concernant la distance (D), deux cas de figure sont envisageables :

- les personnes interrogées n'ont pas déclaré la distance qui sépare leur lieu de résidence (habituel ou de vacances) et le site étudié. Dans ce cas, D peut être calculé à l'aide de logiciels spécialisés ou des sites Internet <http://www.mappy.fr> ou <http://www.viamichelin.fr> (par exemple).
- les personnes interrogées ont déclaré la distance qui sépare leur lieu de résidence (habituel ou de vacances) et le site étudié. Dans ce cas, les informations recueillies servent de base au calcul des coûts de transport¹⁹.

1.4.1.2. Déplacements par d'autres moyens de transport

- Pour les déplacements en moto ou scooter, on peut appliquer la même méthode (avec les mêmes valeurs) que dans le cas des déplacements en véhicule.
- Pour les déplacements en vélo ou à pied, le coût de transport simple est nul.
- Pour les personnes se déplaçant en train ou en avion, il est nécessaire de disposer du prix aller-retour du billet payé par la personne interrogée. Pour cela, la solution la plus simple est de lui demander directement d'indiquer le coût du transport pour elle-même ou pour le groupe (dans ce dernier cas, il faudra diviser la valeur obtenue par le nombre de personnes composant le groupe).

1.4.2. Coût de l'équipement

Le coût de transport généralisé peut aussi comprendre les **dépenses de location** ou **d'achat de matériel**, si cela s'avère pertinent pour le site étudié. Une façon simple d'obtenir ce coût est de demander aux personnes interrogées d'estimer les dépenses qu'elles ont engagées lors de leur dernière visite du site. Dans la mesure où l'on raisonne généralement en termes de

¹⁹ Dans la pratique, il est possible que, dans certains cas, les distances déclarées par les personnes interrogées ne correspondent pas à la distance réellement parcourue. Une solution prudente consiste à utiliser alors des données calculées par la méthode précédente.

fréquentation individuelle, les coûts d'équipement doivent être répartis entre les membres du groupe de visiteurs (en divisant le coût d'équipement par le nombre de personnes composant le groupe). Par exemple, le coût de location d'un pédalo sur un site est réparti entre les différents membres du groupe.

1.4.3. Touristes, coût de transport et coût d'hébergement

Comment calculer les coûts de transport quand la personne interrogée se rend sur le site depuis son lieu de villégiature « sur place » ?

Par exemple, si une personne possède une résidence secondaire à proximité du site étudié, dans laquelle elle réside pendant l'été, et qu'elle se rend fréquemment sur le site, comment intégrer ses visites dans le modèle ? Faut-il considérer qu'il s'agit d'un voyage de trois mois depuis sa résidence principale, ou de plusieurs voyages pour la journée à partir de sa résidence secondaire ? La première solution permet, en principe, de mesurer la valeur accordée par cette personne au site étudié mais le modèle pour site unique ne permet pas de traiter correctement ce cas de figure.

Deux solutions sont envisageables : **exclure cette personne de l'analyse** (solution peu satisfaisante) ou **calculer le coût de transport à partir de la résidence secondaire**. Cette dernière solution sous-estime le surplus du consommateur (valeur du site) mais évite de supprimer indûment une observation de l'analyse. Il est donc nécessaire de pouvoir identifier dans le questionnaire le point de départ des visiteurs pour leurs visites avec aller-retour dans la journée.

Concernant les touristes²⁰, il est utile de distinguer deux cas :

- usagers qui n'ont pas fait l'aller-retour dans la journée et dont la raison principale de venue dans la région n'est pas l'activité pratiquée sur le site : distance entre leur lieu de villégiature et le site sur lequel ils ont été rencontrés.
- usagers qui n'ont pas fait l'aller-retour dans la journée et dont la raison principale de venue dans la région est l'activité pratiquée sur le site : distance entre leur résidence principale et leur lieu de villégiature, et distance entre leur lieu de villégiature et le site sur lequel ils ont été rencontrés.

²⁰ La question ne se pose que pour l'enquête sur site.

Dans le premier cas, il n'y a pas lieu d'inclure les coûts d'hébergement dans le coût de transport total. En revanche, dans le second cas, il faut inclure ces coûts d'hébergement.

1.4.4. Coût d'opportunité du temps

Dans certaines études, le coût d'opportunité du temps nécessaire pour se rendre sur le site est aussi pris en compte. Il faut noter que la prise en compte du coût d'opportunité du temps ne fait pas l'objet d'un consensus chez les économistes.

■ L'approche microéconomique

Le temps consacré à se rendre et à revenir du site aurait, en effet, pu être consacré à d'autres usages. La valeur de ces opportunités perdues constitue le coût d'opportunité du trajet. Dans la plupart des applications, le coût d'opportunité du temps est relié, d'une manière ou d'une autre, au niveau de salaire des personnes interrogées. **Ceci a un fondement théorique tant que les personnes interrogées peuvent substituer temps de travail et temps de loisir.** Dans ces conditions et en théorie, un individu accroît le nombre d'heures travaillées jusqu'à ce que son salaire, à la marge, soit égal à la valeur d'une heure de loisir. En multipliant le salaire horaire (ou une fraction du salaire horaire) par le temps de trajet, on obtient alors une bonne estimation du coût d'opportunité du temps.

L'approche courante est de fonder le calcul du coût d'opportunité du temps sur le salaire horaire. En règle générale, ce coût d'opportunité du temps est fondé sur une fraction du salaire horaire comprise entre 1/3 et 1.

Le coût d'opportunité du temps (*COT*) peut-être calculé en retenant le tiers du salaire horaire, une durée mensuelle du travail de 135 heures (1600 heures par an), selon la formule suivante :

$$COT = 2 \frac{T}{60} \frac{1}{3} \frac{R}{135}$$

où T est le temps de parcours²¹ (en minutes) et R est le revenu mensuel de la personne interrogée²² (en euros).

²¹ Calculé éventuellement à partir de la distance parcourue en retenant une vitesse moyenne de 60 km/h.

²² Dans la mesure où le modèle porte sur des données individuelles (nombre de visites effectuées par la personne interrogée), il faut utiliser le revenu de la personne interrogée. Si le

■ Les limites de cette approche

Malheureusement, **ce modèle simple ne s'applique pas pour de nombreuses personnes**. En effet, une part non négligeable des personnes interrogées (personnes sans emploi, étudiant, retraités) n'a pas la possibilité de substituer de façon aussi flexible travail et loisir.

■ Recommandations

L'inclusion du coût d'opportunité du temps est laissée à l'appréciation du commanditaire de l'étude.

Il est utile de tester l'impact de ce choix sur le résultat (analyse de sensibilité) en estimant la valeur du site, sur la base d'un coût total incluant ou non le coût d'opportunité du temps.

1.4.5. Sites substitués

La prise en compte des sites substitués est rendue nécessaire par le fait que le coût de la visite du site étudié ne peut s'accroître que jusqu'à un certain point au delà duquel les visiteurs du site étudié choisiront un autre site (substitut) pour pratiquer leur activité. Omettre un site substitut est susceptible de surestimer les bénéfices procurés par le site étudié. Cet effet dépend fortement du nombre de sites substitués : plus le nombre de sites substitués est élevé, plus les bénéfices pour le site étudié seront faibles.

On peut utiliser une démarche analogue à celle présentée dans le cas du site étudié pour calculer les coûts de transport généralisés pour les sites substitués du site étudié.

Quand cela n'est pas possible, les sites substitués peuvent néanmoins être pris en compte dans les modèles économétriques, par l'intermédiaire d'une variable binaire valant 1 si la personne fréquente d'autres sites et 0 sinon, ou par l'intermédiaire d'une variable indiquant le nombre d'autres sites fréquentés pour la même activité.

questionnaire ne permet d'obtenir que le revenu du ménage, alors il est nécessaire d'estimer le revenu individuel, par exemple en divisant le revenu du foyer par le nombre d'adultes.

En règle générale, il est recommandé d'inclure dans le modèle statistique des variables relatives aux sites substitués.

Ce qu'il faut retenir...

Cette méthode repose sur une idée simple : la valeur accordée à un bien environnemental (par exemple, un site naturel remarquable) est révélée par le coût que les visiteurs supportent pour s'y rendre. En d'autres termes, la visite d'un site s'effectue si les bénéfices que l'on en retire compensent les coûts, en particulier les coûts de transport, subis pour s'y rendre. Il s'agit d'une méthode de valorisation indirecte car l'estimation de la valeur d'un site repose sur l'estimation d'une fonction de demande. La valeur de site est calculée à partir de cette fonction de demande.

2. La méthode des prix hédoniques

La méthode des prix hédoniques appliquée à la valorisation des biens environnementaux repose sur l'idée que **le prix d'un bien immobilier dépend de ses caractéristiques, dont certaines sont liées à la qualité de l'environnement**. Les différences de prix constatées entre des biens présentant par ailleurs des caractéristiques identiques traduisent alors des différences en matière d'environnement et fournissent une information sur le prix implicite de l'actif qui améliore (ou dégrade) la qualité de l'environnement.

La méthode des prix hédoniques tourne principalement autour de six points :

- quelles sont les sources de données disponibles ?
- quelles sont les **variables explicatives** à inclure dans les modèles hédoniques ?
- comment **estimer** un modèle hédonique ?
- quels sont les **types de modèles économétriques** utilisables pour estimer un modèle hédonique ?
- comment **calculer les variations de bien-être** engendrées par une modification de la qualité de l'environnement ?
- comment choisir la forme fonctionnelle la plus adaptée aux données disponibles ?
- quels sont les **problèmes économétriques** spécifiques à la méthode des prix hédonique ?

Les informations relatives aux biens immobiliers peuvent être obtenues à partir de deux sources de données : les **bases notariales** et les **bases des services fiscaux**. La superficie est une variable parfois manquante pour de nombreuses transactions, en particulier pour les mutations les plus anciennes.

Si l'objectif de l'étude est de mesurer *ex post* la valeur d'un changement de qualité environnementale, il est nécessaire que les données sur les prix des mutations (variable expliquée) permettent d'intégrer à la fois des mutations antérieures et postérieures au changement de qualité (au minimum deux à trois ans de part et d'autre du changement de qualité).

Ce qu'il faut retenir...

La méthode des prix hédoniques appliquée à la valorisation des biens environnementaux repose sur l'idée que le prix d'un bien immobilier dépend de ses caractéristiques, parmi lesquelles certaines sont liées à la qualité de l'environnement.

Les différences de prix constatées entre des biens présentant par ailleurs des caractéristiques identiques traduisent alors des différences en matière d'environnement et fournissent une information sur le prix implicite de l'actif qui améliore (ou dégrade) la qualité de l'environnement.

Cette méthode a surtout été appliquée pour évaluer le bénéfice induit par une amélioration de la qualité de l'environnement ou la valeur attribuée à une réduction du risque dans les domaines de la pollution atmosphérique, du bruit ou de la qualité de l'eau. Mais elle peut également être utilisée pour estimer la valeur récréative d'un site (par exemple un parc urbain), le prix des logements alentours étant influencé par la présence de ce dernier.

3. La méthode d'évaluation contingente

Contrairement à la méthode des prix hédoniques et à la méthode des coûts de transport, la méthode d'évaluation contingente **ne s'appuie pas sur l'observation des comportements**, mais utilise la **reconstitution d'un marché fictif** (contingent) pour inciter les individus à révéler la valeur qu'ils accordent à un bien ou un milieu naturel, à son amélioration ou aux dommages qui lui ont été causés. Sa mise en oeuvre repose sur la **réalisation d'enquêtes**, auprès d'un échantillon représentatif de la population concernée, **au cours desquelles on soumet aux personnes interrogées différents scénarios fictifs qui permettent d'estimer la valeur qu'elles accordent au bien étudié.**

Cette approche a le double avantage de **permettre d'évaluer des valeurs de non-usage et la valeur d'un projet avant sa mise en oeuvre**. D'abord utilisée pour mesurer les avantages récréatifs liés à la fréquentation d'un espace naturel, la méthode d'évaluation contingente a ensuite été appliquée à de nombreux autres domaines : gestion des déchets, amélioration de la qualité de l'air, dommages causés par des marées noires, ...

Le déroulement d'une étude par la méthode d'évaluation contingente s'effectue en une dizaine d'étapes :

- Identifier le **changement de qualité environnementale** que l'on cherche à valoriser
- Déterminer la population concernée
- Déterminer le mode d'enquête et la taille de l'échantillon
- Rédiger le scénario d'évaluation contingente
- Rédiger la question de valorisation
- Rédiger les questions auxiliaires
- Tester le questionnaire
- Analyser les données
- Présenter et diffuser les résultats

3.1. Identifier le changement à valoriser

Du point de vue de la **théorie économique**, le changement de qualité environnementale que l'on étudie se traduit par une **variation du niveau de bien-être des personnes concernées par le changement**.

Par exemple, supposons que l'on cherche à estimer la valeur accordée par la société à une mesure visant à améliorer l'état écologique d'une masse d'eau. La variation de bien-être liée à la mise en oeuvre de la mesure se classe dans l'un des trois cas suivants :

- **Augmentation du niveau de bien-être** si la personne interrogée estime que cette mesure est « bonne » pour elle et est favorable à sa mise en oeuvre. Une personne qui voit son utilité augmenter est parfois qualifiée de « gagnante ».
- **Diminution du niveau de bien-être** si la personne interrogée juge qu'elle sera dans une « moins bonne situation » en raison de la mise en oeuvre de la mesure

(car cette mesure restreindrait l'usage qu'elle pratique sur la masse d'eau). Une personne qui voit son utilité diminuer est parfois qualifiée de « perdante ».

- **Aucune variation de bien-être** si la personne interrogée est indifférente en ce qui concerne la mise en oeuvre de la mesure.

L'objectif de la méthode d'évaluation contingente est de traduire ces variations de bien-être en une mesure monétaire. Le premier cas (variation positive du niveau de bien-être) signifie que la personne est prête à payer pour bénéficier de la mesure qui augmente son bien-être. **Le consentement à payer est défini précisément comme la somme d'argent qui laisse la personne indifférente entre le statu quo (avec un revenu inchangé) et le nouveau niveau de qualité (supérieur au précédent) avec un revenu réduit de cette somme.** Ce consentement à payer est la mesure monétaire de la variation de bien-être engendrée par le changement de qualité environnementale.

La définition théorique de la **valeur mesurée** est fondamentale pour au moins trois raisons :

- Elle a un rôle central dans la formulation du scénario de valorisation proposé aux personnes interrogées et dans la description du bien étudié avec et sans la mesure envisagée.
- Cette définition sert de cadre à l'analyse statistique des réponses.
- Elle permet une interprétation claire des valeurs estimées.

La principale difficulté de cette étape consiste à identifier les changements physiques dans la qualité de l'environnement et à décrire la façon dont ces changements affecteront le bien-être des ménages. L'information fondamentale qui doit être transmise dans le questionnaire est donc une description détaillée des changements dans la qualité de l'environnement dus à la politique que l'on cherche à évaluer et les répercussions de ces changements pour les personnes interrogées.

Il est impératif de fournir une telle description à toutes les personnes interrogées afin de s'assurer qu'elles valorisent toutes le même bien.

En effet, avec une information vague ou inexistante, les personnes interrogées sont conduites à se forger leur propre opinion sur les changements de qualité apportés par la politique. Cela pose problème car, d'une personne à l'autre, la perception de l'étendue de ces

changements sera vraisemblablement différente. En d'autres termes, les personnes interrogées évalueront différents changements de qualité environnementale.

Par ailleurs, sans une information détaillée, les personnes interrogées seront également contraintes de faire des hypothèses sur la façon dont les changements dans la ressource affecteront les services qu'elle leur procure.

Ainsi, en l'absence d'informations précises, rien ne permet de garantir que toutes les personnes aient en tête le même bien et le même changement de qualité lorsqu'elles répondent aux questions de valorisation. Par conséquent, rien ne permet non plus de garantir que la valeur obtenue corresponde à la valeur recherchée par le commanditaire de l'étude.

3.2. Déterminer la population concernée

3.2.1. Quel périmètre d'étude ?

Une fois que le changement de qualité environnementale que l'on étudie a été déterminé, **il est nécessaire de définir la population concernée par ce changement**. Cette information est indispensable pour constituer la base de sondage, c'est-à-dire la liste des personnes susceptibles d'être interrogées au cours de l'enquête. L'objectif est ici d'obtenir un échantillon représentatif de la population.

La notion de périmètre d'étude renvoie également à la **distinction entre bien public local et bien public national**. Le choix du périmètre d'étude s'effectue aussi en tenant compte des objectifs de l'étude et notamment du type de valeurs que l'on cherche à mesurer. Par exemple, si l'on cherche à mesurer une valeur d'existence, alors le périmètre de l'étude est potentiellement très grand. Ainsi, si l'on cherche à estimer la valeur d'existence de l'ours des Pyrénées, interroger un échantillon constitué seulement des habitants des zones situées à proximité des espaces de vie de l'ours ne permettrait vraisemblablement pas d'obtenir la valeur d'existence « réelle ». La population pertinente dans ce cas est peut-être la population française dans son ensemble.

Les études d'évaluation contingente fournissent une valeur par personne ou par ménage. Il est donc absolument nécessaire de connaître la taille de la population concernée pour obtenir une valeur agrégée pour la population dans une optique d'analyse coûts-bénéfices.

Cette question ne peut pas être réglée correctement en fin d'étude, une fois la valeur unitaire obtenue. C'est bien dès le stade de la détermination du périmètre d'étude que doit être traitée la question de l'agrégation future de la valeur en valeur monétaire totale sur la zone.

En pratique, la délimitation de la population concernée est un exercice délicat. Dans certains cas, la délimitation s'impose d'elle-même. Par exemple, si l'objectif est de mesurer la valeur accordée à une amélioration de l'état d'une nappe souterraine pour un usage « eau potable », une solution logique est de considérer que la population concernée est constituée des foyers dépendant de cette nappe pour leur approvisionnement en eau potable.

Dans d'autres cas, la marge de manoeuvre du commanditaire est grande. Cette délimitation du périmètre est parfois marquée par un certain caractère arbitraire des découpages.

3.2.2. Individus ou ménages ?

Une fois le périmètre de l'étude délimité, il reste encore à déterminer le champ et le type de la population concernée. Par exemple, faut-il considérer le nombre de personnes (population totale ou population d'âge adulte) ou le nombre de ménages des communes concernées par l'étude ?

Une première réponse à la question est fournie par le **support de paiement utilisé dans les questions de valorisation**. S'il s'agit d'un support fondé sur les impôts locaux ou d'un droit de stationnement par exemple, ceux-ci sont acquittés au niveau du ménage. La population à considérer pourrait alors être la population des ménages de la commune. Si le support de paiement fait référence à un paiement plus individualisé comme le versement de don, la population totale de la commune pourrait être pertinente (ou les personnes âgées de plus de 18 ans).

Une seconde réponse consiste à retenir l'hypothèse la plus conservatrice, c'est-à-dire celle fournissant la valeur des dommages la plus faible. Le nombre de ménages serait alors à retenir.

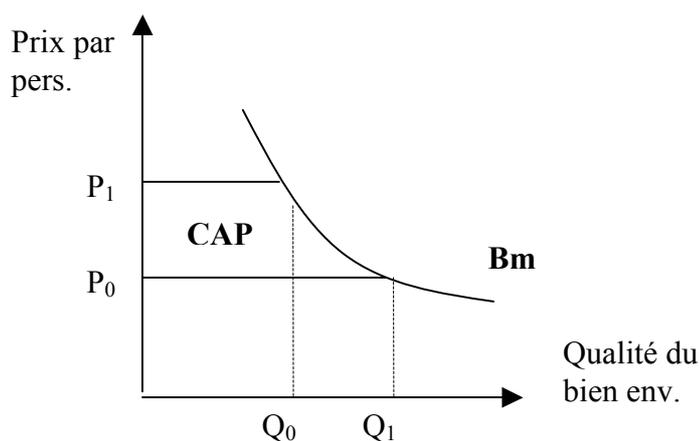
Quel que soit le choix retenu, il est indispensable que le questionnaire soit explicite sur le type de valeur mesurée : par ménage ou par personne.

Une stratégie prudente est d'estimer des valeurs par ménage.

3.3. Approche économique

L'interrogation directe des individus permet de « générer une estimation des mesures compensées de variation du bien-être » (Desaigues, Point, 1993). Cette évaluation ex-ante des effets d'une politique passe par l'établissement d'un scénario de référence décrivant les modifications physiques en jeu et le marché fictif mis en place. Le questionnement peut porter sur le CAP ou le CAR (essentiellement le CAP) ; il peut par ailleurs présenter un certain nombre de biais affectant la fiabilité de l'enquête menée ; depuis la définition du bien environnemental jusqu'à la révélation du support de paiement et des valeurs.

Quelle lecture nous est donnée par rapport à la valeur économique du bien ? La réponse issue du questionnaire établit un pont entre deux situations et la variation d'utilité qui les accompagne : le CAP est interprété comme une variation de surplus. Par rapport à la courbe associant à tout niveau de qualité du bien environnemental la valeur économique totale du bien en question, le CAP constitue l'aire sous la courbe, entre les deux niveaux de référence (ce qui est retracé sur la figure -). Cette courbe-là peut s'interpréter comme une fonction de demande de qualité du bien environnemental par les agents concernés. Leur programme est en effet, comme pour tout consommateur, de maximiser leur utilité (sous une contrainte budgétaire), ce qui se traduit par cette courbe de bénéfice marginal (Bm) lié à l'amélioration de la qualité du milieu. Cette courbe est usuellement décroissante, ce bénéfice marginal retiré par un agent ayant généralement tendance à décroître au fur et à mesure qu'augmente la qualité du milieu (par analogie à l'utilité marginale décroissante).



Lecture du consentement à payer sur la courbe de demande par usager

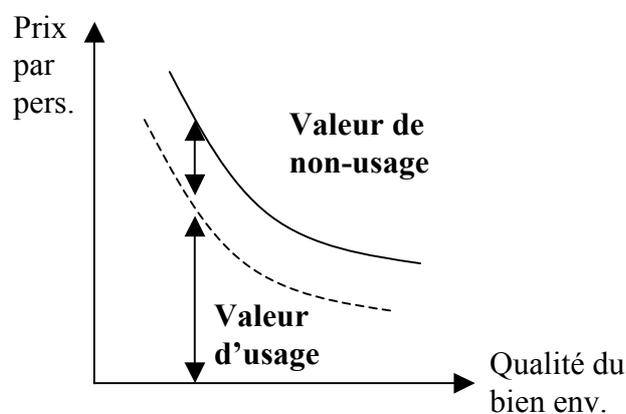
Les méthodes des prix hédonistes et des coûts de déplacement proposent un calcul indirect des dépenses engagées par les agents pour se consacrer à un usage récréatif (coûts de déplacement), ou pour obtenir une certaine qualité d'environnement (prix hédonistes).

La méthode des coûts de déplacement semble adaptée pour l'estimation de valeurs d'usage marchand ou non-marchand (pêche, activités sportives), et pour évaluer la valeur complète d'un site (variation de surplus entre un niveau de qualité donné et la situation qui annule la demande en qualité du bien environnemental).

L'approche par les prix hédonistes part de l'idée que « certains biens peuvent différer dans leurs caractéristiques dont l'une serait la qualité de l'environnement » (Desaigues, Point, 1993). Elle s'attache ainsi à déterminer le prix implicite attribué à une caractéristique de l'environnement, à partir d'un marché existant (par exemple l'immobilier).

Enfin, si toutes ces méthodes ne sont pas exclusives, l'évaluation contingente est la seule qui permet d'estimer les valeurs de non-usage.

La variabilité d'utilité se décompose en valeurs d'usage et de non-usage, mais les premières sont en général plus facilement accessibles, car elles peuvent s'appuyer sur des valeurs marchandes (à minima les dépenses actuellement consenties pour pratiquer l'usage) et se rapporte à une situation présente bien identifiée par les agents économiques. Aussi, il est souvent décidé de limiter l'évaluation de la valeur économique totale à la prise en compte des valeurs d'usage, qui constitueront ainsi un minorant de la valeur totale (voir les deux courbes sur la figure). On peut ainsi produire un consentement à payer de la part de chaque usage lors de l'amélioration de la qualité d'un bien environnemental donné. Il faut enfin noter que les consentements à payer ne se lisent pas sur des courbes de demande marshallienne (sous contrainte budgétaire), mais sur des courbes de demande hicksienne (à utilité constante) de plus forte pente, ce qui traduit une légère différence dans le résultat.



Courbes des valeurs économiques totales et valeurs d'usage

3.4. Limites de l'évaluation contingente

Au-delà des **difficultés méthodologiques** inhérentes à cette méthode, le recours à des méthodes d'évaluation monétaire des biens non marchands repose sur des hypothèses fortes. Si elles semblent considérées comme acquises par les économistes, elles restent en revanche **discutables d'un point de vue plus sociologique**.

L'évaluation contingente donne de bons résultats à la condition de respecter un certain nombre de « bonnes pratiques ». Si ces règles ne sont pas respectées, la méthode d'évaluation contingente comporte de nombreux risques d'erreur. Dans la mesure où la méthode ne repose pas sur une base théorique démontrable, la mise en évidence de biais éventuels et de leur sens passe par des expériences de laboratoire (Carson, 1991). Cette absence de base théorique a même conduit certains économistes à considérer cette méthode comme trop incertaine. L'ensemble des recherches entreprises et les progrès auxquels elles ont conduit, tant au niveau de la rédaction du questionnaire qu'au niveau du traitement des données collectées, permettent toutefois maintenant de se prémunir contre l'apparition des biais les plus importants.

Parmi eux, se trouvent en premier lieu les biais liés à la détermination de l'échantillon. Lorsque la population enquêtée n'est pas suffisamment concernée par le site ou la mesure à évaluer, ou lorsque l'échantillon n'est pas représentatif de cette population concernée, les valeurs obtenues peuvent être biaisées.

Mais les biais les plus fréquents, et certainement les plus difficiles à corriger, sont certainement liés à la rédaction du questionnaire. Dans un système d'enchères, il faudra ainsi éviter les biais liés à la fixation de l'enchère de départ (en partant de sommes très faibles). De façon plus générale, il convient de prendre garde à l'effet de contexte lié à l'influence exercée par la formulation et l'ordre des questions posées sur les réponses fournies : pour les minimiser, il est nécessaire d'effectuer des tests sur des sous-groupes d'individus, afin de mesurer la sensibilité des réponses aux questions posées. Un autre biais, particulièrement important, renvoie à l'idée que les individus peuvent avoir tendance à attribuer la même valeur à un bien très étendu et diversifié (l'ensemble des forêts françaises) et à un bien particulier, sous-ensemble du précédent (une forêt particulière) : c'est l'effet d'inclusion dont la limitation passe par une bonne mise en perspective du bien à valoriser.

D'autres biais sont liés au comportement des individus. Ainsi, lorsque les enquêtés pensent pouvoir influencer certaines décisions grâce à leur réponses, ils peuvent répondre de façon stratégique (biais stratégique). Dans d'autres cas, essentiellement dans les interviews en face-à-face, ils peuvent attribuer au bien une valeur supérieure à leur CAP réel dans le but de satisfaire l'enquêteur (biais de l'enquêteur). Enfin, le caractère hypothétique de l'exercice demandé rend difficile la détermination par l'enquêté de la vraie valeur qu'il accorde au bien ou à la mesure qu'on lui demande de valoriser. La correction de ce biais hypothétique, passe par une appropriation de l'enquêté de l'exercice qu'on lui propose, grâce à une description précise du bien ou de la mesure à valoriser et du scénario fictif associé.

La question de l'agrégation des préférences individuelles en vue de déterminer une préférence collective est au coeur des méthodes d'évaluation monétaire fondées sur la déclaration des préférences d'un échantillon d'individus. Le recours aux préférences individuelles se justifie en théorie de la manière suivante : selon l'analyse coûts-bénéfices, une décision est jugée bonne ou justifiée si elle génère un surplus monétaire net pour au moins un individu. Il s'agit ici du **critère d'efficacité parétien**. A la base de ce raisonnement, il y a un acte de foi des économistes qui consiste à faire l'hypothèse que le passage du bien-être individuel au bien-être social se fait par simple agrégation des mesures de bien-être individuel.

Les choix opérés par les individus en matière de programme environnemental ne correspondent pas à la solution optimale en matière environnementale. L'ambition des méthodes d'évaluation monétaire des biens non-marchands de déterminer l'optimum social par agrégation des préférences individuelles est à réévaluer. Elles gardent cependant toute leur utilité dans la mesure où elles permettent de mettre en évidence les conséquences des mesures publiques sur les différents agents économiques à travers la modélisation des consentements à payer.

Les travaux en économie abondent pour pointer du doigt les difficultés inhérentes à la méthode d'évaluation contingente. On peut en identifier trois principales.

■ La première concerne l'hypothèse selon laquelle **les enquêtés se comportent comme des consommateurs face à des biens publics**. Ce présupposé butte sur le fait que la méthode rend marchand un bien qui ne l'est pas de sorte que rien ne garantit que les positions des individus face à ce nouveau bien se cantonnent aux comportements marchands de consommation. La nature publique des biens à évaluer influe sur la façon dont les individus

perçoivent les biens en cause. Willinger et Ziegelmeyer notent qu'à travers les différentes expériences menées, on observe que les agents ont tendance à contribuer au bien public au-delà de ce qui correspond à leur seul intérêt privé (phénomène de surcontribution). Plusieurs hypothèses sont envisagées par les auteurs pour expliquer cette tendance : l'hypothèse de l'altruisme, l'hypothèse stratégique et celle de l'effet de contexte.

Hypothèse de l'altruisme

Selon l'hypothèse de l'altruisme, les sujets ne sont pas seulement motivés par leurs propres gains monétaires, mais également par les gains des autres. L'utilité d'un sujet serait donc croissante à la fois avec le niveau de ses propres gains, et le niveau des gains des autres. Comme dans un contexte de contribution volontaire à un bien public, l'altruisme agit en sens contraire de l'intérêt individuel, il peut en résulter une surcontribution. On distingue l'**altruisme impur**, qui signifie que c'est l'acte de contribuer en tant que tel qui procure une satisfaction au sujet, indépendamment de l'accroissement des gains des autres, et l'**altruisme pur**, qui s'explique par la recherche d'une bonne conscience ou d'une satisfaction morale procurée par le fait de contribuer.

Hypothèse stratégique

Cette hypothèse repose sur l'idée que certains sujets ont conscience que leur intérêt mutuel est de contribuer à la fourniture du bien public afin d'atteindre l'optimum de Pareto. Comme ils ne peuvent pas communiquer entre eux pour s'accorder sur la bonne stratégie, ils adoptent une stratégie de persuasion qui consiste à contribuer très fortement dans les premières périodes, même si les autres se comportent en passagers clandestins, afin de signaler leur volonté de coopérer. Toutefois ce comportement de persuasion possède ses propres limites. Au fur et à mesure que le jeu approche de la fin, l'intérêt de persuader les autres se réduit.

Hypothèse de l'effet de contexte

Grâce à leurs contributions au bien public, les sujets génèrent des externalités positives qui entraînent une réaction favorable des membres du groupe. Un cercle vertueux de « don-contre-don » est donc susceptible d'émerger dans un tel contexte, la réciprocité favorisant la contribution.

Mais aucune de ces explications n'est pleinement satisfaisante. Il existe une différence majeure entre le comportement des agents sur le marché et celui des enquêtés sur le marché

fictif mis en place par la méthode d'évaluation contingente, et cette différence tient à la nature publique des biens à évaluer. Autre illustration de ce biais : certaines réponses négatives dans les questionnaires traduisent, non pas un désintérêt pour la question, mais des refus de participation qui tiennent à la dimension publique des biens à évaluer (« c'est le gouvernement qui devrait payer... »).

La deuxième difficulté est d'ordre plus méthodologique : dès lors que les consentements à payer sont obtenus par voie d'enquête, **ce ne sont pas des actions qui sont observées mais des discours qui sont recueillis**. Ces discours correspondent à des situations où les conséquences des choix (financières notamment) ne sont qu'hypothétiques. Il n'existe pas de principe de réalité pour associer explicitement les actions à des conséquences.

La troisième difficulté tient à la situation dans laquelle sont placés les enquêtés. L'interview en face à face ou au téléphone constitue un cadre formel qui ne permet pas à l'enquêté de réfléchir posément à la valeur qu'il accorde au bien à évaluer. **Les questions abordées** (environnement, ...) **sont souvent complexes et peuvent susciter des questions ou nécessiter un débat**. **Le manque de temps et d'information pour les enquêtés constitue une réelle difficulté qui fragilise la solidité des résultats obtenus**. Un certain nombre d'expériences ont tenté de remédier à ces limites.

Ce qu'il faut retenir...

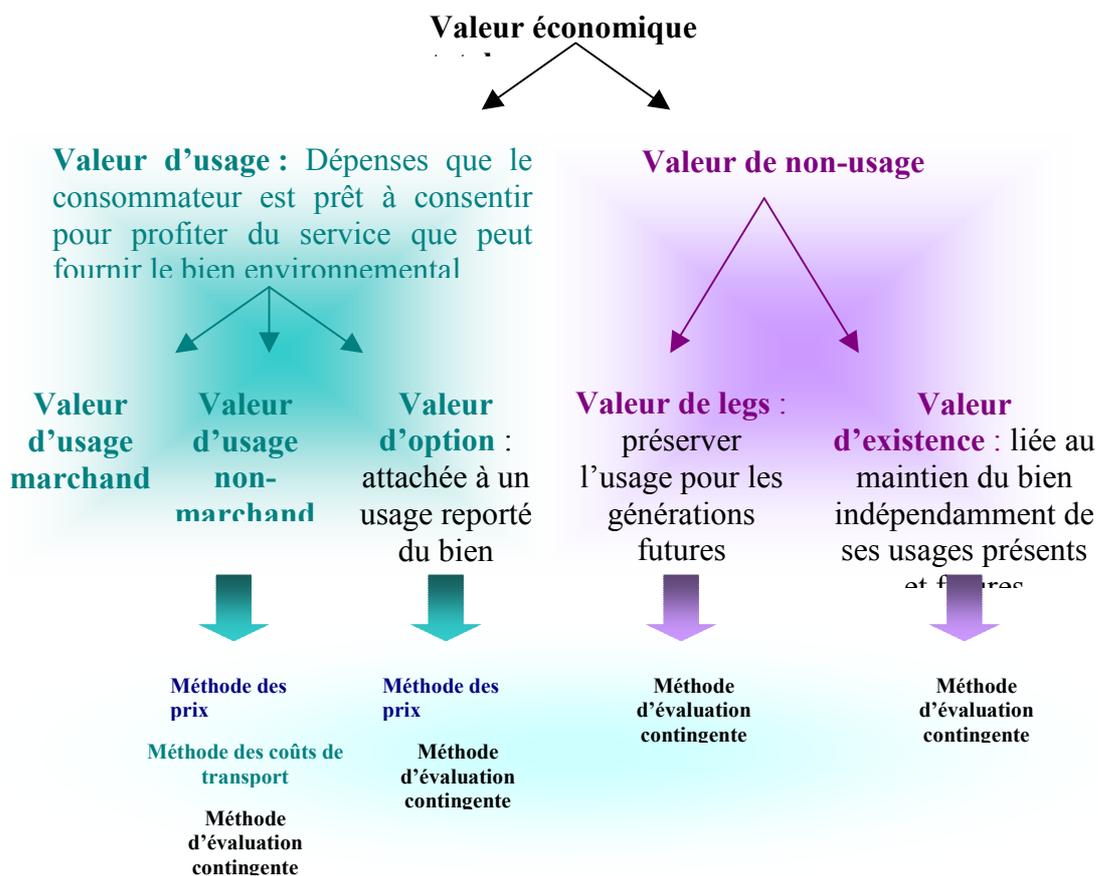
Contrairement aux précédentes, la méthode d'évaluation contingente ne s'appuie pas sur l'observation des comportements, mais utilise la reconstitution d'un marché fictif (contingent) pour inciter les individus à révéler la valeur qu'ils accordent à un bien ou un milieu naturel, à son amélioration ou aux dommages qui lui ont été causés. Sa mise en oeuvre repose sur la réalisation d'enquêtes, auprès d'un échantillon représentatif de la population concernée, au cours desquelles on soumet aux personnes interrogées différents scénarios fictifs.

4. Quelle méthode choisir ?

Trois éléments au moins fournissent des indications sur le choix de la méthode de valorisation la plus appropriée.

Une remarque préliminaire s'impose : les **trois méthodes ne sont pas** nécessairement **exclusives**. Afin d'atteindre les objectifs de l'étude, les différentes méthodes peuvent être **utilisées conjointement** afin d'évaluer des types de valeur différents : par exemple, méthode des coûts de transport pour étudier une valeur d'usage récréatif et méthode d'évaluation contingente pour étudier valeurs de non-usage. La **difficulté** est alors de bien cerner ce que chaque méthode permet de valoriser afin d'**éviter les double comptes** dans la perspective d'une analyse coûts - bénéfices.

Le type de bien étudié ou la nature de la population que l'on souhaite interroger peut aussi conduire au choix de l'une ou de l'autre des méthodes. Par exemple, si l'on souhaite étudier la **valeur d'usage d'un site** sur lequel sont pratiquées des activités récréatives (promenade, pêche, ...), la **méthode des coûts de transport** paraît particulièrement adaptée, même si la méthode d'évaluation contingente peut aussi être utilisée.



Source : **AERM**

Ces trois méthodes sont-elles substituables les unes aux autres ? Si l'on souhaite mesurer une valeur d'usage non-marchand, la figure ci-dessus indique que les trois méthodes (méthode d'évaluation contingente, méthode des coûts de transport et méthode des prix hédoniques) peuvent être utilisées. Cela signifie-t-il qu'elles conduiront toutes au même résultat ?

- D'abord, pour la méthode d'évaluation contingente, il convient de s'assurer que les personnes interrogées valorisent seulement la valeur d'usage non-marchand. A cette condition, les valeurs mesurées par les trois méthodes sont comparables.
- Ensuite, des travaux méthodologiques ont permis de montrer qu'en général la méthode des coûts de transport tendait à fournir des valeurs plus élevées que la méthode d'évaluation contingente.

Une autre question concernant l'utilisation de ces méthodes touche à leur objet même. En effet, **elles ont pour finalité de mesurer la valeur économique de biens non-marchands**, cette valeur étant fondée sur l'expression des **préférences individuelles**. Il est nécessaire de s'interroger sur ce que recouvre cette notion de valeur dans le cas de biens qui

n'ont pas de prix sur le marché. En effet, la question de ce qui est mesuré à travers les consentements à payer est centrale, et pourtant assez peu abordée par les auteurs qui mettent en oeuvre ces méthodes.

Pour comprendre les questions soulevées par cette notion de valeur économique dans le cadre de l'évaluation monétaire des biens non-marchands, il est utile de revenir sur une distinction fondamentale qui s'est opérée dans l'histoire des sciences économiques entre **valeur d'usage** et **valeur d'échange**.

- La **valeur d'usage** désigne l'**utilité d'un bien évaluée selon l'usage qui en est fait par le consommateur final**. Elle est relative à l'efficacité de l'usage d'un produit ou d'un service par rapport au besoin d'un consommateur.
- La valeur d'échange quant à elle, est relative à la valeur marchande de ce bien dans un processus d'échange.

La distinction entre valeur d'échange et valeur d'usage a été théorisée par Aristote qui développa le premier l'idée que les marchandises ont une valeur d'usage par l'utilité qu'elles procurent et une valeur d'échange par leur capacité à entrer en rapport quantifiable entre elles. Reprenant cette distinction, Smith et Ricardo, puis Marx, en firent le point de départ de la pensée économique classique : **la valeur d'usage est la raison pour laquelle une marchandise est produite et achetée, mais n'est pas susceptible de mesure**. La valeur d'échange est le rapport dans lequel deux marchandises vont s'échanger et dépend de plusieurs facteurs qui conduisent à la formation des prix : les conditions de production, notamment la quantité de travail nécessaire et la rémunération de ce dernier, et les fluctuations de l'offre et de la demande sur le marché.

Par rapport à cette approche, les économistes néoclassiques ont postulé que **la valeur d'échange est seule significative** : la valeur d'un bien est liée à l'utilité dégagée et à la satisfaction des besoins du consommateur. Ce faisant, ils ont développé une approche entièrement subjective de la valeur économique selon laquelle **la formation des prix ne dépend que de la fonction d'utilité du bien et de son appréciation par le consommateur**. Cette conception de la valeur économique, expression de désirs individuels et subjectifs, estimation par les individus de la capacité d'un bien à satisfaire leurs besoins, exprimée par les prix de marché, a été dominante au XXe siècle. Mais les limites d'une conception de la valeur économique réduite à la valeur d'échange sont apparues clairement au cours des deux dernières décennies. Le concept de valeur d'usage a regagné en importance dans le cadre

d'interrogations croissantes sur le caractère durable du développement économique et l'importance des questions environnementales. Les problématiques environnementales ont en effet posé avec une acuité particulière la **question des externalités**, positives ou négatives, **engendrées par l'activité économique**. Celles-ci correspondent à des coûts ou des bénéfices qui ne sont pas intégrés dans les prix, donc pas pris en compte dans le mode de coordination marchand fondé sur les valeurs d'échange. La nécessité de prendre en compte ces externalités dans le bilan économique final d'une entreprise ou d'une politique a amené un certain nombre d'auteurs à revaloriser la notion de valeur d'usage. Ainsi, Dutrieux déclare que « la valeur d'usage d'un bien s'apprécie relativement à l'utilité ou la nocivité collectives qu'il contient, occasionne ou entraîne dans un espace social déterminé ». Cette revalorisation de la valeur d'usage illustre un changement de perspective important en matière d'évaluation économique : la maximisation des externalités positives et la minimisation des externalités négatives deviennent les critères de l'utilité sociale. Dès lors, **la création de valeur économique se conçoit autant en référence à l'usage qui est fait des ressources (valeur d'usage) qu'à leur allocation (valeur d'échange)**.

Face à cette aporie en matière de définition de la valeur économique, le développement de l'évaluation contingente a cherché à répondre à un besoin d'estimation des prix de biens dotés d'une valeur d'usage et non d'une valeur d'échange, afin de prendre en compte les externalités découlant de cet usage dans le bilan économique. La méthode a donc cherché à mettre en oeuvre une révélation de la valeur monétaire de biens non-marchands à travers des procédures aussi proches que possible du fonctionnement d'un marché et garantissant des révélations de consentement à payer comme s'il s'agissait de comportements effectifs sur les marchés. On a déjà vu que cette approche est problématique d'un point de vue méthodologique dans la mesure où **rien ne garantit que les individus interrogés se comportent comme des consommateurs face à des biens publics**. Il est nécessaire de pousser plus loin la critique en montrant que le déplacement opéré par la méthode des biens privés aux biens publics doit amener à s'interroger sur la signification des montants déclarés par les individus. En effet, il existe un décalage important entre une attitude de consommateur qui valorise un bien sur la base d'une maximisation d'utilité personnelle et un comportement citoyen de contribution au bien public. **Du point de vue de la théorie économique, les consentements à payer représentent la valeur d'échange du bien**. Mais ces consentements à payer censés représenter ce à quoi les agents sont prêts à renoncer en termes d'autres opportunités de consommation ne peuvent rendre compte à eux seuls de la valeur accordée à un bien public, notion autrement plus complexe faisant appel à des dimensions de nature

symbolique et affective. Cette question problématique des liens entre normes sociales, systèmes de valeur des individus et déclaration de leur consentement à payer a été discutée d'un point de vue sociologique dans une approche critique de l'évaluation contingente, sans qu'une solution méthodologique satisfaisante ne soit trouvée. Le référentiel qui conduit un individu à déclarer un montant donné est très difficile à appréhender. Or cette question de la compréhension des valeurs exprimées reste entière dans la mesure où les utilisateurs de la méthode semblent souvent prendre pour argent comptant les montants déclarés et en font des valeurs absolues.

En conséquence, il semble hasardeux de fonder les calculs de rentabilité économique sur une approche aussi floue de la valeur économique. En revanche, en sortant de la théorie économique et de sa stricte interprétation des consentements à payer, il semble possible de faire une lecture sociologique des consentements à payer déclarés, comme représentatifs du niveau d'adhésion des répondants aux politiques publiques envisagées. Dans une telle perspective, **le consentement à payer moyen obtenu exprime un état de l'opinion sur la valeur subjective d'un bien**, compte tenu de la dynamique sociale du moment. La caractéristique principale de la méthode d'évaluation contingente est d'être entièrement centrée sur la question du consentement à payer que le répondant doit exprimer. Elle permet donc de savoir si la population est tout simplement prête à payer pour une politique donnée. Cette polarisation sur le CAP constitue l'intérêt principal de la méthode dans la mesure où elle permet ensuite de calculer les consentements à payer de différents sous-groupes de population. L'évaluation contingente permet donc de cerner l'influence des caractéristiques individuelles des répondants sur leurs choix. Ce type d'informations est précieux pour la puissance publique qui peut ainsi cerner le degré d'adhésion de différents groupes sociaux aux projets qu'elle souhaite mettre en oeuvre. Par ailleurs, les questionnaires peuvent facilement inclure des questions sur les usages du bien par le répondant et les raisons qui le poussent à déclarer tel consentement à payer. Cet approfondissement qualitatif permet ensuite de mieux comprendre les valeurs déclarées et de voir à quels déterminants elles obéissent (usage du bien, attachement symbolique à sa préservation...). De ce point de vue, **l'évaluation contingente peut être regardée comme une méthode sophistiquée d'analyse de l'opinion. Mais la polarisation de la méthode sur la question du consentement à payer est également sa principale limite**. En effet, l'évaluation contingente reste prisonnière de la variable prix pour un bien ou un service déterminé. En définitive, la définition d'un CAP moyen ou médian pour un bien public ne constitue pas à nos yeux un critère suffisant pour justifier du choix d'une politique.

5. Les autres méthodes

Parmi les méthodes indirectes, on peut également citer la méthode dite des coûts de déplacement qui déduit le consentement à payer des individus pour utiliser un actif (forêt, bibliothèque, musée...), des coûts engagés pour ce rendre sur ce site : le coût du transport et éventuellement le coût d'opportunité du temps.

5.1. Méthodes d'évaluation par les coûts (éviterment, restauration, protection)

Les méthodes fondées sur l'estimation des coûts réels engagés (éviterment, protection, restauration) sont une autre approche de l'évaluation des coûts environnementaux. Ce seront par exemple des achats de purificateurs d'eau par des ménages, le traitement d'effluents en station d'épuration, ou la restauration des milieux naturels affectés. Le lien entre les dépenses consenties pour conserver ou créer une certaine qualité d'environnement et les variations d'utilité et consentements à payer des agents n'est pas trivial.

5.1.1. Les coûts de protection des ménages

L'**hypothèse la plus naturelle** – sans nécessairement être la plus réaliste – que l'on est tenté d'émettre pour rapprocher CAP et dépenses de protection est qu'**il existe une parfaite substitution entre la qualité de l'environnement et la consommation d'un bien donné**. On en serait *a priori* amené à penser que les coûts consentis sont égaux à la disponibilité à payer. Ce raccourci est faux. D'une part, le bien acheté au nom de la protection du ménage peut remplir d'autres fonctions : son coût ne doit pas être intégralement attribué à la dégradation de la qualité de l'environnement. D'autre part, si cette qualité s'améliore, alors le prix du bien substitué va diminuer. Mais l'individu va réorganiser sa consommation. L'objectif ne sera pas centré sur son environnement (sa protection, sa qualité), mais sur son **utilité qu'il va chercher à maximiser**. On retrouve une analogie avec la théorie microéconomique du consommateur : dans un marché de deux biens, si l'un des prix change, le nouveau programme de maximisation de l'utilité déplacera l'ancien point d'équilibre sur une nouvelle isoquante (à utilité constante) dont la tangente au point d'équilibre n'aura pas la même pente (la droite de budget n'est plus la même). Ce passage « peut être décomposé en deux temps : [...] **effet substitution** et [...] **effet revenu** » (Picard, 2002). Dans le cas présenté, l'effet substitution induira la consommation de biens autres que les biens de protection dans cette

recherche de l'utilité maximale. Plusieurs études ont été développées au sujet des dépenses de nettoyage des ménages en relation avec la qualité de l'air.

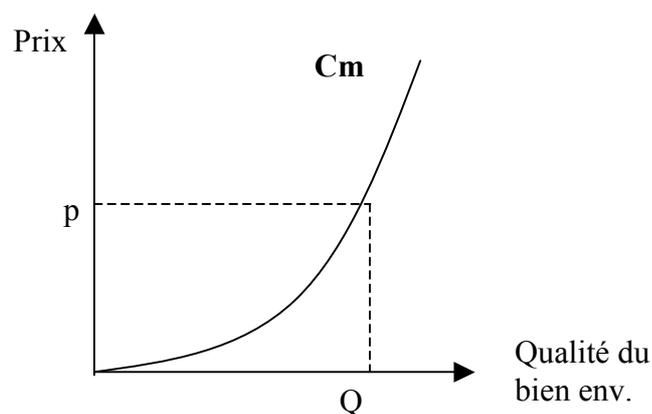
La conclusion de cette partie est que « l'observation d'une diminution de ces dépenses de protection ne peut être considérée comme une mesure correcte d'une amélioration de la qualité de l'environnement » (Desaigues, Point, 1993). P. Bontems et G. Rotillon conviennent dans leur ouvrage *L'économie de l'environnement* (1998) que « la comptabilisation de ces dépenses, même si elle ne peut évaluer l'ensemble du consentement à payer des individus, est un moyen simple d'évaluer le bénéfice minimal qui est attaché à l'amélioration de l'environnement ». Ces résultats trouvent-ils une analogie hors des ménages ou pour d'autres dépenses (telles évitement et restauration) ?

5.1.2. Coûts d'évitement et de restauration

5.1.2.1. Un positionnement au niveau de l'offre

Si les estimations des CAP sont explicitement rattachées aux préférences déclarées des agents ; le calcul des coûts d'évitement ou de restauration trouve sa genèse dans l'état de santé du milieu et la nature des rejets qu'il peut recevoir. La valeur économique totale d'un bien environnemental s'identifie à une courbe de demande, de bénéfice marginal ; de façon tout à fait analogue, ce raisonnement en terme de coûts génère une fonction d'offre de la qualité d'un bien environnemental.

Il ne s'agit plus – comme pour la demande – de penser en terme d'utilité des agents, mais c'est cette fois **le milieu qui est placé au centre de toutes les attentions** (la pollution qu'il subit ou peut recevoir). Une analogie avec la théorie microéconomique néoclassique est envisageable, avec un « producteur de qualité d'un bien environnemental » (agent individuel ou collectivité) voulant maximiser la différence entre la « vente » de la qualité du bien et le coût engendré par cette opération (*i.e.* **maximiser son profit**). C'est donc finalement une courbe de coût marginal. Elle est par hypothèse croissante. Plus la quantité de pollution présente est faible ou plus le milieu présente un état satisfaisant, plus les coûts marginaux à mettre en oeuvre deviennent élevés. Cette fonction prend une valeur nulle à l'origine, car en ce point aucune dépense n'est à compter. Ceci est illustré sur la figure.



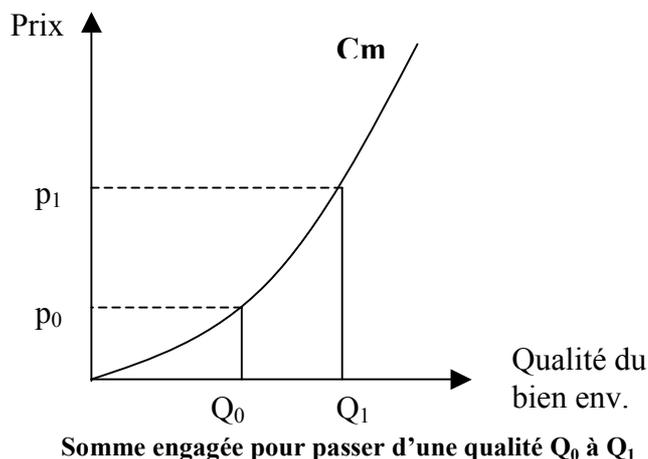
Courbe d'offre de qualité d'un bien environnemental (coût marginal C_m)

5.1.2.2. Lecture du coût engagé

La courbe d'offre étant une courbe de coût marginal, la somme à engager pour passer d'une qualité du bien environnemental à une autre qui lui est supérieure se lit simplement par l'intégrale sous cette courbe. Il s'agit certes d'une courbe théorique illustrant le propos tenu – elle n'est pas nécessairement continue et sera différente selon la nature des coûts et les situations rencontrées.

La figure 4 montre bien que le coût engagé est éloigné du concept de consentement à payer. Outre le fait que la courbe de référence du calcul n'est pas la même, le résultat obtenu n'est pas un surplus économique. Ces dépenses ne sont pas produites de la même façon que les CAP, issus d'une approche d'estimation de la demande, mais ceci n'empêche pas de comparer ces méthodes et valeurs.

Une analogie avec les coûts de protection des ménages serait possible, si les agents concernés par la qualité d'un bien environnemental engageaient réellement les dépenses, comme le font les ménages. Cela permettrait de conclure que ces coûts sont un minorant du CAP des agents.



5.1.2.3. Les coûts d'évitement

Ce terme d'évitement nécessite une définition un peu plus précise : une mesure d'évitement consiste à traiter la pollution entre sa source et le milieu dans lequel elle pourrait causer des dommages. En prenant le cas d'un plan d'eau en phase d'eutrophisation, des mesures d'évitement sont par exemple le recensement de tous les points de rejets (en nitrates, phosphates), puis le traitement de ces effluents à leur source, ou aux points d'entrée des divers ruisseaux dans l'étendue d'eau, sans que le lac ne soit affecté.

Dans le cas particulier de la ressource en eau, les coûts d'évitement représentent le plus fréquemment des coûts d'épuration de rejets. La courbe de coût marginal peut en ce cas être assez aisément connue, des données économiques existent sur les traitements unitaires. On peut à nouveau expliquer l'hypothèse de la croissance de cette courbe d'offre de la qualité du milieu (pouvant s'identifier à une courbe d'offre de dépollution des rejets dans les hydrosystèmes) : la dépense consentie sera bien plus élevée pour passer de 97 à 98% de pollution que par exemple, de 10 à 11%.

5.1.2.4. Coûts de restauration

La logique est ici totalement différente, le traitement n'est pas réalisé avant que le milieu ne soit touché, mais une fois que son état a été modifié. L'objectif ne relève pas de la protection, de la minimisation des effets sur le milieu pour préserver des usages. Il s'agit là de vivre avec la pollution en place et de permettre au milieu affecté de retrouver certaines fonctionnalités, sans pour autant modifier le flot de polluants qui vient perturber le milieu. Si nous reprenons l'exemple du lac assailli par les états de l'eutrophisation, des mesures de restauration consisteraient par exemple à créer non loin du lac (dans une partie moins exposée ou en amont) un espace piscicole pour restaurer l'usage pêche.

Par ailleurs, « le concept d'équilibre d'un écosystème est dynamique ce qui limite la possibilité en milieu ouvert d'un retour à l'état initial. Il en résulte que la distinction entre restauration et amélioration est difficile à établir » (Bonnieux et Rainelli, 2002). C'est une différence de taille avec les coûts d'évitement, on ne dépollue pas plus que la quantité de pollution générée (par rapport à un niveau initial) tandis qu'une restauration peut amener à un niveau de qualité du bien environnemental supérieure à ce qu'elle était initialement.

5.2. Comparaison des méthodes d'estimation de la demande et des méthodes de coûts d'évitement

Les valeurs économiques issues des coûts de restauration et d'évitement sont différentes de celles données par une approche par l'estimation de la demande, préconisée par les néoéconomistes. Les dépenses d'évitement et de restauration reflètent des coûts pour **produire un meilleur état de l'eau** (par exemple en augmentant le traitement d'eaux résiduaires, en reconstituant les zones humides...). Les méthodes basées sur l'évaluation de la demande reflètent l'intérêt des agents présents pour obtenir un bon état écologique (par exemple CAP pour diminuer les nitrates dans l'eau...).

Plus fondamentalement, on pourrait dire que les deux méthodes sont en désaccord sur la façon de produire les valeurs de non-usage – qui portent essentiellement sur la valeur de l'existence du bien environnemental dans le futur – dans l'évaluation. L'économie néoclassique base son évaluation sur les personnes présentes et fait l'hypothèse qu'elles intègrent correctement les valeurs de non-usage. Comme une partie importante de ces valeurs se rapporte aux générations futures, cette approche est probablement trop optimiste. Les méthodes des coûts de restauration et d'évitement partent du principe que le bon état écologique intègre correctement l'importance de l'environnement pour les générations futures, ce qui est probablement une vision optimiste et ne tient pas compte du fait que ces niveaux sont périodiquement révisés. Cette difficulté des deux méthodes à capter la valeur totale du bien environnemental les rapproche finalement. Bien que conceptuellement différentes, les résultats pourraient être comparés.

Deux remarques plus mineures peuvent être faites pour comparer ces méthodes :

- les coûts de restauration dépendent beaucoup de la technique employée pour réparer les dommages, ce qui constitue une **réelle difficulté de cette méthode**...
- la méthode des coûts de restauration évalue des surcoûts de traitement du fait de la pollution vers les milieux actuellement non traitée (assainissement individuels, résidus après station d'épuration,...). Ce faisant, cette méthode dépasse probablement le bon état écologique, car on suppose généralement que les normes actuelles d'eaux usées sont compatibles avec le bon état écologique. Cette approche tend ainsi probablement vers une surestimation des coûts environnementaux.

ANNEXE 7

Quel mode d'enquête choisir ?

La question du mode d'enquête (courrier, face-à-face, téléphone) ne se pose que pour la **méthode d'évaluation contingente et la méthode des coûts de transport**.

1. Choisir le mode d'enquête

Pour recueillir les informations sur les visiteurs et les visiteurs potentiels du site, il est nécessaire de réaliser une **enquête par questionnaire**. Pour cela, on dispose de deux modes d'enquêtes :

- l'**enquête sur site** : les visiteurs sont interrogés sur le site que l'on étudie ;
- l'**enquête « hors site »** : les visiteurs potentiels sont interrogés à leur domicile, par téléphone ou par courrier.

L'**enquête sur site**, en face-à-face, présente l'avantage de permettre de **toucher la population cible directement**. Supposons que l'on souhaite déterminer la valeur d'un site pour une catégorie particulière d'usagers (pêcheurs, promeneurs, ...) représentant une proportion très faible de la population générale. La taille de l'échantillon pour une enquête téléphonique auprès de la population générale devra être très grande pour obtenir un échantillon raisonnable d'usagers. En revanche, l'enquête en face-à-face permet d'obtenir plus facilement un échantillon correct d'usagers.

Toutefois, l'enquête sur site présente plusieurs difficultés.

- Les personnes qui ne se rendent jamais sur le site ne sont jamais interrogées. Cela signifie que l'échantillon dont on dispose ne contient aucune observation correspondant à un nombre de visites égal à 0. Les données sont tronquées puisque l'on n'interroge que des visiteurs. Parsons [2003] remarque que cela compromet l'exactitude de l'estimation de la constante de la fonction de demande. En effet, cela contraint à estimer la constante avec seulement les visiteurs. Si l'on fait une analogie avec le graphique 1, cela signifie que l'on cherche à estimer l'ordonnée à l'origine, sans disposer d'aucun point correspondant à un nombre nul de visite. Cela correspond à une extrapolation en dehors de l'étendue des données observées, ce qui n'est jamais recommandé.

- Il peut être **difficile d'obtenir un échantillon représentatif** à partir d'une enquête sur site.

En effet, se pose la question de savoir quand interroger les visiteurs ? A quelle période de l'année faut-il interroger les visiteurs ? A quelle période de la semaine ? Par exemple, il est vraisemblable que les personnes visitant un site les jours de semaine ou les week-ends, ainsi que les personnes qui se rendent sur un site pendant l'été et celles qui s'y rendent à d'autres périodes de l'année ont des profils de visite différents. Dans l'idéal, une solution consisterait à procéder à des enquêtes sur site à plusieurs reprises dans l'année (au printemps, en été et en hiver), en interrogeant à chaque fois des visiteurs en semaine et le week-end. Toutefois, dans la pratique, cette façon de procéder est difficile à réaliser, en raison des coûts et du temps supplémentaires qu'elle entraîne. Il faut noter également que les dates d'enquête sont parfois contraintes par la pratique d'un usage (par exemple, dates d'ouverture de la pêche).

Les individus qui se rendent très fréquemment sur ce site ont une probabilité plus forte d'être interrogés. On parle alors de stratification endogène. Si ce biais ne n'est pas corrigé, alors l'extrapolation à la population générale du bien-être retiré par les visiteurs lors de leur visite du site sera biaisée. Ces points délicats peuvent être corrigés au moment de la conception de l'enquête et de l'analyse des résultats. Le paragraphe VIII. 2 présente un modèle statistique permettant de corriger le problème des 0 et de la stratification endogène. Ces points délicats ne constituent donc pas des obstacles insurmontables à la mise en œuvre de la méthode des coûts de transport avec enquête sur site.

L'**enquête téléphonique** permet d'interroger à la fois des **usagers** d'un site naturel (visiteurs, pêcheurs, ...) et des **non-usagers** (c'est-à-dire des personnes qui ne se rendent jamais sur le site étudié). Ceci permet d'obtenir l'information nécessaire pour estimer sans biais le modèle et pour éviter les biais de sélection. En outre, obtenir un échantillon aléatoire représentatif est beaucoup plus aisé. De plus, l'enquête téléphonique peut permettre d'estimer le nombre total d'usagers, ce que ne permet pas véritablement l'enquête sur site.

Néanmoins, l'enquête « hors site » peut être **coûteuse à réaliser** quand la proportion de visiteurs, ou de visiteurs pratiquant une activité particulière, est faible dans la population générale. Une solution à ce problème est d'utiliser une source d'information auxiliaire : on peut, par exemple, utiliser la liste des titulaires de cartes de pêche, si l'AAPMA (Association

Agréée de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique) locale en dispose, et construire un échantillon sur cette base.

Un autre point délicat avec l'enquête « hors site » est la **délimitation du périmètre d'enquête**. Jusqu'à quelle distance du site faut-il interroger les habitants ? Plus on s'éloigne du site, plus le taux de fréquentation est faible et plus l'enquête devient coûteuse à réaliser. Il y a donc un compromis à établir entre exhaustivité et coût de l'enquête. Plusieurs éléments peuvent aider à délimiter le périmètre d'enquête :

- Il est possible d'utiliser les résultats d'enquêtes de fréquentation réalisées par les gestionnaires de certains sites naturels ou de certains offices du tourisme, quand ils sont disponibles.
- Une autre solution est d'interroger un échantillon représentatif d'habitants de communes situées à moins de x km ou de h heures du site. La délimitation doit tenir compte du caractère plus ou moins emblématique du site. Par exemple, dans son étude sur l'estuaire de l'Orne, Sylvie Scherrer a retenu une distance de 20 km autour du site. Dans une autre étude sur la Pointe du Raz, cette distance maximale est de 50 km.

2. L'enquête par courrier

L'enquête par courrier est l'une des méthodes d'enquête les plus utilisées, notamment dans les pays anglo-saxons.

2.1. Avantages

- Le faible coût unitaire de réalisation d'une enquête par courrier (entre 3 et 5 €) explique en grande partie le « succès » de ce mode d'enquête.
- Un autre avantage de ce mode d'enquête réside dans la possibilité de proposer des « aides visuelles » aux personnes interrogées : cartes, photographies ou dessins. Ce dernier aspect est particulièrement intéressant pour la méthode d'évaluation contingente. Par exemple, si l'on désire mesurer le consentement à payer des ménages pour une amélioration de l'état écologique d'un cours d'eau, le document transmis aux personnes interrogées peut contenir des photomontages présentant le cours d'eau avant et après la mise en place de mesures destinées à atteindre le bon état écologique.

- Les questions posées peuvent être complexes ; en particulier, le bien étudié et les changements de qualité environnementale peuvent être décrits en détail.
- Enfin, les enquêtes par courrier laissent aux personnes enquêtées le temps de réfléchir à la question de valorisation et donc de construire leur réponse.

2.2. Inconvénients

- Une procédure de suivi doit être mise en place : envoi du questionnaire, lettre de rappel après deux semaines en cas de non-réponse, envoi d'un nouveau questionnaire après un mois en cas de non-réponse. La réception des questionnaires peut s'étaler sur une période de temps relativement longue.
- L'enquête par courrier ne permet pas une grande interactivité dans l'organisation du questionnaire. Par exemple, il est fréquent d'organiser la progression du questionnaire en fonction des réponses à certaines questions clés. Avec une enquête par courrier, de tels aiguillages doivent rester simples pour être compréhensibles. Pour la méthode d'évaluation contingente, poser une question fermée doublement bornée peut s'avérer délicat dans une enquête par courrier. Ce mode d'interrogation consiste à poser une première question de valorisation du type « Seriez-vous prêt à payer 10 € pour ... ? » et une seconde dans laquelle le montant proposé dépend de la réponse à la première question : montant plus élevé si la réponse à la première question est « oui », montant plus faible dans le cas contraire. L'enquête par courrier n'interdit pas nécessairement ce genre de questionnement mais son emploi n'est généralement pas recommandé.
- Enfin, les enquêtes par courrier peuvent souffrir d'un taux de réponse faible voir très faible (en particulier si des procédures de suivi ne sont pas mises en oeuvre). Le taux de réponse spontané au premier envoi du questionnaire est souvent de l'ordre de 10 à 20 %. Il existe toutefois différents moyens pour favoriser les réponses : inclure dans l'envoi initial une lettre à en-tête « officiel » (pour rendre l'exercice crédible) ; inclure dans l'envoi initial une enveloppe de retour timbrée et libellée à l'adresse du concepteur de l'enquête.

3. L'enquête en face-à-face

On peut distinguer deux types d'enquête en face-à-face :

- l'**enquête sur site**, surtout pour la méthode des coûts de transport
- l'**enquête au domicile des personnes interrogées**, surtout pour la méthode d'évaluation contingente.

3.1. Avantages

- Comme pour l'enquête par courrier, l'enquête en face-à-face permet de présenter aux personnes interrogées des aides visuelles.
- Elle permet une meilleure interactivité que l'enquête par courrier, mais celle-ci reste limitée.
- Pour la méthode des coûts de transport, l'enquête en face-à-face est particulièrement intéressante quand la proportion des visiteurs est faible dans la population générale. La taille de l'échantillon pour une enquête téléphonique ou une enquête par courrier auprès de la population générale devra être très grande pour obtenir un échantillon raisonnable d'utilisateurs. En revanche, l'enquête en face-à-face permet d'obtenir plus facilement et directement un échantillon correct d'utilisateurs.

3.2. Inconvénients

- L'enquête en face-à-face est le mode d'enquête le plus coûteux (entre 22 et 30 € TTC pour une interview de 12 minutes sur site).
- Pour la méthode des coûts de transport, l'enquête en face-à-face présente au moins trois autres inconvénients.

Le premier réside dans la représentativité de l'échantillon : où interroger les personnes ?
A quelle période de l'année et de la semaine faut-il conduire l'enquête ?

Un deuxième inconvénient provient du fait que l'on interroge uniquement des visiteurs du site étudié.

Il en résulte un problème de stratification endogène que l'on peut décrire de la façon suivante : les personnes qui visitent fréquemment le site sont plus susceptibles d'être interrogées (ce biais peut être corrigé lors de l'estimation des modèles économétriques pour déterminer la fonction de demande).

4. L'enquête téléphonique

L'enquête téléphonique occupe une position intermédiaire entre les deux modes d'enquête précédents.

4.1. Avantages

- Le coût unitaire d'un questionnaire téléphonique est plus faible que celui d'un questionnaire réalisé en face-à-face : entre 12 et 15 € TTC pour une interview d'une durée d'une dizaine de minutes.
- Ce mode d'enquête permet une meilleure interactivité que les deux autres types d'enquête.
- Pour la méthode des coûts de transport, l'enquête téléphonique permet d'interroger des visiteurs et des non-visiteurs d'un site naturel.

4.2. Inconvénients

- Ce mode d'interrogation ne permet pas de proposer des aides visuelles aux personnes interrogées.
- Il limite aussi la complexité des questions et des descriptifs qui peuvent être proposés aux personnes interrogées.
- Pour la méthode d'évaluation contingente, l'enquête téléphonique n'est sans doute pas adaptée à un système de carte de paiement.

5. Bilan

Jusqu'à présent, les études réalisées par la D4E ont reposé uniquement sur des enquêtes téléphoniques et des enquêtes en face-à-face (réalisées sur site).

- Le **NOAA Panel**, groupe d'économistes réuni par la **National Oceanic and Atmospheric Administration** suite à une controverse sur la méthode d'évaluation contingente dans le cadre du naufrage de l'**Exxon Valdez**, a **recommandé** en 1993 **l'utilisation d'enquêtes en face-à-face pour la méthode d'évaluation contingente**. Néanmoins, le coût élevé de ce type d'enquête rend son utilisation difficile quand le nombre d'entretiens à réaliser est grand.

- **L'enquête téléphonique semble un bon compromis tant que les questions posées ne sont pas trop complexes.** La réalisation d'une enquête téléphonique est généralement confiée à un bureau d'études spécialisé dans ce type d'enquête.
- Enfin, **les enquêtes par courrier peuvent être réalisées beaucoup plus facilement en interne** que les deux autres modes d'enquête. Néanmoins, le **taux de réponse** est généralement **faible** (ce qui limite l'avantage en termes de coût de ce mode d'enquête) et ce mode d'enquête souffre d'un **problème de représentativité** de l'échantillon.

Quelle que soit la méthode retenue, **il convient toujours de procéder à un test** (ou pilote) auprès d'une dizaine de personnes. Ce test permet de

- s'assurer de la bonne compréhension du questionnaire par les personnes enquêtées
- vérifier la durée de l'entretien
- détecter les éventuelles maladresses dans la formulation des questions ou les erreurs d'aiguillages.

Le tableau 2 présente un classement (du plus favorable au moins favorable) des différents modes d'enquête selon trois critères : coût, complexité des questions et complexité du questionnaire (filtres, ...).

Coût unitaire	Complexité des questions		Complexité du questionnaire
1.	Courrier	Courrier	Téléphone
2.	Téléphone	Face-à-face	Face-à-face
3.	Face-à-face	Téléphone	Courrier

Classement des différents modes d'enquête (par ordre décroissant)

ANNEXE 8

Questionnaires

1. La méthode des coûts de transports

L'une des premières étapes de l'élaboration du questionnaire d'enquête réside dans l'identification des variables explicatives du modèle statistique, c'est-à-dire des facteurs explicatifs du niveau de fréquentation du site.

1.1. Les déterminants de la fréquentation du site

Il est absolument indispensable d'inclure la variable coût de transport dans le modèle.

Les variables suivantes peuvent expliquer le nombre de visites effectuées sur le site étudié :

- coût de transport
- variable(s) prenant en compte les **sites substitués**
- revenu
- âge
- **activité pratiquée** sur le site (sous formes de variables indicatrices)
- interaction coût de transport - activité pratiquée (le cas échéant)
- **nombre d'enfants** dans la famille
- catégorie socio-professionnelle de la personne interrogée

1.2. La structure du questionnaire

Un questionnaire pour la méthode des coûts de transport comprend généralement les éléments suivants :

- une partie introductive présente notamment les objectifs de l'étude
- questions sur les **activités pratiquées** sur le site, notamment activité principale
- questions sur le **nombre de visites** effectuées au cours des douze derniers mois (par exemple)
- questions sur la **dernière visite** effectuée sur le site : temps passé sur le site, dépenses effectuées, mode de transport utilisé pour se rendre sur le site, ...
- questions permettant d'identifier les visites à but unique et les visites à buts multiples
- questions sur les caractéristiques du ménage.

2. La méthode d'évaluation contingente

Le bien ou le milieu naturel sur lequel porte la valorisation, ou la mesure environnementale de préservation ou de restauration que l'on cherche à évaluer, doivent être décrits sans ambiguïté au début du questionnaire.

Les personnes sont ensuite directement interrogées sur la somme qu'elles seraient prêtes à payer pour la conservation, l'amélioration ou la restauration de ce bien ou ce milieu, grâce à l'exposé de scénarios fictifs destinés à les aider à formuler ces valeurs. Suivant les cas, les questions posées ont pour objectif de connaître la somme que les personnes interrogées consentiraient à payer pour bénéficier d'un avantage (accéder à un site, bénéficier d'une amélioration de la qualité d'un milieu), ou inversement qu'elles consentiraient à recevoir pour être dédommagées de la nuisance subie (atteintes à l'environnement à la suite d'une pollution, dégâts causés par un événement climatique). Dans le premier cas, la référence implicite est la situation initiale : on parle alors de variation compensatrice du revenu ou de consentement à payer (CAP). Dans le second cas, le changement est apprécié par rapport à la situation finale : on parle alors de variation équivalente du revenu ou de consentement à recevoir (CAR).

La construction du scénario hypothétique et le choix du support de paiement proposé dans ce cadre requièrent un soin particulier. La qualité d'un exercice d'évaluation dépend en effet de la faculté des personnes à formuler la vraie valeur qu'elles accordent à l'objet de l'évaluation, et de leur volonté de la révéler. Le scénario doit être crédible, sous peine de provoquer des réponses sans signification (valeurs de CAP nulles ou au contraire très élevées, dues à un comportement de protestation ou à la méconnaissance du bien à valoriser). Il doit décrire le support de paiement par lequel les individus sont supposés payer, de façon claire pour éviter toute ambiguïté, crédible pour éviter les biais stratégiques et acceptable pour éviter les zéros de protestation. Pour cela, il doit être en rapport avec le problème et familier aux personnes interrogées. En outre, elles doivent comprendre qu'il ne s'agit pas d'indiquer une valeur générale ou un « juste prix », mais bien ce qu'elles seraient personnellement prêtes à payer. Il convient également d'**insister sur le fait que le scénario est bien imaginaire**, et que les valeurs que l'on obtiendra seront contingentes à ce scénario et ne correspondront à aucun paiement effectif.

Le choix doit être fait entre plusieurs mécanismes de révélation des préférences. Quatre approches sont possibles, présentant chacune des avantages et des inconvénients.

- Le **système d'enchères** (montantes ou descendantes) présente l'inconvénient majeur de fournir des résultats très dépendants du premier montant proposé. En outre, il ne peut être appliqué que par interview directe et nécessite un échantillon important. Il est ainsi de moins en moins utilisé.
- La **question ouverte**, du type « Combien accepteriez-vous de payer ? » offre, quant à elle, l'avantage de ne pas influencer le répondant. Lorsque les enquêtés sont parfaitement familiers avec le bien à valoriser, ce mode d'interrogation donne de bons résultats.
- En revanche, lorsque ce n'est pas le cas, le taux de non-réponses ou de réponses non plausibles est souvent élevé. Il est alors préférable d'utiliser le système de la **carte de paiement** où l'on présente à la personne interrogée une liste de montant entre lesquels on lui demande de choisir celui qu'elle accepte de payer. Pour ne pas influencer l'enquêté, et donner des résultats fiables, ce système suppose qu'un soin particulier ait été apporté à la détermination des valeurs proposées : intervalle de valeurs suffisamment large, valeurs proposées ni trop, ni trop peu nombreuses, bornes encadrant une majorité des vraies valeurs... Il doit aussi prévoir la possibilité de donner un montant différent de ceux proposés.
- Une dernière possibilité consiste à proposer à l'enquêté un **montant aléatoire**. S'il accepte, son CAP est supérieur : s'il refuse, il est inférieur. L'enquêteur propose un montant différent, tiré de façon aléatoire, à chaque interview. On peut en déduire la courbe donnant le pourcentage d'individus ayant un CAP supérieur à un montant donné. C'est le système de la question fermée, qui présente le double avantage de simplifier le travail d'enquête et de pouvoir être appliquée pour n'importe quel type d'enquêtes (voie postale, téléphonique ou interview directe). En revanche, l'analyse économétrique des réponses est délicate et nécessite un échantillon plus grand pour obtenir une même fiabilité.

Au total, aucun système n'apparaît supérieur à tous les autres dans tous les cas. Le choix effectué sera notamment le résultat d'un compromis entre le budget dont on dispose et le nombre d'observations minimum nécessaires, d'un arbitrage entre l'information que l'on accepte de donner aux enquêtés pour les aider à formuler leur valeur et le risque de biais qui en découle, et de la plus ou moins grande familiarité de la population interrogée avec l'objet de l'évaluation. Pour mieux comprendre la logique sous-tendant la formation des valeurs exprimées, et ainsi contrôler le bien-fondé de la démarche d'évaluation contingente, il

convient de rechercher les facteurs explicatifs des CAP ou CAR, grâce à la mise en œuvre de techniques économétriques adaptées au type de questions posées. Les recherches en ce domaine ont montré qu'il est nécessaire pour cela de disposer des caractéristiques socio-économiques du répondant (revenu, âge, profession, situation familiale, etc.) et de mesures de son intérêt à l'égard du bien à évaluer (proximité, fréquentation, ...). Les caractéristiques socio-économiques sont également utiles pour contrôler la représentativité de l'échantillon, et se révéleront indispensables si l'évaluation sert de base pour un transfert de bénéfices.

Le coeur du questionnaire dans une étude d'évaluation contingente est un « scénario » qui décrit toutes les informations sur le bien environnemental que l'on cherche à valoriser, comment le bien étudié sera financé.

La présentation de ces informations peut être regroupée en trois grandes étapes :

- Description du bien valorisé
- Description de la façon dont le bien sera fourni
- Description des conditions du paiement.

2.1. La description du bien valorisé

Cette partie du questionnaire présente une description des changements de qualité environnementale mis en évidence lors de la première étape. Cette information se présente sous une forme écrite (enquête par courrier) ou orale (enquête téléphonique) et peut être accompagnée de graphiques, photographies, dessins (sauf pour l'enquête téléphonique) afin de faciliter la compréhension des personnes interrogées.

2.1.1. Neutralité de la description

Les informations transmises aux personnes interrogées doivent être aussi neutres que possible.

Ainsi, **la description du changement étudié ne doit pas orienter les réponses des personnes interrogées dans un sens ou dans un autre**. La description du bien évalué doit être rédigée de telle sorte que toutes les personnes impliquées dans le projet la reconnaissent comme exacte.

Dans les situations dans lesquelles le choix approprié est incertain, il faut suivre une stratégie conservatrice. Pour cela, il est d'abord nécessaire d'identifier la direction qui va à l'encontre des intérêts apparents du promoteur de l'étude. En second lieu, quand on est confronté à des choix incertains, il faut choisir ceux qui conduisent dans cette direction. *In fine*, l'objectif est de présenter le bien étudié d'une façon qui soit perçue par tous comme juste et exacte, et d'obtenir une présentation qui soit telle que si d'aventure elle favorisait une attitude il s'agisse d'une sous-estimation plus que d'une surestimation du consentement à payer.

2.1.2. Une description suffisante pour assurer la bonne compréhension

Généralement, les informations transmises aux personnes interrogées sont incomplètes, soit en ce qui concerne la description de la situation actuelle, soit en ce qui concerne la nouvelle situation qui résulterait de la variation de la qualité de l'environnement. Si les personnes doivent imaginer le changement que l'on évalue, alors il est très vraisemblable que les différentes personnes interrogées auront des perceptions très différentes. Cela réduit la crédibilité des valeurs estimées et rend délicat le transfert ultérieur des valeurs obtenues.

Ainsi, il est nécessaire de décrire précisément le bien et le changement évalués, les services fournis et leurs conséquences pour les personnes interrogées.

Lors de la rédaction d'un questionnaire d'évaluation contingente, il y a toujours un compromis à trouver entre rendre le scénario aussi court que possible pour minimiser la fatigue des personnes interrogées, et aussi long que nécessaire pour s'assurer qu'elles ont toutes les informations dont elles ont besoin pour évaluer le bien et le contexte dans lequel il sera fourni.

En pratique, **la description** ne doit pas nécessairement être longue et exhaustive, mais **doit fournir les éléments nécessaires à la bonne compréhension** des personnes interrogées. La formulation même de la description doit être étudiée avec soin, en évitant notamment les termes « techniques ».

L'usage de cartes ou de photographies peut s'avérer utile pour faciliter cette compréhension. Certaines études montrent toutefois que les personnes interrogées ont parfois tendance à examiner attentivement les éléments visuels afin de détecter des indices sur les bonnes réponses à fournir.

2.2. Description de la façon dont l'amélioration de la qualité environnementale est obtenue

La seconde partie de l'ensemble d'informations présenté aux personnes interrogées **décrit la façon dont l'amélioration de la qualité environnementale sera obtenue**. Par exemple, supposons que l'on cherche à mesurer la valeur accordée par la collectivité à la protection des points de captage d'eau. Une méthode pour améliorer la qualité environnementale est de mettre en place des périmètres de protection autour de ces points de captage. Dans le questionnaire, ce mode de protection doit être explicitement décrit (en indiquant par exemple l'étendue du périmètre) et relié à la présentation du changement de qualité.

Dans certains cas où l'on souhaite évaluer une mesure précise déjà conçue, la méthode permettant d'atteindre une meilleure qualité a déjà été déterminée et peut être utilisée dans le scénario d'évaluation contingente.

En règle générale, plus le moyen par lequel le bien (amélioration de la qualité) sera fourni est compliqué, plus les personnes interrogées auront besoin de dessins ou de photographies pour comprendre le mécanisme décrit.

2.3. Description des conditions du paiement

2.3.1. *Choix du support de paiement*

La panoplie des supports de paiement que l'on peut utiliser dans une étude est assez large : supplément d'impôts, supplément d'impôts locaux, droit d'entrée, droit de stationnement, facture d'eau (électricité, ...), supplément de coût de transport, don à un fonds spécifique, ...

Chacun de ces supports de paiement présente avantages et inconvénients. **Le choix de l'un d'eux nécessite souvent de procéder à un arbitrage entre réalisme et risque de rejet.**

Ainsi, quand le réalisme du support augmente, il est aussi possible que la probabilité que le support soit rejeté augmente (c'est-à-dire suscite des réponses de protestation). Par exemple, si l'on cherche à valoriser les bénéfices de la protection des eaux souterraines, une

augmentation de la facture d'eau peut être un support de paiement réaliste, mais certaines personnes peuvent fournir une réponse de protestation dans la mesure où elles sont hostiles à toute augmentation de leur facture d'eau.

Toutefois, si le support de paiement n'est pas réaliste, cela peut aussi susciter des réponses de protestation. Par exemple, les personnes interrogées peuvent rejeter l'exercice de valorisation, même si elles accordent une valeur au bien étudié, car elles estiment que le support de paiement n'est pas crédible. Par ailleurs, certains supports de paiement (droit d'entrée, don par exemple) peuvent inciter les personnes interrogées à fournir une valeur qu'elles estiment raisonnable et non la valeur qu'elles accordent véritablement au bien étudié.

2.3.2. Choix d'une règle de décision

La règle de décision décrit comment sera prise la décision de fournir (ou non) le bien que l'on étudie, c'est-à-dire de mettre en oeuvre les mesures améliorant la qualité de l'environnement. De nombreuses études ne mentionnent pas explicitement cette règle aux personnes interrogées.

Une règle de décision usuelle est la formulation de la question de valorisation sous la forme d'un référendum. La règle de décision est que les mesures d'amélioration de la qualité du milieu seront mises en oeuvre si 50 % au moins des personnes interrogées acceptent de contribuer. Par exemple, la formulation d'une question fermée avec référendum pourrait être du type : « Si un référendum était organisé pour décider de la réalisation de ce projet et si l'augmentation d'impôts locaux était de X € pour voter foyer, voteriez-vous pour ou contre ce projet ? ».

Le choix d'une règle de décision est étroitement lié au support de paiement. On peut, par exemple, utiliser une règle de décision de type référendum quand on cherche à étudier un bien public (comme la protection des eaux souterraines) et que le support de paiement est un supplément d'impôts.

Dans la mesure du possible, **il est conseillé d'utiliser une règle de décision de type référendum quand on utilise une question fermée.** Dans les autres cas, la marge de manoeuvre est plus grande ; la règle de décision peut ne pas être explicitée dans le questionnaire.

2.3.3. *Choix d'un cadre temporel pour le paiement*

Cette étape consiste à indiquer aux personnes interrogées le nombre de paiements qu'elles devront effectuer, ainsi que la fréquence de ces paiements. Plusieurs cadres temporels sont possibles : paiement une fois pour toutes, paiement à chaque fois que l'on participe à une activité, paiement tous les ans à vie, paiement annuel pendant x années.

Le paiement une fois pour toutes suppose que les personnes interrogées procède à un calcul d'actualisation pour fournir une valeur qui capitalise tous les bénéfices présents et futurs apportés par la mesure étudiée. Ce calcul d'actualisation est susceptible d'exiger un effort cognitif important pour les personnes interrogées, notamment dans les enquêtes téléphoniques.

Il est plutôt conseillé d'utiliser un paiement annuel pendant une durée donnée (5 ou 10 ans, par exemple). Le choix de la période (5 ans, 10 ans, ...) est laissé à l'appréciation du maître d'ouvrage.

2.4. La question de valorisation

2.4.1. *Présentation des différents modes de révélation de la valeur*

Dans la méthode d'évaluation contingente, afin que les personnes interrogées révèlent la valeur qu'elles accordent au changement de qualité environnementale envisagé dans le scénario proposé, il est nécessaire de choisir le **mode de révélation** de cette valeur. **Plusieurs solutions sont envisageables** ; elles sont, pour la plupart, présentées dans ce document. Ces différentes méthodes sont :

- la **question ouverte**. La question posée aux personnes interrogées est du type : « Combien seriez-vous prêt à payer au maximum pour ... ? ».
- la **question fermée**. La question posée est du type : « Seriez-vous prêt à payer X euros pour ... ? » où X varie selon les personnes interrogées (au total, 5 à 8 valeurs sont généralement proposées).

La **double question fermée** constitue une variante de ce mode d'interrogation. Elle consiste à faire suivre cette question d'une autre qui dépend de la réponse à la première. Par exemple, si la personne répond « oui » à la première question, on lui propose (toujours sous

forme de question fermée) un montant plus élevé. En revanche, si la réponse à la première question est négative, le montant proposé dans la seconde question est plus faible.

- le **système d'enchères** reprend le mode de révélation précédent en proposant plusieurs montants jusqu'à ce que la personne interrogée réponde « non ». Il n'est plus beaucoup utilisé aujourd'hui.
- la **carte de paiement** consiste à proposer une liste de valeurs (souvent entre 10 et 15 valeurs) et à inviter la personne interrogée à indiquer le montant maximal qu'elle serait prête à payer, ou l'intervalle contenant ce qu'elle serait prête à payer. Une variante plus élaborée de la carte de paiement a été récemment développée : elle intègre la possibilité pour la personne interrogée d'indiquer le degré de certitude par rapport à son paiement réel.

2.4.2. Critères de comparaison des différentes modes de révélation de la valeur

Bien que les questions fermées soient les plus couramment utilisées, chacun des principaux modes de révélation présente des points forts et des points faibles (tableaux 3 et 3

Caractéristiques	Question ouverte	Carte de paiement	Question fermée
Incite à la révélation honnête des valeurs	Non	Non	A certaines bonnes propriétés
Nécessité de choisir les montants proposés	Non	Oui	Oui
Type de réponse	Continue	Intervalle	Intervalle
Problèmes potentiels	Zéros, non-réponses	Ancrage	Ancrage, « yea-saying*»

* On parle de "yea-saying" quand une personne répond "oui" au montant qu'on lui propose pour faire plaisir à l'enquêteur, alors même que son véritable consentement à payer est inférieur à ce montant

bis).

Comparaison des différents modes de révélation de la valeur

Méthode	Incitation à la révélation	Effort cognitif	Risque d'ancrage	Taille d'échantillon (relative) requise
Question ouverte	Faible	Elevé	Aucun	La plus faible
Question fermée	Très élevée	Très faible	?	La plus élevée
Double question fermée	?	Modéré	Elevé	Elevée
Système d'enchères	Faible	Modéré	Elevé	Modérée
Carte de paiement	Elevée	Modéré	?	Faible

Caractéristiques des différents modes de révélation de la valeur

2.4.2.1. Premier critère : les comportements stratégiques

Plusieurs éléments théoriques suggèrent que la nature « A prendre ou à laisser » de la **question fermée**, quand la règle de décision est le référendum, confère à ce type de questions de **bonnes propriétés en ce qui concerne la révélation honnête des préférences**. Les personnes interrogées ne peuvent exprimer leur valeur que par référence à un unique montant qui leur est proposé ; elles n'ont pas la possibilité de choisir un montant très élevé ou un montant très bas pour influencer l'exercice de valorisation. Ce n'est pas le cas de la question ouverte ou de la carte de paiement. En effet, avec ces deux modes de révélation, les personnes qui souhaitent une amélioration de la qualité du milieu peuvent indiquer une valeur très élevée (et plus élevée que leur consentement à payer réel) afin d'influencer la décision de mettre en oeuvre une mesure permettant l'amélioration du milieu.

2.4.2.2. Deuxième critère : la facilité de mise en œuvre

Pour utiliser la question fermée et la carte de paiement, il est nécessaire de choisir les montants qui seront proposés aux personnes interrogées. Les paragraphes IX. 7 et XII. 2 abordent en détail cette question.

2.4.2.3. Troisième critère : l'efficacité statistique

Si l'on suppose que chaque personne révèle la vraie valeur qu'elle accorde au changement de qualité environnementale étudié, alors une personne dont la valeur est de 25 € répondra de la façon suivante aux trois principaux modes de révélation :

- sa réponse à la question ouverte sera 25 € ;
- réponse à une question fermée avec un montant de 20 € sera « oui » ;
- sa réponse à une question de carte de paiement où on lui demande le montant maximum qu'elle serait prête à payer parmi les montants 5,10,15, 20 et 30 € sera 20 €.

Ainsi, avec la question fermée, la seule chose que nous savons est que la personne a un consentement à payer supérieur à 20 €. Avec la carte de paiement, nous savons que le consentement à payer se situe entre 20 et 30 €. La question ouverte fournit donc le plus d'information sur le consentement à payer de la personne interrogée. Cela signifie que, pour

une même taille d'échantillon, **la question ouverte fournit l'estimation la plus précise de la valeur accordée au bien**, en supposant que toutes les personnes répondent honnêtement²³.

2.4.2.4. Quatrième critère : les problèmes potentiels

Si l'on fait abstraction des questions de révélation honnête des préférences (évoquées au point V. 2.1), **la question ouverte génère souvent un nombre élevé de valeurs nulles, ainsi que de non-réponses**. Ce phénomène pourrait provenir de la difficulté qu'ont les personnes interrogées à fournir une valeur précise pour un bien qu'elles n'ont pas l'habitude de valoriser. Une illustration de cette difficulté est que les valeurs fournies par les personnes interrogées sont souvent des « chiffres ronds » (5, 10, 15, 20,... €).

Avec la question fermée, certaines personnes interrogées ont tendance à accepter le montant qui leur est proposé, quel que soit ce montant. Ce problème, qualifié de « yea-saying », donne lieu à une estimation biaisée du consentement à payer.

La carte de paiement supprime le biais d'ancrage et le problème de « yea-saying » car les personnes interrogées ne doivent plus se concentrer sur une seule valeur. En revanche, la sélection des montants proposés, en particulier pour les valeurs faibles et élevées, affecte les estimations du consentement à payer. Par exemple, certaines personnes dont le consentement à payer se situe en dessous de la plus petite valeur proposée ont tendance à accepter de payer le montant le plus faible.

2.4.3. Avantages et inconvénients des différents modes de révélation

Ce paragraphe reprend l'essentiel des éléments développés dans le paragraphe précédent, mais le point de vue est ici centré sur le mode de révélation de la valeur (et non sur les critères de comparaison).

2.4.3.1. Question ouverte

La question ouverte permet d'obtenir une même **précision** qu'une question fermée à partir d'un échantillon de plus faible taille. **Les informations sur le consentement à payer sont obtenues directement**. Le consentement à payer moyen peut ainsi être calculé directement par une simple moyenne empirique. En revanche, la question ouverte n'incite pas

²³ Cette hypothèse est peut-être forte, voir la discussion relative au critère 1.

les personnes interrogées à révéler honnêtement la valeur qu'elles accordent au bien environnemental étudié. Par ailleurs, elle favorise la **non-réponse** à la question sur le consentement à payer dans la mesure où il est plus difficile de répondre à cette question qu'à une simple question « oui/non ».

2.4.3.2. Question fermée simple

Les **consentements à payer** obtenus par les questions fermées sont généralement **plus élevés** que ceux provenant d'une question ouverte. Ce phénomène a été attribué au « **yea-saying** », provenant soit d'une volonté qu'un vote en faveur de l'environnement soit enregistré, soit d'un désir de plaire à l'enquêteur. **L'efficacité statistique** des questions fermées simples est **relativement faible** par rapport aux questions ouvertes.

2.4.3.3. Double question fermée

Dans la mesure où chaque personne interrogée fournit une réponse à deux questions de valorisation, l'information sur les préférences est plus complète. Il en résulte un **gain d'efficacité par rapport aux questions fermées simples**. En revanche, ce type de question pourrait faire l'objet d'un **biais d'ancrage**, de biais liés à des effets d'apprentissage. Enfin, les questions d'incitation sont mal connues pour les doubles questions fermées.

2.4.3.4. Carte de paiement

Une des tendances actuelles dans les modes de révélation de la valeur est de proposer une échelle de paiement dans laquelle les personnes interrogées peuvent **exprimer l'incertitude** dans laquelle elles se trouvent par rapport à leur volonté de payer l'un des montants proposés.

2.4.3.5. Bilan

Il n'y a, à l'heure actuelle, aucun consensus sur la meilleure approche pour obtenir la valeur d'un bien.

La question fermée, présentée sous la forme d'un référendum, est **souvent considérée comme l'approche la plus sûre** dans la mesure où son utilisation a été recommandée par un

groupe d'économistes réuni par la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

Même si le questionnaire final propose une question fermée ou une carte paiement, **l'utilisation de la question ouverte s'avère toujours nécessaire au moins dans une phase exploratoire de l'enquête**. En effet, le choix des montants proposés avec ces deux types de question repose sur des informations préalables sur la distribution statistique du consentement à payer, informations que seule la question ouverte peut fournir.

La carte de paiement paraît constituer un bon compromis entre les deux autres modes de révélation. Il faut toutefois noter que l'utilisation d'une carte de paiement dans une enquête téléphonique n'est pas possible.

Dans certaines études, plusieurs modes de révélation sont combinés. Par exemple, une double question fermée est d'abord proposée. Ensuite, une question fermée est utilisée pour obtenir une estimation plus précise du consentement à payer des personnes interrogées. Cet enchaînement des questions est, en revanche, susceptible de créer un biais d'ancrage.

Si la simplicité de mise en oeuvre et de traitement statistique et une faible taille d'échantillon sont les critères privilégiés par le maître d'ouvrage, alors il faut adopter une question ouverte.

2.4.4. Les autres questions

2.4.4.1. Les questions socio-économiques

Il est important de **prévoir l'inclusion de questions socio-économiques** dans le questionnaire. En particulier, les variables suivantes se sont souvent révélées être des bons prédicteurs de l'acceptation de payer et du niveau du consentement à payer :

- le niveau de revenu
- l'âge des personnes interrogées
- la profession du chef de famille
- le nombre d'enfants.

Dans les enquêtes statistiques, **une question délicate est toujours celle du revenu** des personnes interrogées. En effet, le concept de revenu est difficile à cerner précisément : faut-il inclure les revenus de transfert (allocations familiales, par exemple), les revenus de l'épargne et du patrimoine ? Par ailleurs, une crainte relativement fréquente est d'obtenir un taux de non-réponses élevé à cette question. Cela pourrait conduire à ne pas demander aux personnes interrogées le niveau de leurs revenus, ce qui n'est pas souhaitable pour au moins deux raisons :

- d'un point de vue théorique, le revenu permet de contrôler la validité des estimations obtenues
- d'un point de vue pratique, le taux de non-réponses à la question sur les revenus est en général relativement faible.

Par conséquent, cette question doit toujours être incluse dans le questionnaire.

En outre, dans les modèles économétriques explicatifs du consentement à payer, une variable indicatrice correspondant à la modalité « non-réponse » de la variable revenu est généralement incluse afin de déterminer l'impact de cette réponse sur le montant du consentement à payer.

2.4.4.2. Les questions sur les caractéristiques des visites et l'opinion sur l'environnement

Lors de la rédaction du questionnaire, il convient également d'interroger les personnes sur les caractéristiques de leurs visites (fréquence, activité pratiquée, ...), ainsi que sur leur opinion vis-à-vis du site et/ou de l'environnement en général. Cette question permet d'étudier la façon dont les opinions et les perceptions influencent la formation du consentement à payer.

2.4.4.3. La question de suivi destinée à identifier les vrais et les faux zéros

Dans de nombreuses enquêtes d'évaluation contingente, un pourcentage élevé de personnes interrogées expriment un consentement à payer (ou à recevoir) égal à 0 pour le bien ou service considéré. Parmi ces réponses, on distingue les vrais zéros et les faux zéros.

2.4.4.3.1. Les vrais zéros

Il est possible que les personnes déclarant une valeur nulle soient réellement indifférentes au bien étudié. Il s'agit de « **vrais zéros** » : **la valeur 0 correspond réellement à la valeur accordée à la nuisance** (ou à l'aménité, selon les cas). **Cette valorisation correspond à une situation dans laquelle les personnes répondant 0 estiment que leur niveau d'utilité restera inchangé si le programme proposé est mis en oeuvre.**

Deux motivations permettent généralement de caractériser les vrais zéros.

- Un vrai zéro peut être déclaré par une personne qui estime que les bénéfices (ou nuisances) procurés (ou causés) par le bien considéré sont insuffisant(e)s pour motiver le paiement. Cela signifie bien que la valeur nulle annoncée correspond à une variation d'utilité nulle entre la situation sans le bien et la situation avec le bien.
- Si une personne met en avant un niveau de revenu insuffisant pour justifier son refus de payer, on considère qu'il s'agit aussi d'un vrai zéro. En effet, si les personnes interrogées refusent de payer, cela signifie qu'elles ne sont pas prêtes à renoncer à une partie de leurs autres consommations pour disposer du bien environnemental. Elles accordent donc une valeur faible ou nulle à ce bien.

2.4.4.3.2. Les faux zéros

Néanmoins, une valeur nulle peut aussi être déclarée par des personnes qui, dans d'autres parties du questionnaire, expriment un intérêt pour le bien. Dans ce cas, on parle de « **faux zéros** » : **la valeur nulle déclarée ne correspond pas à la vraie valeur accordée au changement contingent proposé.** Plusieurs raisons peuvent expliquer ce comportement : comportement de passager clandestin (*free rider*), réaction hostile à l'entretien ou au véhicule de paiement adopté. Dans ce cas, la valeur individuelle est, en fait, manquante car l'individu ne révèle pas son véritable consentement à payer (ou à recevoir).

De façon systématique, il est indispensable de proposer, après la question sur le consentement à payer, une **question de suivi destinée à identifier les vrais et les faux zéros**.

Cette question permet ensuite de procéder à des calculs empiriques distinguant consentements à payer strictement positifs, vrais et faux zéros.

Dans l'enquête sur les usages récréatifs du Loir, les personnes déclarant un consentement à payer nul ont été interrogées sur les raisons de leur refus de payer. Elles avaient le choix entre plusieurs propositions. Le tableau présente ces différentes explications. Les raisons 2, 3, 6, 9 et 10 correspondent à des vrais zéros, les autres à des faux zéros.

Motivations des réponses égales à 0

1	Ce n'est pas à moi de payer
2	Il n'est pas nécessaire de modifier l'état de cette rivière
3	Mes moyens financiers ne me le permettent pas
4	Je n'ai pas assez d'informations pour me décider
5	J'ai peur de payer pour les autres
6	Cela m'empêchera de pratiquer mes activités
7	Je paye déjà un permis de pêche
8	Je paye déjà pour pratiquer une activité de loisir
9	Je ne veux pas que la rivière soit modifiée
10	Je ne me sens pas concerné
11	Autres raisons
12	Ne se prononce pas

Motivations des réponses égales à 0

ANNEXE 9

Questionnaires proposés

ANNEXE 10

Les modèles économétriques

1. La méthode des coûts de transport

1.1. Estimer le modèle

1.1.1. *Modèle statistique utilisé pour l'enquête téléphonique*

L'enquête téléphonique permet d'interroger à la fois des usagers d'un site naturel (visiteurs, pêcheurs, ...) et des non-usagers (c'est-à-dire des personnes qui ne se rendent jamais sur le site étudié). La méthode des coûts de transport consiste à estimer une fonction de demande reliant le nombre de visites effectuées sur le site à un ensemble de variables explicatives.

Formellement, notons n_i la variable aléatoire égale au nombre de visites effectuées par l'individu i et x_i le vecteur ligne de ses caractéristiques individuelles (coût de transport, sexe, âge, activité pratiquée sur le site, revenu, ...).

La façon la plus simple de modéliser la demande consiste à **supposer que toutes les observations peuvent être décrites par le même processus stochastique** : toutes les observations sont des réalisations d'une même variable aléatoire.

Les modèles de comptage sont particulièrement intéressants pour la méthode des coûts de transport car ils permettent de modéliser des variables aléatoires discrètes et positives, ce qui est précisément le cas du nombre de visites.

■ Le modèle de Poisson est le modèle de comptage de base

Chaque n_i est une réalisation d'une loi de Poisson de paramètre λ_i qui dépend des variables explicatives x_i :

$$\forall k \geq 0, P(n_i = k / x_i) = e^{-\lambda_i} \frac{\lambda_i^k}{k!}$$

La formulation la plus courante pour le paramètre λ_i est semi-logarithmique : $\lambda_i = \exp(x_i \beta)$.

L'espérance et la variance du nombre de visites (par période) sont égales au paramètre λ_i

:

$$E[n_i / x_i] = Var[n_i / x_i] = \lambda_i = \exp(x_i \beta)$$

Ce modèle est estimable facilement à partir des procédures préprogrammées dans la plupart des logiciels statistiques.

■ En pratique, comment traiter les non-visiteurs ? Deux solutions :

Calculer le coût de transport que les non-visiteurs subiraient s'ils se rendaient sur le site, sur la base de la distance entre leur domicile et le site étudié. On applique alors le modèle présenté précédemment.

Supprimer les non-visiteurs et modifier le modèle économétrique pour tenir compte de cette suppression. Le modèle s'écrit alors :

$$\forall k \geq 1, P(n_i = k / x_i, n_i > 0) = e^{-\lambda_i} \frac{\lambda_i^k}{(1 - e^{-\lambda_i})k!}$$

Ce modèle n'est pas estimable directement à partir de procédures préprogrammées.

1.1.2. Modèle statistique utilisé pour l'enquête sur site, en face à face

Comme cela a été indiqué au paragraphe IV. 1, les enquêtes sur site souffrent notamment d'un **problème de stratification endogène et d'une troncature en 0 du nombre de visites** (seules les personnes ayant un nombre de visites supérieur ou égal à 1 sont interrogées). En effet, quand l'échantillon provient d'une enquête sur site, les individus qui se rendent très fréquemment sur ce site ont une probabilité plus forte d'être interrogés. Si ces deux biais ne sont pas corrigés, alors l'extrapolation à la population générale du bien-être retiré par les visiteurs lors de leur visite du site sera biaisée.

Un modèle a été développé pour corriger simultanément le problème de données tronquées et la stratification endogène (Shaw, 1988). Pour le modèle de Poisson, la densité corrigée est :

$$\forall k \geq 1, P(n_i = k / x_i) = e^{-\lambda_i} \frac{\lambda_i^{k-1}}{(k-1)!}$$

L'estimation de ce modèle de Poisson corrigeant la stratification endogène est aussi simple que celle du modèle de Poisson standard présenté dans le paragraphe précédent. Il

suffit, en effet, d'utiliser les procédures d'estimation des modèles de Poisson programmées dans les logiciels en utilisant comme variable expliquée le nombre de visites moins 1.

1.2. Calculer la valeur d'usage

Le surplus du consommateur mesure le bien-être des visiteurs lié à l'existence du site, c'est-à-dire la valeur d'usage du site.

1.2.1. Cas général

Le **surplus du consommateur par visite** (SC^V) et le **surplus du consommateur par an** (SC^a) pour une personne peuvent être calculés au moyen des formules suivantes, où β_{CT} est le coefficient correspondant au coût de transport :

$$SC_i^V = -\frac{1}{\beta_{CT}} \text{ et } SC_i^a = -\frac{\lambda_i}{\beta_{CT}}$$

1.2.2. Valeur par activité

Si l'on souhaite calculer un **surplus par type d'activité**, alors deux solutions sont possibles :

■ si le nombre d'observations (c'est-à-dire de personnes interrogées) est suffisamment grand (au moins 80 personnes par activité), alors on peut estimer un **modèle de fréquentation par activité**.

■ si le nombre d'observations est insuffisant, alors on regroupe dans un seul modèle toutes les activités. Il faut alors inclure dans le modèle un terme d'interaction entre le coût de transport et l'activité pratiquée (en complément des variables relatives au coût de transport et à l'activité pratiquée).

Le calcul de la valeur par activité dans le premier cas se fait en suivant la procédure présentée au paragraphe précédent.

Dans le second cas, on peut utiliser la démarche suivante : En notant β_{CT*Act} le coefficient associé à cette interaction, le surplus se calcule alors de la façon suivante :

$$SC^V = -\frac{1}{\beta_{CT} + \beta_{CT*Act}}$$

Par exemple, supposons que l'échantillon des personnes interrogées regroupe deux types d'utilisateurs : pêcheurs et promeneurs. On choisit une catégorie comme référence, par exemple les pêcheurs. On crée une variable indicatrice « Promeneur » qui vaut 1 si la personne interrogée est un promeneur et 0 sinon. Dans le modèle, les trois variables suivantes sont incluses : « Coût de transport », « Promeneur » et « Coût de transport * Promeneur ». La valeur du site par visite pour les pêcheurs est obtenue par les formules du paragraphe IX. 1 ; la valeur par visite pour les promeneurs est calculée à partir de la formule précédente.

1.2.3. Calcul des écarts-type du surplus du consommateur

La méthode du delta peut être utilisée pour calculer la **variance du surplus du consommateur**. Par exemple, dans le cas du surplus par visite défini au IX. 1, on a :

$$V(SC^V) = \frac{V(\beta_{CT})}{(\beta_{CT})^4}$$

où $V(\beta_{CT})$ est la variance du paramètre β_{CT} .

Dans le cas du surplus par visite et par activité défini au paragraphe IX. 2, la variance est :

$$V(SC_{Act}^V) = \frac{1}{(\beta_{CT} + \beta_{CT*Act})} [V(\beta_{CT}) + V(\beta_{CT*Act}) + 2Cov(\beta_{CT}, \beta_{CT*Act})]$$

L'écart-type ainsi calculé peut servir à calculer un intervalle de confiance pour le surplus du consommateur.

1.3. Les modèles zonaux

1.3.1. Principe

Dans sa forme originale, la méthode des coûts de transport se présentait sous la forme d'un **modèle zonal**. Aujourd'hui, les modèles de comportement individuel présentés aux paragraphes précédents sont préférés aux modèles zonaux. Ces derniers **supposent** en effet **que les comportements des individus au sein d'une même zone sont identiques**, ce qui est souvent une **hypothèse peu réaliste**.

Cette approche consiste à **construire des cercles concentriques** autour du site donné, de sorte que l'aire entre deux cercles successifs corresponde à une même distance au site et donc à un même coût de transport. Les différences en matière de visites entre les différentes zones, en tenant compte des différences de population entre zones, sont ainsi causées par des différences de coûts de transport.

1.3.2. *Modèle économétrique*

On dispose de J zones différentes. On note x_{ij} le nombre de visites effectuées par la personne i de la zone j . En principe, on chercherait à estimer un modèle pour expliquer la demande x_{ij} mais on ne dispose, avec un modèle zonal, que de données de fréquentation agrégées. On considère donc une personne représentative de la zone j dont le nombre de visites est x_j et on modélise la demande de la zone j par $X_j = N_j x_j$ où N_j est le nombre de visiteurs potentiels mesuré souvent par la population de la zone j .

Si on suppose que la demande x_j suit une loi de Poisson de paramètre λ_j , alors X_j suit une loi de Poisson de paramètre $N_j \lambda_j$. La loi de probabilité s'écrit donc :

$$P(X_j) = e^{-N_j \lambda_j} \frac{(N_j \lambda_j)^{X_j}}{X_j!}$$

De la même façon que précédemment, on a $\lambda_j = \exp(z_j \beta)$ mais les variables de z_j correspondent ici aux valeurs moyennes des variables explicatives pour la zone j . La fonction de log-vraisemblance que l'on cherche à maximiser est alors

$$\ln L = \sum_{j=1}^J \left\{ -N_j e^{z_j \beta} + X_j [\ln(N_j) + z_j \beta] - \ln(X_j!) \right\}$$

Ce modèle peut-être estimé soit en maximisant cette fonction, soit plus facilement en créant une nouvelle variable $\ln(N_j)$ et en contraignant dans le modèle usuel le coefficient de cette variable à la valeur 1.

Les données dont on a besoin pour estimer ce type de modèle sont le nombre de visites pour chaque zone, la population de chaque zone, et les valeurs des variables explicatives pour chaque zone.

L'estimation du modèle permet de calculer les surplus du consommateur pour chaque zone. La **valeur annuelle du site** pour chaque personne de la zone j est définie par

$$SC_j^a = -\frac{e^{z_j\beta}}{\beta_{CT}}$$

où β_{CT} est le coefficient correspondant au coût de transport

La valeur totale du site s'obtient en multipliant la valeur précédente par la population de chacune des zones et en additionnant les valeurs totales par zone.

2. La méthode des prix hédoniques

2.1. Quelles sont les variables explicatives à inclure dans le modèle ?

Trois types de variables explicatives influencent le prix d'un logement :

- les caractéristiques du logement
- les caractéristiques de l'environnement (au sens large)
- l'année au cours de laquelle le logement a été vendu.

2.1.1. Les caractéristiques du logement

Parmi les caractéristiques du logement, les variables suivantes sont souvent de bons déterminants du prix de vente

- superficie du logement
- superficie du terrain
- nombre de pièces
- nombre de salles de bain
- type de logement : maison, appartement
- présence d'un ascenseur (pour les appartements)
- âge de l'habitation²⁴
- présence d'équipements de "luxe" : piscine, tennis
- présence d'un garage.

²⁴ Certains travaux ont mis en évidence que cette variable pouvait être complétée par la variable « âge de l'habitation au carré » dans le modèle explicatif du prix de vente.

2.1.2. Les variables environnementales

2.1.2.1. Variables environnementales au sens large

Parmi les variables environnementales, figurent les **variables correspondant au bien étudié** mais aussi les **variables liées au quartier** (taux de chômage, revenu médian) et différentes variables d'accessibilité (comme la proximité des services publics, la proximité d'un parc urbain, d'une gare, d'un bassin d'emplois ...).

Les résultats du recensement de la population organisé par l'INSEE permettent d'obtenir des informations sur les caractéristiques des quartiers (**IRIS**) et des communes. La partie communale de ces informations est accessible gratuitement à partir du site de l'INSEE consacré au recensement (www.insee.fr rubrique « Recensement »). En revanche, les informations détaillées au niveau infra-communal (quartier) ne sont pas accessibles librement. Il est alors nécessaire de contacter la direction régionale de l'INSEE compétente pour obtenir ces données (payantes).

Concernant les variables liées à l'accessibilité, l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) est généralement possible. A cet égard, il faut noter que la plupart des bases de données relatives aux transactions immobilières contiennent des informations permettant de localiser (géo-référencer) les habitations.

Variables correspondant au bien environnemental étudié

Enfin, il faut inclure la (ou les) variable(s) représentant le **bien environnemental** que l'on cherche à étudier. Il est généralement nécessaire de construire cette variable, soit à partir de relevés sur le terrain, soit à partir d'un système d'information géographique si les données sont géo-référencées. La variable retenue doit répondre précisément aux objectifs de l'étude, aussi sa construction doit-elle être l'objet d'une **réflexion** relativement **approfondie**.

Schématiquement, on peut distinguer **deux grands types de variables** généralement utilisés pour évaluer les bénéfices ou les dommages liés à la qualité de l'environnement :

■ **variable mesurant l'état de l'environnement** (pollution par les nitrates, SO₂).

On cherche alors à mesurer l'impact d'une variation de cette concentration sur le prix d'une habitation. Cela suppose que l'on dispose de stations de mesure en nombre suffisant pour qu'à

chaque logement soit attribuée une concentration et pour que l'on dispose d'une variabilité suffisante dans la distribution des concentrations. Ce type de variable peut par exemple être utilisé pour prévoir ex ante les bénéfices d'une réduction de la concentration en polluant.

■ **variable mesurant une distance.** Si l'on cherche à mesurer les aménités procurées par la présence d'une rivière à proximité du logement, une variable intéressante peut être la distance entre le cours d'eau et chaque logement. L'utilisation de données géo-référencées favorise le calcul de telles distances. Ce type de variables peut aussi être utilisé pour mesurer l'impact d'une amélioration de la qualité du milieu en comparant l'effet de la distance sur le prix avant et après le programme d'amélioration. Il faut souligner que cette distance peut être mesurée de différentes façons : distance en mètres (ou kilomètres), distance en nombre de rues séparatrices (entre le logement et l'aménité étudiée).

2.1.2.2.L'évolution des prix de l'immobilier dans le temps

En raison de l'évolution des prix de l'immobilier dans le temps, la valeur d'un bien immobilier est étroitement liée à l'année au cours de laquelle la transaction a eu lieu. Pour procéder à une analyse toutes choses étant égales par ailleurs, il est nécessaire de tenir compte de l'évolution des prix. La façon la plus simple de procéder est d'inclure dans le modèle économétrique une variable binaire pour chaque année (sauf une qui sert de référence) qui vaut 1 si la transaction a eu lieu l'année considérée et 0 sinon.

2.2. Comment estimer un modèle hédonique ?

L'estimation d'un modèle hédonique repose, théoriquement, sur une procédure en deux étapes. En pratique, seule la première étape est considérée, ce qui est justifiée quand l'externalité (ou l'aménité) valorisée est très localisée.

2.2.1. Une estimation du modèle en deux étapes

Pour Rosen (1974), l'estimation d'un modèle hédonique se déroule en deux étapes.

■ La fonction (ou l'équation) de prix hédonique est estimée. Les prix implicites marginaux pour chacune des caractéristiques sont calculés à partir des coefficients estimés de l'équation.

■ Ces prix marginaux et les caractéristiques socio-économiques des consommateurs sont utilisés pour estimer les paramètres des équations comportementales des

consommateurs. Suivant les cas, ces équations correspondent aux équations de demande ou de demande inverse ou à la fonction d'utilité.

L'estimation de la seconde étape est rarement effectuée en pratique. Cela semble justifié lorsque les externalités sont localisées et affectent une faible proportion du marché immobilier (voir ci-dessous). Néanmoins, afin d'utiliser les résultats du modèle hédonique à des fins de transfert de valeurs, il faudrait estimer la seconde étape du modèle. Ici, seuls les éléments relatifs à l'estimation de la première étape sont présentés. Taylor (2003) présente en détail l'estimation de la deuxième étape.

2.2.2. Mesure des variations de bien-être

L'équation hédonique fournit des informations sur le **consentement à payer marginal pour une amélioration de la qualité de l'environnement** car les consommateurs maximisent leur utilité en égalisant le taux marginal de substitution entre la caractéristique et le numéraire au prix marginal estimé par l'équation de prix hédonique.

On a montré que les bénéfices des aménités (telles qu'une amélioration de la qualité de l'air) pouvaient être estimés à partir de l'équation hédonique dans le cas d'un modèle urbain de petite ville ouverte. Par ailleurs, Palmquist (1992) montre que le consentement à payer pour un changement environnemental peut être déterminé à partir de l'estimation du modèle hédonique dans le cas d'une externalité « localisée ». Une externalité localisée affecte seulement un petit nombre de propriétés dans le marché, de sorte que l'équation de prix d'équilibre n'est pas modifiée par le changement.

Si le changement environnemental n'est pas localisé, **le prix d'équilibre est modifié suite à la politique mise en oeuvre**. L'estimation de la seconde étape est alors nécessaire pour déterminer un **consentement à payer non-marginal**. Pour de nombreux polluants atmosphériques, par exemple, une amélioration de la qualité de l'air affectera les logements dans toute la ville ; par ailleurs, les politiques sont généralement conçues pour réduire de manière significative (et non marginale) la pollution. L'estimation de la demande pour la qualité de l'air est nécessaire pour évaluer de telles politiques.

2.3. Les modèles économétriques

Pour estimer des modèles hédoniques, les économistes ont généralement le choix entre plusieurs formes fonctionnelles (linéaire, loglinéaire, semi-log, Box-Cox). Le paragraphe XI présente de manière plus formalisée les équations correspondant aux différents modèles et complète la présentation plus littéraire de cette section.

2.3.1. *Modèles avec variable expliquée en niveau*

Le modèle linéaire est la forme fonctionnelle la plus simple utilisée dans l'estimation des régressions hédoniques. Il relie le prix de vente (en niveau) de l'habitation aux différentes variables explicatives (en niveau).

Le coefficient associé à chaque variable correspond au prix implicite de cette caractéristique. Par ailleurs, une augmentation d'une unité d'une caractéristique donnée entraîne une variation (en euros) du prix de vente égale au coefficient de cette variable.

Ce modèle linéaire peut aussi prendre une autre forme, qualifiée parfois de modèle « semi-log » (ou de lin-log). Dans ce cas, le modèle relie le prix de vente en niveau aux variables explicatives dont certaines sont en niveau et d'autres en logarithme. Une augmentation de 1 % d'une variable en logarithme entraîne un changement (en euros) du prix de vente égal au coefficient de cette variable divisé par 100.

Cette spécification du modèle linéaire est intéressante car elle permet de modéliser une relation non linéaire entre le prix de vente et certaines variables explicatives et une relation linéaire entre le prix de vente et d'autres caractéristiques du logement.

2.3.2. *Modèles avec variable expliquée en logarithme*

Le modèle log-linéaire (appelé aussi log-log) relie le logarithme du prix de vente aux logarithmes des différentes variables explicatives.

Pour les variables continues, le coefficient d'une variable en logarithme correspond à l'élasticité du prix de vente par rapport à cette caractéristique. Ainsi, un accroissement de 1 % de cette caractéristique correspond à une variation (en pourcentage) du prix de vente égale au coefficient de cette variable.

Les variables binaires (c'est-à-dire des variables qui prennent une valeur 0 ou 1) figurent toujours dans le modèle sous une forme non transformée.

Comme pour le modèle linéaire, il existe aussi un modèle semi-log (appelé aussi modèle log-lin) reliant le logarithme du prix de vente aux variables explicatives en niveau.

Pour une variable continue, un accroissement d'une unité de cette variable entraîne un changement (en pourcentage) du prix de vente égal à 100 fois le coefficient de cette variable.

Pour des variables binaires, l'interprétation des coefficients est différente. L'annexe XI. 2 présente le mode de calcul et l'interprétation de ce type de variables.

Tous les modèles de régression présentés jusqu'ici peuvent être estimés par la méthode des moindres carrés ordinaires.

2.3.3. Transformation de Box-Cox

La transformation de Box-Cox est généralement considérée comme une **forme fonctionnelle flexible bien adaptée pour estimer les modèles hédoniques** (voir le paragraphe VII. 1) mais son estimation est plus complexe que celle des modèles présentés précédemment.

La transformation de Box-Cox permet d'estimer plusieurs types de modèle.

■ Dans le premier modèle (Équation 7, p. 25), seule la variable expliquée (le prix de vente) est transformée. Ce modèle admet deux cas particulier : le modèle log-linéaire (log-lin) et le modèle linéaire.

■ Dans le deuxième modèle (Équation 8, p. 25), la variable expliquée (le prix de vente) et les variables explicatives sont transformées. Les deux transformations peuvent être paramétrées par des coefficients différents. Ce modèle est parfois appelé modèle de Box-Cox linéaire.

Quand une variable explicative est une variable binaire, une transformation de Box-Cox de cette variable n'a pas de sens.

2.4. Comment calculer les variations de bien-être ?

Pour calculer les variations de bien-être qui résultent d'une amélioration de la qualité de l'environnement, il est utile de distinguer deux cas²⁵ :

- effet d'une variation marginale de la qualité
- effet d'une variation non marginale de la qualité.

2.4.1. Variation de bien-être liée à un changement marginal de la qualité

Dans ce cas, la variation de bien-être, c'est-à-dire le consentement à payer pour bénéficier d'une amélioration marginale de la qualité de l'environnement, se calcule à partir des coefficients estimés par la régression hédonique.

Le mode de calcul dépend de la forme fonctionnelle retenue. Les détails des calculs sont présentés au paragraphe XI. 4.

Le consentement à payer total (pour la collectivité) est la somme des prix implicites pour toutes les propriétés qui bénéficient de l'amélioration de la qualité de l'environnement²⁶.

2.4.2. Variation de bien-être liée à un changement non marginal de la qualité

Dans ce cas, on considère que l'acheteur d'une maison est prêt à payer un montant égal à $P^1 - P^0$ pour bénéficier de l'amélioration de la qualité de l'environnement, avec P^0 le prix de vente associé au niveau initial de qualité et P^1 le prix associé au nouveau niveau de qualité.

Par exemple, pour calculer le consentement à payer moyen pour une amélioration de la qualité de l'eau (réduction de la pollution par les nitrates d'une concentration q_0 à une concentration q_1), on calcule le prix de vente d'une habitation ayant les caractéristiques moyennes des habitations de l'échantillon et on fait varier la variable de qualité de l'eau. Supposons que, au niveau de qualité q_0 , cette habitation moyenne se vende au prix de 100 000 euros, prix estimé à partir du modèle économétrique. Si, au niveau de qualité q_1 , cette habitation se vend 110 000 euros, alors cela signifie que le consentement à payer moyen des acheteurs pour bénéficier d'une réduction de la concentration en nitrates de l'eau de q_0 à q_1 est

²⁵ Dans les deux cas, il s'agit d'évaluer un changement localisé (voir le paragraphe IV. 2).

²⁶ Il faut noter que l'identification de toutes les propriétés affectées par le changement de qualité environnementale n'est pas toujours immédiate.

de 10 000 euros. **Le consentement à payer total est la somme de tous les changements de prix pour toutes les habitations qui bénéficient du changement de qualité environnementale.**

2.5. Choix de la forme fonctionnelle

2.5.1. Brève revue de la littérature

Dans l'une des premières applications du modèle de Box-Cox dans le contexte des prix immobiliers, les auteurs montrent qu'une forme fonctionnelle linéaire est particulièrement restrictive et qu'elle est généralement rejetée en faveur d'une transformation de Box-Cox. D'autres auteurs discutent également la spécification appropriée pour une fonction de prix hédonique et recommandent l'utilisation de la transformation de Box-Cox.

Cropper et al. (1988) étudient la performance de six formes fonctionnelles différentes. Quand tous les attributs sont parfaitement observés, ils montrent que le modèle Box-Cox linéaire (Équation 8, p. 25) et le modèle Box-Cox quadratique (non présenté dans ce guide) fournissent la plus petite erreur dans l'estimation des prix marginaux des caractéristiques. En revanche, quand certains attributs ne sont pas observés ou mesurés avec erreur, alors les formes fonctionnelles linéaire et Box-Cox linéaire fournissent l'erreur la plus faible.

Taylor (2003) souligne que **la forme linéaire n'est généralement pas adaptée** car elle suppose que le changement de prix engendré par une augmentation d'une unité du niveau d'une caractéristique est identique quel que soit le niveau de cette caractéristique. En d'autres termes, la forme linéaire suppose, par exemple, que l'effet sur le prix de vente d'une habitation de la proximité d'une rivière est le même que cette distance passe de 10 à 11 mètres ou de 100 à 101 mètres. En réalité, il est très vraisemblable que les prix implicites ne soient pas constants.

Enfin, d'autres auteurs, à partir de tests de spécification, prônent l'utilisation du logarithme du prix de vente et d'une forme quadratique des variables explicatives.

En d'autres termes, la littérature sur le choix d'une forme fonctionnelle appropriée pour estimer un modèle hédonique ne fournit pas, à l'heure actuelle, de réponse définitive.

On peut néanmoins souligner les trois points suivants :

- la forme linéaire est la plus simple à estimer et à interpréter, mais elle n'est généralement pas adaptée
- **la forme log-linéaire est également facile à estimer mais son interprétation est plus complexe.** En effet, certains paramètres, notamment pour les variables binaires, ne sont pas directement interprétables. Mais cette difficulté peut être aisément surmontée par une présentation adéquate
- **les modèles de Box-Cox sont plus difficiles à estimer** et à interpréter. Leur avantage réside surtout dans leur plus grande généralité : les autres formes évoquées en sont des cas particuliers.

En pratique, les modèles estimés présentent souvent une variable expliquée en logarithme.

2.5.2. La variable expliquée

Sous quelle forme la variable expliquée doit-elle figurer dans le modèle ? Comment choisir entre une spécification en niveau, en logarithme ou une transformation de type Box-Cox ?

La première idée pourrait être de comparer, à nombre de variables égal, le R^2 des modèles linéaire et log-linéaire. Malheureusement, le R^2 mesure la part de la variation de la variable expliquée qui est expliquée par le modèle. Par conséquent, il correspond, dans un cas, à la variation du prix et, dans l'autre, à la variation du logarithme du prix. **Les R^2 de ces deux modèles ne sont donc pas directement comparables.** Néanmoins, Wooldridge (2000) a proposé une méthode pour calculer un R^2 dans le cas d'un modèle où la variable expliquée est en logarithme. L'annexe XI. 6 présente cette méthode.

De façon plus formelle, il est possible de tester différentes hypothèses relatives à la spécification de la variable expliquée dans les modèles hédoniques. Parmi les différents tests disponibles, deux seront présentés, dans l'annexe XI. 7, en raison de la simplicité de leur mise en oeuvre.

2.5.3. Les variables explicatives

Un modèle économétrique peut inclure toutes les variables explicatives appropriées, et pourtant être mal spécifié du point de vue de la forme fonctionnelle (le modèle ne rend pas correctement compte de la relation entre la variable expliquée et les variables explicatives). Une approche utile pour tester, **de façon générale, la mauvaise spécification de la forme fonctionnelle est l'utilisation du test RESET (*Regression Specification Error Test*)**. L'idée qui sous-tend ce test est simple : si le modèle est correctement spécifié, alors aucune fonction non linéaire des variables explicatives ne devrait être significative quand elle est ajoutée au modèle. Puisque les valeurs prédites par le modèle estimé sont une combinaison linéaire des variables explicatives, il faut ajouter au modèle le carré et/ou le cube de ces valeurs prédites. Le test RESET consiste à réestimer le modèle de départ en ajoutant ces nouvelles variables et à effectuer un test F de Fisher dont l'hypothèse nulle est que ces variables n'ont aucun pouvoir explicatif.

Faut-il inclure les variables explicatives en niveau ou en logarithme ? Les procédures d'inférence classiques ne permettent pas de répondre à cette question car les hypothèses (ou alternatives) ne sont pas emboîtées. Proche, dans la démarche, du test RESET, le « **test J** » permet de répondre à la question sur le choix entre logarithme et niveau pour la variable expliquée (voir l'annexe XI. 5). Il peut permettre d'indiquer que l'un des modèles est meilleur que l'autre. Néanmoins, dans cette stratégie de test, quatre situations peuvent se produire : rejeter les deux modèles, n'en rejeter aucun, en rejeter un.

Enfin, concernant la sélection des variables explicatives pertinentes, les procédures usuelles comme la sélection *backward* (général vers particulier), *forward* (particulier vers général) et *stepwise* sont toujours disponibles. De même, les critères d'information de Akaike (AIC) et de Schwartz (BIC) peuvent toujours être utilisés. Enfin, le R^2 ajusté doit être utilisé pour comparer deux modèles (avec la même variable expliquée) présentant un nombre différent de variables explicatives.

2.6. Quelques problèmes économétriques

2.6.1. Variables explicatives et colinéarité

Les modèles hédoniques souffrent généralement de **problèmes de colinéarité entre les variables explicatives**. Par exemple, plus les maisons ont une superficie élevée, plus elles sont susceptibles d'avoir de nombreuses pièces et plusieurs salles de bain.

Dans sa version la plus extrême²⁷ (rarement rencontrée en pratique), la colinéarité se traduit par l'impossibilité d'estimer les paramètres de la régression par la méthode des moindres carrés. Dans une version plus courante, la colinéarité se traduit par des estimations imprécises des paramètres et par des écarts-types élevés. Greene (2003, chapitre 4) propose plusieurs indicateurs pour déceler la colinéarité.

Il n'existe pas de « bonne façon » de traiter les problèmes de colinéarité. Une première solution consiste à ne pas essayer de corriger la colinéarité. Ceci pourrait être justifié si la variable de qualité environnementale, qui est au coeur de l'analyse, n'est pas affectée par les problèmes de colinéarité. Dans ce cas, les paramètres des autres caractéristiques risquent d'être estimés de façon imprécise, mais cela n'affectera vraisemblablement pas l'estimation du paramètre d'intérêt et donc du prix implicite. D'autres solutions sont proposées dans les manuels d'économétrie (par exemple Greene (2003, chapitre 4)), mais aucune solution ne semble parfaite. Une de ces solutions est d'utiliser un petit nombre de composantes principales issues d'une analyse en composantes principales sur les variables explicatives. La colinéarité disparaît puisque, par construction, les composantes principales sont orthogonales les unes aux autres. En revanche, l'interprétation économique des paramètres estimés s'avère très délicate ; en particulier, le calcul des prix implicites des différentes caractéristiques est difficile à réaliser.

Par ailleurs, lors du choix d'une forme fonctionnelle, il faut toujours garder à l'esprit les problèmes de colinéarité des variables explicatives. En effet, plus la forme fonctionnelle est flexible, plus les problèmes de colinéarité sont importants.

²⁷ Dans ce cas, une ou plusieurs variables s'exprime(nt) comme combinaison linéaire exacte d'autres variables.

2.6.2. Autres problèmes économétriques

D'autres problèmes économétriques sont fréquents : l'**hétéroscédasticité** et l'**auto-corrélation spatiale**.

Le premier problème n'est pas spécifique à la méthode des prix hédoniques. En règle générale, il convient de tester la présence d'hétéroscédasticité, ou, *a minima*, d'utiliser, dans les inférences sur les coefficients estimés, la matrice de White robuste à l'hétéroscédasticité (par exemple).

La détection et la correction du second problème nécessitent le recours à des techniques économétriques plus avancées et ne peuvent s'effectuer que si les données disponibles sont géo-référencées. Taylor (2003) présente quelques éléments sur les aspects spatiaux dans la méthode des prix hédoniques.

2.7. Annexe économétrique

2.7.1. Modèles avec variable expliquée en niveau

Le modèle linéaire est la forme fonctionnelle la plus simple utilisée dans l'estimation des régressions hédoniques. Il relie le prix de vente p_i (en niveau) de l'habitation i aux J variables explicatives (en niveau) $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{iJ})$ par l'équation (Équation 1) :

$$\text{Équation 1} \quad p_i = \sum_{j=1}^J x_{ij} \beta_j + \varepsilon_i$$

Chaque β_j correspond au prix implicite de la caractéristique j . Par ailleurs, une augmentation d'une unité de la caractéristique x_j entraîne une augmentation de β_j euros du prix de vente.

Ce modèle linéaire peut aussi prendre une autre forme, qualifiée parfois de modèle « semi-log » (ou de lin-log). Dans ce cas, le modèle relie le prix de vente (p_i) en niveau aux variables explicatives dont certaines (x_j) sont en niveau et d'autres (z_j) en logarithme :

$$\text{Équation 2} \quad p_i = \sum_{j=1}^J x_{ij} \beta_j + \sum_{j=1}^J \ln(z_{ij}) \gamma_j + \varepsilon_i$$

où β et γ sont les vecteurs de paramètres à estimer. Une augmentation de 1 % de z_j entraîne un changement de $(\gamma_j / 100)$ euros du prix de vente.

2.7.2. Modèles avec variable expliquée en logarithme

Le modèle log-linéaire (appelé aussi loglog) relie le logarithme du prix de vente aux logarithmes des différentes variables explicatives :

$$\text{Équation 3} \quad \ln(p_i) = \sum_{j=1}^J x_{ij} \beta_j + \sum_{j=1}^J \ln(z_{ij}) \gamma_j + \varepsilon_i$$

Pour les variables continues, le coefficient γ_j correspond à l'élasticité du prix de vente par rapport à la caractéristique j . Ainsi, un accroissement de 1 % de la caractéristique j correspond à une augmentation de γ_j % du prix de vente.

Les variables binaires (c'est-à-dire des variables qui prennent une valeur 0 ou 1) figurent toujours dans le modèle (Équation 3) sous une forme non transformée (par exemple, les x_j).

Comme pour le modèle linéaire, il existe aussi un modèle semi-log reliant le logarithme du prix de vente aux variables explicatives en niveau :

$$\text{Équation 4} \quad \ln(p_i) = \sum_{j=1}^J x_{ij} \beta_j + \varepsilon_i$$

Pour une variable x_j continue, un accroissement d'une unité de x_j entraîne un changement de $100 \beta_j$ % du prix de vente.

Pour des variables binaires, l'interprétation des coefficients est différente. Supposons, par exemple, que l'on cherche à étudier l'impact de la présence d'un garage (0 signifie absence de garage et 1 présence d'un garage) sur le prix d'une vente d'un logement à partir des modèles (Équation 3) ou (Équation 4). Une estimation g en pourcentage de l'impact de cette variable sur la variable expliquée (prix de vente) est donnée par la formule (Équation 5).

$$\text{Équation 5} \quad g = 100(e^{\beta_{\text{garage}}} - 1)$$

où β_{garage} est le paramètre relatif à la présence d'un garage.

2.7.3. Transformation de Box-Cox

La transformation de Box-Cox est généralement considérée comme une forme fonctionnelle flexible bien adaptée pour estimer les modèles hédoniques (voir VII. 1) mais son estimation est plus complexe que celle des modèles présentés précédemment. D'une façon générale, la transformation de Box-Cox d'une variable x est notée $x(\lambda)$ et est donnée par l'équation (Équation 6).

$$\text{Équation 6} \quad x(\lambda) = \begin{cases} \frac{x^\lambda - 1}{\lambda} \text{ si } \lambda \neq 0 \\ \ln(x) \text{ si } \lambda = 0 \end{cases}$$

La transformation de Box-Cox permet d'estimer plusieurs types de modèle.

■ Dans le premier modèle (Équation 7), seule la variable expliquée (le prix de vente) est transformée. Si $\lambda = 0$, on retrouve un modèle log-linéaire. Si $\lambda = 1$, on retrouve un modèle linéaire.

$$\text{Équation 7} \quad p_i(\lambda) = \sum_{j=1}^J x_{ij} \beta_j + \varepsilon_i$$

■ Dans le deuxième modèle (Équation 8), la variable expliquée (le prix de vente) et les variables explicatives sont transformées. Les deux transformations peuvent être paramétrées par des coefficients différents (λ et μ). Ce modèle est parfois appelé modèle de Box-Cox linéaire.

$$\text{Équation 8} \quad p_i(\lambda) = \sum_{j=1}^J x_{ij}(\mu) \beta_j + \varepsilon_i$$

Quand une variable explicative est une variable binaire, une transformation de Box-Cox de cette variable n'a pas de sens. Les variables binaires sont donc incluses dans le modèle sous une forme non transformée.

Dans ce cas des variables binaires, l'interprétation des coefficients pour le modèle de Box-Cox défini par l'équation (Équation 7) est la suivante. Supposons, par exemple, que l'on cherche à étudier l'impact de la présence d'un garage sur le prix d'une vente d'un logement à partir de ce modèle. Une estimation g en pourcentage de l'impact de cette variable sur la variable expliquée (prix de vente) est donnée par la formule suivante :

$$g = 100 \left[\left(1 + \frac{\lambda \beta_{garage}}{p_0^\lambda} \right)^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right]$$

où β_{garage} est le paramètre relatif à la présence d'un garage et p_0 est le prix moyen d'une habitation sans garage.

2.7.4. Calcul des prix implicites pour les différentes formes fonctionnelles

Le prix marginal implicite (c'est-à-dire le consentement à payer marginal pour bénéficier de la variation du niveau d'une caractéristique) se calcule différemment pour chacune des formes fonctionnelles précédentes.

Dans le cas du modèle linéaire (Équation 1), le prix implicite d'un changement dans la caractéristique j sur le prix de l'habitation i est le suivant :

$$\text{Équation 9} \quad \frac{\partial p_i}{\partial x_{ij}} = \beta_j$$

Dans le cas du modèle semi-log (Équation 4), le prix implicite est le suivant :

$$\text{Équation 10} \quad \frac{\partial p_i}{\partial x_{ij}} = \beta_j P$$

Dans le cas du modèle log-log (Équation 3), le prix implicite est le suivant :

$$\text{Équation 11} \quad \frac{\partial p_i}{\partial z_{ij}} = \beta_j \frac{P}{z_{ij}}$$

Dans le cas du modèle de Box-Cox le plus général (Équation 8), le prix implicite d'un changement dans la caractéristique j sur le prix de l'habitation i est le suivant :

$$\text{Équation 12} \quad \frac{\partial p_i}{\partial x_{ij}} = p_i^{1-\lambda} (x_{ij}^{\mu-1} \beta_j)$$

Il y a deux approches possibles pour calculer les prix implicites quand les formules incluent le niveau d'une variable.

L'approche la plus courante est d'utiliser le prix moyen (ou la valeur moyenne de la caractéristique) sur l'échantillon.

Une approche alternative est de calculer le prix implicite pour chaque habitation de l'échantillon et ensuite de calculer la valeur moyenne de ces prix implicites.

2.7.5. Faut-il inclure les variables explicatives en niveau ou en logarithme ?

Les procédures d'inférence classiques ne permettent pas de répondre à cette question car les hypothèses (ou alternatives) ne sont pas emboîtées.

Par exemple, les deux modèles suivants sont des modèles non emboîtés :

$$\text{Équation 13} \quad \begin{aligned} p_i &= \beta_0 + x_{i1}\beta_1 + x_{i2}\beta_2 + u_{i1} \\ p_i &= \alpha_0 + \ln(x_{i1})\alpha_1 + \ln(x_{i2})\alpha_2 + u_{i2} \end{aligned}$$

En utilisant la même démarche que pour le test RESET, on peut estimer chacun des modèles de (Équation 13), calculer les valeurs prédites et les inclure dans l'autre modèle. Sous

l'hypothèse nulle que la première forme est correctement spécifiée, alors une combinaison linéaire des logarithmes des x_i ne devrait pas améliorer le modèle et le coefficient associé ne devrait pas être significatif. De même, on peut réestimer le second modèle en incluant les valeurs prédites du premier modèle. C'est le principe du « test J ». Ce test peut permettre d'indiquer que l'un des modèles est meilleur que l'autre. Néanmoins, dans cette stratégie de test, quatre situations peuvent se produire : rejeter les deux modèles, n'en rejeter aucun, en rejeter un.

2.7.6. Mesurer la qualité de l'ajustement dans les modèles log-linéaires

Un indicateur simple généralement utilisé pour mesurer la qualité de l'ajustement d'un modèle de régression log-linéaire est le R^2 . Afin qu'il soit comparable à celui provenant d'un modèle linéaire, des ajustements sont nécessaires.

Dans le cas d'un modèle où la variable expliquée est en logarithme, Wooldridge (2000) a proposé une méthode pour calculer un R^2 comparable avec celui d'un modèle linéaire. La démarche permettant de calculer ce R^2 modifié est la suivante :

Estimer le modèle de régression log-linéaire : $\ln p_i = (\ln x_i)' \beta$

Calculer les valeurs prédites du modèle : $\hat{\ln} p_i = (\ln x_i)' \hat{\beta}$

Calculer l'exponentielle de ces valeurs prédites : $\tilde{p}_i = e^{\hat{\ln} p_i}$

Régresser p sur \tilde{p} sans constante : $p_i = \hat{p}_i' a$

Pour estimer p à partir du modèle de départ, calculer : $\hat{p}_i = \tilde{p}_i' a$

Calculer le coefficient de corrélation linéaire entre ces \hat{p}_i et les vrais p_i . Le carré de ce coefficient de corrélation est une sorte de R^2 qui peut être comparé au R^2 d'un modèle linéaire.

2.7.7. Variable expliquée en logarithme ou en niveau ?

2.7.7.1. Tester l'hypothèse de linéarité contre l'hypothèse de log-linéarité

Le test P_E permet de tester l'hypothèse de linéarité contre l'hypothèse de log-linéarité.

Par exemple, supposons que les deux modèles en concurrence soient :

$$\begin{aligned} \text{Équation 14} \quad H_0 : y &= X\beta + \varepsilon \\ H_1 : \ln(y) &= \ln(X)\gamma + \varepsilon \end{aligned}$$

Notons $\hat{\beta}$ et $\hat{\gamma}$ les estimations des moindres carrés des paramètres des deux modèles. Le test P_E dont l'hypothèse nulle est H_0 revient à tester la significativité du coefficient $\hat{\alpha}$ dans le modèle (Équation 15).

$$\text{Équation 15} \quad y = X\hat{\beta} + \alpha[\ln y - \ln(X\hat{\beta})] + \varepsilon_1$$

Le second terme (à droite) correspond à la différence entre les prédictions de $\ln y$ obtenues à partir du modèle log-linéaire et celles obtenues à partir du logarithme des prédictions du modèle linéaire. Il est possible d'inverser les rôles et de tester H_0 comme hypothèse alternative. La régression devient alors (Équation 16) :

$$\text{Équation 16} \quad \ln y = (\ln X)\hat{\beta} + \alpha[\hat{y} - e^{\ln(X)\hat{\beta}}] + \varepsilon_2$$

2.7.7.2. Linéaire et log-linéaire vs. Box-Cox

Néanmoins, il est possible qu'aucun de ces deux modèles ne soit pertinent. Par exemple, un modèle plus général de type Box-Cox pourrait être plus adapté. Les modèles linéaire et log-linéaire peuvent être vus comme des cas particuliers d'un modèle de Box-Cox. Le test de Wald peut être utilisé pour tester si le paramètre λ (voir Équation 7 et Équation 8) est égal à 1 (modèle linéaire) ou à 0 (modèle log-linéaire).

Des tests du rapport de vraisemblance (*Likelihood Ratio test*) peuvent être employés pour tester si un modèle linéaire ou log-linéaire est plus adapté qu'un modèle de Box-Cox du type (Équation 8) (Haab et McConnell, 2002).

3. La méthode d'évaluation contingente

3.1. Analyser les données

L'analyse des données comprend généralement deux phases :

- phase **descriptive**, avec le calcul empirique du consentement à payer moyen
- phase **explicative**, avec l'utilisation de modèles économétriques.

Ce paragraphe présente les raisons pour lesquelles des modèles économétriques sont utilisées, ainsi que les variables explicatives du consentement à payer.

3.1.1. L'intérêt des modèles économétriques

L'intérêt des modèles économétriques est triple :

■ Ils permettent de mieux **comprendre les déterminants** des réponses (consentements à payer) des personnes interrogées. En particulier, ils permettent de contrôler la validité des résultats obtenus : par exemple, la théorie économique indique que le consentement à payer devrait augmenter avec le revenu.

■ Avec certains modes de révélation de la valeur (questions fermées), l'utilisation d'un modèle économétrique est généralement **nécessaire pour estimer le consentement à payer** des personnes interrogées. En outre, les modèles économétriques permettent d'estimer la « vraie » valeur des personnes qui fournissent des réponses de protestation.

■ Les modèles économétriques permettent aussi de **faciliter le transfert de valeurs**. Parmi les différentes méthodes de transfert, le transfert de fonction de valeur requiert qu'un modèle économétrique ait été estimé dans l'étude primaire. En particulier, si l'échantillon obtenu n'est pas complètement représentatif de la population concernée, les estimations fournies par le modèle économétrique peuvent être « transférées » à la population générale, pour obtenir le consentement à payer moyen de la population.

3.1.2. Les variables explicatives des modèles

Les variables suivantes peuvent expliquer le consentement à payer des personnes interrogées pour le programme étudié :

- revenu
- âge
- catégorie socio-professionnelle (du chef de famille)
- nombre d'enfants dans la famille
- sexe
- « fibre environnementale »
- variables spécifiques liées au cas étudié
- autres variables pertinentes (si nécessaire).

3.2. Analyse des questions fermées simples

L'analyse des questions fermées simples, c'est-à-dire des questions fermées ne comportant qu'une question de valorisation, peut s'effectuer à l'aide de l'une des trois approches suivantes :

- approche non-paramétrique
- modèle à utilité aléatoire
- modèle *spike* pour traiter les valeurs nulles.

L'approche non-paramétrique est une approche générale (reposant sur un nombre très restreint d'hypothèses) et constitue généralement une première étape dans l'analyse. Les deux dernières approches sont paramétriques et reposent sur l'estimation de modèles Logit ou Probit.

3.2.1. Approche non-paramétrique

En règle générale, les estimations du consentement à payer obtenues par des méthodes paramétriques (voir paragraphe IX. 3.2) ne sont pas particulièrement sensibles au choix de la loi des composantes aléatoires des préférences ni à la forme fonctionnelle choisie pour la fonction de préférence. Cependant, cela n'est pas toujours le cas. A cause de la sensibilité du consentement à payer à la distribution des termes d'erreur, il est utile de développer l'approche la moins restrictive possible pour estimer le consentement à payer. L'approche non-paramétrique s'appuie seulement sur l'idée suivante : quand une personne répond « oui » à la

question de valorisation, alors nous savons que son consentement à payer est supérieur ou égal au montant proposé.

Considérons un échantillon de T personnes. A chacune d'elles, est proposé l'un des M montants différents, noté t_j ($j=1, \dots, M$)²⁸. Notons CAP_i le consentement à payer de la personne i pour le projet étudié. Si i répond « oui » à la question « Voulez-vous payer t_j euros pour le projet ? », alors nous savons que $CAP_i \geq t_j$. Sinon, nous savons que $CAP_i < t_j$.

Puisque que le vrai consentement à payer est inconnu, on peut considérer qu'il s'agit d'une variable aléatoire dont la fonction de répartition est F_w . La probabilité pour que la personne i réponde « non » s'écrit donc :

$$P(CAP_i < t_j) = F_w(t_j) = F_j$$

On note T_j le nombre de personnes à qui le montant t_j a été proposé, Y_j le nombre de personnes ayant accepté de payer ce montant et N_j le nombre de personnes ayant refusé. On a donc $T_j = Y_j + N_j$. Par ailleurs, $T = T_1 + \dots + T_M$.

Un estimateur naturel de F_j (qui est aussi l'estimateur du maximum de vraisemblance) est

$$F_j = \frac{N_j}{T_j}$$

L'estimation de la probabilité qu'une personne ne soit pas prête à payer t_j euros est égale à la proportion sur l'échantillon d'individus répondant « non » au montant t_j .

Quand l'échantillon est grand et quand le montant proposé augmente, la proportion de réponses « non » observée pour chaque montant devrait augmenter : $F_j \leq F_{j+1}$. Or, rien, en pratique, n'assure que cette condition soit vérifiée. En raison de l'échantillonnage, il est fréquent d'observer des fonctions de répartition empiriques non monotones pour certains des montants proposés. Une approche, connue sous le nom d'estimateur de Turnbull, consiste à imposer une restriction de monotonie sur la fonction de répartition précédente.

Procédure de calcul de l'estimateur de Turnbull

Pour chaque montant j ($j = 1, \dots, M$), calculer $F_j = \frac{N_j}{N_j + Y_j}$ où N_j est le nombre de réponses « non » à t_j et Y_j est le nombre de réponses « oui » au même montant ($T_j = N_j + Y_j$).

²⁸ Les différents montants sont ordonnés : $t_1 < \dots < t_j < \dots < t_M$

A partir de $j = 1$, comparer F_j et F_{j+1} .

Si $F_{j+1} > F_j$, alors continuer.

Si $F_{j+1} \leq F_j$, alors rassembler les cellules j et $j + 1$ en une seule de bornes t_j et t_{j+2} et

$$\text{calculer } F_j^* = \frac{N_j + N_{j+1}}{T_j + T_{j+1}} = \frac{N_j^*}{T_j^*}$$

Continuer jusqu'à ce que les cellules soient suffisamment regroupées pour que la fonction de répartition soit croissante.

Fixer $F_{M+1}^* = 1$.

Calculer la fonction de densité : $f_j^* = F_j^* - F_{j-1}^*$.

Une fois toutes ces étapes accomplies, on dispose d'une fonction de répartition F^* qui a la propriété recherchée : la proportion de réponses « non » augmente quand le montant proposé augmente. L'estimateur de Turnbull consiste à procéder à un lissage minimal de la distribution des réponses.

Procédure de calcul du consentement à payer

Calculer la proportion de réponses « non » pour chaque montant proposé grâce à la procédure décrite dans le paragraphe précédent. Ces proportions correspondent à des estimations convergentes de la probabilité d'une réponse « non » pour chaque montant proposé.

Calculer $f_{j+1}^* = F_{j+1}^* - F_j^*$ pour chaque montant proposé. Cela représente des estimations convergentes de la probabilité pour que le consentement à payer soit compris entre les montants t_j et t_{j+1} . Pour calculer la probabilité pour que le consentement à payer soit compris entre le montant le plus élevé t_M et la borne supérieure t_{M+1} , on définit $F_{M+1}^* = 1$. Cela signifie qu'aucune personne interrogée n'a un consentement à payer plus grand que la borne supérieure.

Multiplier chaque montant offert (t_j) par la probabilité f_{j+1}^* calculée à l'étape 2.

Faire la somme des quantités obtenues à l'étape 3 pour obtenir une estimation de la borne inférieure du consentement à payer

Calculer la variance de la borne inférieure du consentement à payer par

$$V[E_{\text{inf}}(CAP)] = \sum_{j=1}^M \frac{F_j^* (1 - F_j^*)}{T_j^*} (t_j - t_{j-1})^2$$

Le paragraphe IX. 5 présente un exemple d'application de l'approche non-paramétrique.

3.2.2. Approche par la fonction d'utilité indirecte

3.2.2.1. Présentation de la démarche

Dans la méthode d'évaluation contingente, les personnes interrogées ont généralement le choix entre deux alternatives : le statu quo et une situation contingente correspondant, selon les cas, à une amélioration ou à une dégradation de la qualité de l'environnement. Dans une situation où l'on cherche à mesurer le consentement à payer pour une amélioration de la qualité de l'environnement, le choix se fait entre le statu quo (pour un paiement nul) ou le changement proposé avec paiement.

Ainsi, quand le mode d'interrogation est une question fermée simple, on propose à chaque personne interrogée un montant prédéfini. Les modèles à utilité aléatoire reposent sur le principe suivant : la personne interrogée répond « oui » à la question « Seriez-vous prêt à payer X euros ? » si l'utilité associée au programme évalué, nette du paiement requis (X euros), excède l'utilité correspondant au statu quo.

Néanmoins, on ne connaît pas le niveau d'utilité des personnes interrogées associé à chacune des deux situations. Dans le modèle à utilité aléatoire, on suppose généralement que la fonction d'utilité se compose de deux parties :

- une partie déterministe qui dépend d'un ensemble de caractéristiques des personnes interrogées : sexe, âge, niveau de revenu, sensibilité par rapport aux questions environnementales, ...

- une partie aléatoire qui correspond à la composante des préférences individuelles connues des personnes interrogées, mais inconnues du statisticien.

L'existence de cette composante aléatoire oblige à raisonner en termes de probabilité : comment caractériser la probabilité pour qu'une personne accepte de payer le montant proposé, étant données ses caractéristiques individuelles ? Puisque la composante aléatoire

des préférences est inconnue, on peut seulement faire des hypothèses probabilistes sur les réponses « oui » et « non ».

En reformulant les éléments précédents, la probabilité de répondre « oui » correspond donc à la probabilité pour qu'une personne estime qu'elle est dans une meilleure situation avec le scénario proposé, même en payant le montant proposé, qu'avec le statu quo.

Dans le cas du modèle à utilité aléatoire, l'approche paramétrique nécessite deux décisions :

■ choisir la forme fonctionnelle de la partie déterministe des préférences :

fonction d'utilité linéaire. Ce modèle repose sur l'hypothèse que l'utilité marginale du revenu est constante entre les deux situations (statu quo et situation contingente), hypothèse légitime lorsque le changement envisagé par l'évaluation contingente est limité. C'est généralement une bonne approximation d'une forme quelconque de fonction d'utilité.

fonction d'utilité log-linéaire dans le revenu (non présentée ici). Ce modèle permet de lever l'hypothèse de constance de l'utilité marginale du revenu entre les deux situations.

■ spécifier la loi des termes aléatoires :

loi logistique : modèle Logit

loi normale : modèle Probit

Formellement, pour une personne j donnée, la fonction d'utilité indirecte est définie par

$$u_{ij} = u_i(y_j, z_j, \varepsilon_{ij})$$

où $i=1$ correspond à la situation après mise en oeuvre du programme proposé et $i=0$ au statu quo. Le revenu de j est noté y_j ; z_j représente un vecteur de caractéristiques de l'individu (sexe, âge, ...). Enfin, le terme ε_{ij} correspond à la composante des préférences inconnue du statisticien.

Par exemple, pour un changement de qualité entre les situations 0 et 1 correspondant à une amélioration de la qualité de l'environnement qui passe de q_0 à q_1 (avec $q_1 \geq q_0$), on a :

$$u_{0j} = u_0(y_j, z_j, q^0, \varepsilon_{0j})$$

$$u_{1j} = u_1(y_j, z_j, q^1, \varepsilon_{1j})$$

Quand le mode d'interrogation est une question fermée simple, on propose à la personne interrogée (j) un montant de t_j . La personne répond « oui » si l'utilité associée au programme évalué, nette du paiement requis, excède l'utilité correspondant au statu quo, c'est-à-dire si :

$$u_1(y_j, z_j, q^1, \varepsilon_{1j}) \geq u_0(y_j, z_j, q^0, \varepsilon_{0j})$$

Cependant, le statisticien ne connaît pas les composantes stochastiques (c'est-à-dire aléatoires) des préférences (ε_{ij}) et peut seulement faire des hypothèses probabilistes sur les réponses « oui » et « non ». On note Y_j la réponse à ces questions ; $Y_j=1$ correspond à la réponse « oui ». La probabilité de répondre « oui » est donc :

$$P(Y_j = 1) = P(u_1(y_j, z_j, q^1, \varepsilon_{1j}) \geq u_0(y_j, z_j, q^0, \varepsilon_{0j}))$$

Dans le modèle à utilité aléatoire linéaire, la fonction d'utilité se présente sous une forme additivement séparable. Elle se décompose ainsi en une partie déterministe linéaire (v_i) et une partie stochastique (ε_{ij}) :

$$u_i(y_j, z_j, \varepsilon_{ij}) = v_i(y_j, z_j) + \varepsilon_{ij} \text{ avec } v_i(y_j, z_j) = z_j \alpha_i + y_j \beta_i$$

On a donc :

$$P(Y_j = 1) = P(v_1(y_j - t_j, z_j) + \varepsilon_{1j} \geq v_0(y_j, z_j) + \varepsilon_{0j})$$

Une fois que la fonction d'utilité indirecte est spécifiée comme la somme d'une composante déterministe et d'une composante aléatoire, la différence des deux composantes aléatoires ne peut plus être identifiée de sorte que l'on considère un unique terme d'erreur :

$$\varepsilon_j = \varepsilon_{1j} - \varepsilon_{0j}.$$

Le changement dans la partie déterministe de la fonction d'utilité indirecte est :

$$v_{1j} - v_{0j} = z_j(\alpha_1 - \alpha_0) + (y_j - t_j)\beta_1 - y_j\beta_0$$

Une hypothèse raisonnable est que l'utilité marginale du revenu est constante entre les deux états. Il en résulte que $\beta_1 = \beta_0 = \beta$ de sorte que, en notant $\alpha = \alpha_1 - \alpha_0$, la dernière équation s'écrit :

$$v_{1j} - v_{0j} = z_j \alpha - t_j \beta$$

La probabilité de répondre « oui » à la question « Seriez-vous prêt à payer t_j euros ? » est alors donnée par l'équation suivante :

$$P(Y_j = 1) = P(z_j \alpha - t_j \beta + \varepsilon_j > 0)$$

On suppose que les ε_{ij} sont indépendants et identiquement distribués selon la même loi, avec une espérance nulle. Deux lois sont possibles pour les ε_j :

- loi normale, ce qui donne lieu au modèle Probit
- loi logistique, ce qui donne lieu au modèle Logit.

Si ε_j suit une loi normale $N(0, \sigma^2)$, alors $\theta_j = \frac{\varepsilon_j}{\sigma}$ suit une loi normale centrée réduite. On

a alors :

$$P(y_j = 1) = P(\varepsilon_j < z_j - t_j \beta) = P(\vartheta_j < z_j \frac{\alpha}{\sigma} - t_j \frac{\beta}{\sigma}) = \Phi(z_j \frac{\alpha}{\sigma} - t_j \frac{\beta}{\sigma})$$

Si ε_j suit une loi logistique de moyenne nulle et de variance $\frac{\pi^2 \sigma_L^2}{3}$, alors la probabilité pour que j réponde « oui » est

$$P(y_j = 1) = \frac{1}{1 + \exp(-z_j \frac{\alpha}{\sigma_L} - t_j \frac{\beta}{\sigma_L})}$$

Procédure pour estimer un modèle à utilité aléatoire avec une fonction d'utilité linéaire

Coder les réponses à la question fermée : « oui » correspond à 1 et « non » à 0.

Définir la matrice des données X , qui rassemble la matrice des caractéristiques individuelles z et le vecteur des montants proposés t .

Estimer un modèle Probit ou un modèle Logit, avec X comme variables explicatives.

Le coefficient des variables de la matrice z correspond à l'estimation de $\frac{\alpha}{\sigma}$. Le coefficient associé au montant proposé correspond à une estimation de $\frac{\beta}{\sigma}$ ²⁹.

Attention : il ne faut pas inclure le revenu dans la matrice des caractéristiques individuelles z .

²⁹ En fait, les modèles Logit ou Probit fournissent une estimation de $\sigma\beta/-$. Il faut donc en tenir compte dans les formules pour calculer le consentement à payer moyen. Une solution à cette (légère difficulté) est d'utiliser l'opposé de la variable « montant » dans l'estimation du modèle Logit ou Probit.

3.2.2.2. Calcul du consentement à payer pour un modèle à utilité aléatoire linéaire

De façon théorique, le CAP est défini comme la somme d'argent qui laisse la personne interrogée indifférente entre le statu quo et la situation proposée. Le CAP est ainsi défini par :

$$z_j \alpha_1 + (y_j - CAP_j) \beta + \varepsilon_{1j} = z_j \alpha_0 + y_j \beta + \varepsilon_{0j}$$

Par conséquent, le CAP de l'individu j est donc :

$$CAP_j = z_j \frac{\alpha}{\beta} + \frac{\varepsilon_j}{\beta}$$

Pour calculer le CAP moyen sur l'échantillon, la formule est la suivante :

$$E(CAP) = \bar{z} \frac{\alpha/\sigma}{\beta/\sigma}$$

où \bar{z} est le vecteur des moyennes des caractéristiques individuelles.

La formule de calcul est identique pour la médiane. Dans un modèle à utilité aléatoire linéaire, la moyenne et la médiane de la distribution du CAP coïncident.

CAP moyen et CAP médian (Alberini, 1995)

Le CAP moyen est la mesure statistique naturelle à laquelle on s'intéresse d'un point de vue de l'économie publique pure. En effet, elle fournit facilement les bénéfices totaux du projet étudié après que ce CAP moyen a été multiplié par la taille de la population correspondante (voir Terra (2004)).

Le CAP médian peut s'interpréter comme le coût (montant) maximal par ménage permettant d'obtenir un vote majoritaire en faveur du projet lors d'un référendum. En effet, la question fermée est souvent présentée sous la forme d'un référendum.

3.2.2.3. Commentaire

Pour la plupart des applications, le modèle à utilité aléatoire linéaire est une bonne approximation d'une forme quelconque de la fonction d'utilité. Néanmoins, l'inconvénient de ce modèle est qu'il élimine le revenu comme déterminant des réponses en supposant que l'utilité marginale du revenu est constante entre les deux alternatives. Cette hypothèse n'est légitime que quand le changement proposé par l'évaluation contingente est limité.

3.2.3. La distribution du consentement à payer

L'examen de la distribution du consentement à payer soulève deux questions :

- en théorie, le consentement à payer est compris entre 0 et le revenu de la personne interrogée. Comment s'assurer de cela en pratique ?
- quelle est la sensibilité des résultats obtenus aux hypothèses faites sur la loi des termes aléatoires et sur la forme fonctionnelle ?

3.2.3.1. Comment « borner » le consentement à payer ?

Haab et McConnell (2002) proposent une manière directe de construire un modèle qui borne correctement le consentement à payer. Le modèle s'écrit alors :

$$CAP_j = G(z_j \gamma + \varepsilon_j) y_j$$

où $0 \leq G(z_j \gamma + \varepsilon_j) \leq 1$. La fonction G exprime le consentement à payer comme une fraction du revenu. Une version particulièrement utile de ce modèle est :

$$CAP_j = \frac{y_j}{1 + \exp(-z_j \gamma - \varepsilon_j)}$$

Si on suppose que le terme d'erreur suit une loi normale, alors le modèle s'écrit :

$$P(Y_j = 1) = \phi \left(\frac{z_j \gamma + \ln \frac{y_j - t_j}{t_j}}{\sigma} \right)$$

Si on suppose que le terme d'erreur suit une loi logistique, alors le modèle s'écrit :

$$P(Y_j = 1) = \frac{1}{1 + \exp \left(- \frac{z_j \gamma + \ln \frac{y_j - t_j}{t_j}}{\sigma} \right)}$$

Procédure pour estimer un modèle borné

Coder les réponses à la question fermée : « oui » correspond à 1 et « non » à 0.

Définir la matrice des données X , qui rassemble la matrice des caractéristiques

individuelles z et le vecteur des termes « montant/revenu » $\ln \frac{y_j - t_j}{t_j}$

Estimer un modèle Probit ou un modèle Logit avec la matrice X comme matrice des variables explicatives.

Le coefficient des variables de la matrice z correspond à l'estimation de $\frac{\gamma}{\sigma}$. Le coefficient associé à la variable « montant/revenu » correspond à une estimation de $\frac{1}{\sigma}$.

Le consentement à payer médian, pour les deux modèles, est égal à :

$$CAP_{\text{médian}} = \frac{\bar{y}}{1 + \exp(-\bar{z}\hat{\gamma})}$$

3.2.3.2. Sensibilité des résultats aux hypothèses

Une des questions légitimes que l'on peut se poser sur les modèles paramétriques est celle de la sensibilité des résultats aux formes fonctionnelles utilisées et aux hypothèses sur la loi des termes aléatoires.

En général, cette sensibilité provient essentiellement d'un problème avec les queues de la distribution du consentement à payer. Ce problème résulte d'une inadéquation des montants proposés à la vraie distribution du consentement à payer. Par exemple, si la « vraie » médiane du CAP est inférieure au plus faible montant proposé, cela peut conduire à un consentement à payer moyen négatif ! Quand la vraie médiane est supérieure au montant proposé le plus élevé, cela signifie que les personnes interrogées n'ont pas répondu « non » à un nombre suffisant de valeurs élevés. Dans les deux cas, les queues de la distribution sont définies en dehors de l'étendue des montants proposés. La distribution supposée à l'extérieur de cet intervalle peut avoir un impact fort sur le CAP estimé.

A partir de l'estimateur de Turnbull, il est possible de diagnostiquer des problèmes avec les queues de distribution. En effet, on peut calculer la proportion de personnes refusant de payer le montant plus faible et la proportion de personnes acceptant de payer le montant le plus élevé. La somme de ces deux proportions donne une idée de la proportion des réponses se situant hors de l'étendue des montants proposés.

Une recommandation pratique émerge de cette discussion : il convient d'être particulièrement attentif à la construction des montants proposés aux personnes interrogées. Elle reflète la plupart des difficultés rencontrées dans les études d'évaluation contingente

utilisant des questions fermées. En effet, les problèmes proviennent essentiellement de la conception du questionnaire et de la construction des montants proposés. Néanmoins, il est très difficile de remédier à ces problèmes une fois que l'enquête a eu lieu.

Par conséquent, l'ensemble des montants proposés devrait être conçu pour s'assurer que les queues de distribution sont bien définies. En effet, des queues de distribution non définies peuvent conduire à ce que les paramètres de tendance centrale du CAP soient estimés de façon peu fiable. La sensibilité aux hypothèses faites sur les formes fonctionnelles et la loi des termes d'erreur peut être partiellement éliminée en proposant des montants bien choisis (déterminés lors de la conception de l'enquête).

Une approche conservatrice quand il y a des doutes sur la distribution des données est de calculer la borne inférieure du consentement à payer avec l'estimateur de Turnbull (voir paragraphe IX. 1) et d'estimer ensuite une fonction de consentement à payer exponentielle (voir paragraphe IX. 3.1) et de calculer ensuite la médiane à partir des paramètres estimés par ce modèle.

3.2.4. Modèles Spike

Krström (1997) a proposé un modèle, nommé *Spike model*, pour traiter les réponses des personnes n'accordant aucune valeur au programme proposé (c'est-à-dire au changement de qualité environnementale évoquée dans le questionnaire).

Le modèle *spike* de base comporte deux questions de valorisation. La première demande aux personnes interrogées si elles sont prêtes à payer pour financer le programme, la seconde si elles sont prêtes à payer un montant t_j donné.

Dans le modèle *spike*, on suppose que la fonction de répartition du consentement à payer a la forme suivante :

$$F_{CAP}(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < 0 \\ p & \text{si } t = 0 \\ G_{CAP}(t) & \text{si } t > 0 \end{cases}$$

où $p \in]0;1[$ et $G_{CAP}(t)$ est une fonction continue croissante telle que $G_{CAP}(0) = p$ et $\lim_{t \rightarrow \infty} G_{CAP}(t) = 1$. La fonction F présente donc une discontinuité (*spike*) en 0.

Pour chaque personne interrogée j , on définit l'indicatrice S_j qui vaut 1 si la personne accepte de payer et 0 sinon : $S_j = 1$ si $CAP_j > 0$.

De façon analogue, on définit l'indicatrice T_j qui vaut 1 si la personne interrogée est prête à payer le prix proposé t_j et 0 sinon : $T_j = 1$ si $CAP_j > t_j$.

La log-vraisemblance est alors :

$$\ln L = \sum_{j=1}^T S_j T_j \ln[1 - F_{CAP}(t_j)] + S_j (1 - T_j) \ln[F_{CAP}(t_j) - F_{CAP}(0)] + (1 - S_j) \ln[F_{CAP}(0)]$$

Par exemple, si on suppose que le consentement à payer suit une loi logistique, alors la fonction de répartition du consentement à payer :

$$F_{CAP}(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < 0 \\ \frac{1}{1 + \exp(\alpha)} & \text{si } t = 0 \\ \frac{1}{1 + \exp(\alpha - \beta t)} & \text{si } t > 0 \end{cases}$$

où α s'interprète comme l'utilité marginale de l'amélioration de la qualité de l'environnement et β comme l'utilité marginale du revenu.

Les paramètres α et β sont estimés en maximisant la fonction de log-vraisemblance précédente.

Si l'utilité marginale du revenu est positive, alors le CAP moyen se calcule par la formule suivante :

$$E(CAP) = \frac{\ln[1 + \exp(\alpha)]}{\beta}$$

Kriström (1997) propose aussi un modèle *spike* étendu. Nahuelhual-Muñoz et al. (2004) présentent la première utilisation de ce modèle. Le modèle *spike* étendu permet de modéliser les réponses des

- personnes qui sont favorables (prêtes à payer) au projet et qui ont donc un consentement à payer positif
- personnes qui sont indifférentes au projet et qui ont un consentement à payer nul
- personnes qui sont hostiles au projet (perte d'utilité en cas de mise en oeuvre du programme) et qui ont un consentement à payer négatif.

3.2.5. Comment calculer l'écart-type du consentement à payer ?

La méthode la plus utilisée pour calculer l'écart-type du consentement à payer et pour déterminer un intervalle de confiance est la procédure de Krinsky et Robb.

Procédure de Krinsky et Robb

Estimer les paramètres B du modèle Logit ou Probit.

Calculer la matrice V de variance-covariance de ces paramètres.

Obtenir N réalisations d'une loi normale multivariée de moyenne B et de matrice de variance-covariance V .

Pour chacune de ces réalisations, calculer la quantité recherchée (par exemple, la médiane du CAP). On obtient ainsi une distribution empirique simulée de la loi du consentement à payer. Cela permet de calculer la variance du CAP ou les quantiles de cette distribution.

Pour obtenir un intervalle de confiance de niveau 95 % du CAP, il suffit de classer les valeurs calculées (médiane du CAP) et d'éliminer 2,5 % des observations pour les valeurs les plus faibles et pour les valeurs les plus élevées. La valeur la plus faible non éliminée correspond à la borne inférieure de l'intervalle de confiance, la valeur la plus élevée à la borne supérieure. L'intervalle n'est généralement pas symétrique.

La procédure de Krinsky et Robb pour estimer la variance d'une fonction de paramètres estimés repose sur les propriétés asymptotiques des estimateurs du maximum de vraisemblance (normalité asymptotique) pour simuler la loi asymptotique de la fonction de consentement à payer provenant des paramètres estimés. Cette méthode permet de construire une distribution simulée de Monte Carlo de l'estimation du consentement de payer.

Elle a été introduite par Krinsky et Robb (1986), et dans le domaine de la valorisation non-marchande par Creel et Loomis (1991) et Kling (1991).

3.2.6. Comment choisir les offres proposées ?

Le choix des offres proposées a une influence cruciale sur la sensibilité des résultats aux hypothèses sur la forme fonctionnelle et sur la loi des termes d'erreur.

Quand des questions fermées sont utilisées, la détermination des montants proposés aux personnes interrogées est nécessaire. Ainsi, l'échantillon est divisé en M sous-échantillons et

on affecte à chaque échantillon un montant donné. On appelle parfois vecteur des offres le vecteur (t_1, \dots, t_M) des offres proposées aux M groupes.

Le problème pratique qui se pose est celui de la détermination de la structure de ce vecteur ? Combien de montants faut-il utiliser ? Comment choisir le montant le plus faible et le montant le plus élevé ? Comment déterminer l'espacement entre les offres ? Il est difficile d'apporter une réponse générale à ces questions, même si plusieurs articles dans la littérature apportent des éclairages sur cette question. Toutefois, ainsi que le note Kriström (1999), « les critères utilisés pour construire un vecteur d'offres optimal du point de vue statistique peuvent être réducteurs d'un point de vue économique ». On pourrait même ajouter que les résultats théoriques sont, en pratique, d'une utilité limitée. Dans la plupart de ces articles, le nombre théoriquement optimal d'offres est de 1 ou 2. Comme le note Kanninen (1995), ceci est contestable en pratique pour plusieurs raisons, la principale étant que ces mécanismes requièrent une connaissance des valeurs des paramètres avant que l'enquête ne soit réalisée. Le manque d'information préalable sur la distribution du consentement à payer conduit généralement à utiliser un nombre d'offres plus élevé et à couvrir une étendue de la distribution plus élevée que ce qui serait nécessaire si le choix des offres était optimal.

Un résultat presque général des études théoriques sur les offres optimales est qu'il y a très peu d'information statistique dans les queues de la distribution et que proposer des offres dans les queues de distribution peut même être contre-productif si l'objectif essentiel est d'obtenir une estimation précise du consentement à payer moyen ou médian.

Les résultats obtenus par Kanninen (1995) la conduisent à proposer la règle empirique suivante : les montants ne devraient jamais être situés en dehors de l'intervalle formé par les 15^{ème} et 85^{ème} centiles pour une question fermée simple, et en dehors de celui formé par les 10^{ème} et 90^{ème} centiles pour les doubles questions fermées.

Kanninen (1995) montre que le choix des montants proposés peut biaiser l'estimation du consentement à payer, mais pas dans des proportions considérables. En revanche, le choix des offres, peut avoir un effet non négligeable sur la variance estimée du consentement à payer (c'est-à-dire sur la précision des estimations).

Deux approches (complémentaires) peuvent être employées pour atténuer à la fois le biais et la variance :

- augmenter la taille de l'échantillon (ou utiliser un échantillon de taille relativement grande), ce qui a pour effet de diminuer à la fois le biais et la variance proportionnellement à l'augmentation de la taille de l'échantillon ;

- ne pas proposer des valeurs dans les queues de distribution ; les valeurs des centiles 15 et 85 pour la question fermée simple et de 10 et 90 pour la double question fermée sont proposées par Kanninen (1995) seulement comme des indications. Elle souligne que le plus important est d'éviter les valeurs excessives.

Hanemann et Kanninen (1999) recommandent de ne pas utiliser un vecteur d'offres comprenant plus de 4 à 6 montants. Pour contrebalancer l'incertitude liée à la vraie loi de probabilité du consentement à payer, il peut être tentant de multiplier le nombre de montants proposés. Hanemann et Kanninen (1999) estiment qu'il s'agit d'une pratique peu raisonnable pour les deux raisons suivantes :

- Pour une taille d'échantillon, proposer un nombre élevé de montants implique que le nombre d'observations est faible pour chaque montant et que l'information obtenue est réduite (par rapport à une enquête proposant moins de montants).

- Les montants proposés dans les queues de distribution apportent généralement peu d'informations.

Recommandations pratiques

- Utiliser les données issues d'une enquête antérieure ou d'un test du questionnaire avec une question ouverte pour obtenir des informations sur la distribution du consentement à payer.

- Pour un nombre de montants égal à 5, calculer les centiles 15, 32.5, 50, 67.5 et 85 de cette distribution (pour une question fermée simple).

- Lors de la réalisation de l'étude, affecter aléatoirement un de ces montants à chaque personne interrogée.

3.3. Analyse des doubles questions fermées

Par rapport aux questions fermées simples, les doubles questions fermées (*double-bounded dichotomous choice questions*) permettent d'accroître l'efficacité statistique. Pour analyser les réponses à ces questions et calculer le consentement à payer des ménages, on peut employer un modèle de régression par intervalles (*Interval Data Model*).

Dans les doubles questions fermées, on propose à la personne j une première valeur t_j . Si j accepte de payer ce premier montant, alors un second montant, plus élevé, t_j^s lui est proposé. Si j refuse, un montant inférieur t_j^i est proposé. Par conséquent, il y a donc quatre issues possibles :

les deux réponses sont positives : cela signifie que le vrai consentement à payer de j est supérieur à t_j^s . Par conséquent, la probabilité, notée π^{oo} pour que j se trouve dans ce cas est³⁰ :

$$\pi^{oo}(t_j, t_j^s) = P(CAP \leq t_j^s) = 1 - F(t_j^s)$$

les deux réponses sont négatives : cela signifie que le vrai consentement à payer de j est inférieur à t_j^i . Par conséquent, la probabilité, notée π^{nn} pour que j se trouve dans ce cas est :

$$\pi^{nn}(t_j, t_j^i) = P(CAP \leq t_j^i) = 1 - F(t_j^i)$$

j répond « oui » à la première question et « non » à la seconde : cela signifie que le vrai consentement à payer de j est compris entre t_j et t_j^s . Par conséquent, la probabilité, notée π^{on} pour que j se trouve dans ce cas est :

$$\pi^{on}(t_j, t_j^s) = P(t_j \leq CAP \leq t_j^s) = F(t_j^s) - F(t_j)$$

j répond « non » à la première question et « oui » à la seconde : cela signifie que le vrai consentement à payer de j est compris entre t_j^i et t_j . Par conséquent, la probabilité, notée π^{no} pour que j se trouve dans ce cas est :

$$\pi^{no}(t_j^i, t_j) = P(t_j^i \leq CAP \leq t_j) = F(t_j) - F(t_j^i)$$

Si l'on dispose d'un échantillon de taille T , alors la log-vraisemblance s'écrit :

$$\ln L = \sum_{j=1}^T d_j^{oo} \ln[\pi^{oo}(t_j, t_j^s)] + d_j^{nn} \ln[\pi^{nn}(t_j, t_j^i)] + d_j^{on} \ln[\pi^{on}(t_j, t_j^s)] + d_j^{no} \ln[\pi^{no}(t_j^i, t_j)]$$

³⁰ F désigne la fonction de répartition de la variable aléatoire « consentement à payer »

Les variables d_j^{00} , d_j^{nn} , d_j^{0n} et d_j^{n0} sont des variables indicatrices qui valent 1 quand j se trouve dans la situation correspondante.

Pour estimer le modèle, il est nécessaire de spécifier une forme fonctionnelle pour F .

Par exemple, en retenant, une spécification logistique, on a :

$$F(t) = \frac{1}{1 + \exp(\alpha - \beta t)}$$

D'autres variables explicatives (x , contenant par exemple la constante) peuvent aussi être intégrées dans le modèle, par exemple sous la forme :

$$F(t_j) = \frac{1}{1 + \exp(x_j \gamma - t_j \beta)}$$

On peut aussi utiliser une loi normale en utilisant pour F la fonction de répartition d'une loi normale.

Les paramètres α , β , et γ sont estimés en maximisant la log-vraisemblance.

Quand la loi normale est utilisée pour F , le consentement à payer moyen est estimé en calculant la moyenne des valeurs prédites.

3.4. Analyse des réponses à la question ouverte

La figure 2 résume la démarche d'analyse des réponses aux questions ouvertes de valorisation.

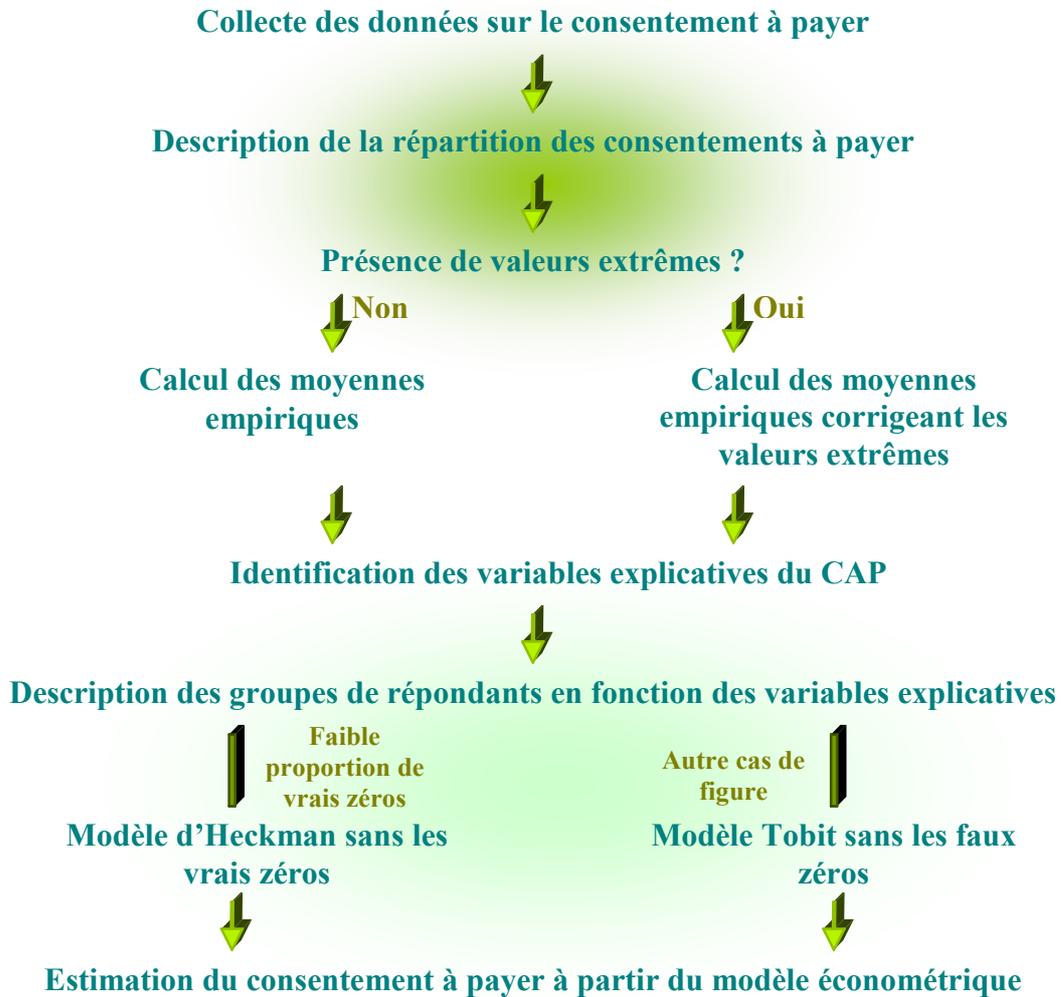


Figure 2 : Démarche d'analyse des réponses à la question (ouverte) de valorisation

3.4.1. Vrais et faux zéros

Dans de nombreuses enquêtes d'évaluation contingente, un pourcentage élevé de personnes interrogées expriment un consentement à payer (ou à recevoir) égal à 0 pour le bien ou service considéré. Pourtant, toutes les réponses nulles ne relèvent pas du même principe.

3.4.1.1. Les vrais zéros

Il est possible que les personnes déclarant une valeur nulle soient réellement indifférentes au bien étudié. Il s'agit de « **vrais zéros** » : **la valeur 0 correspond réellement à la valeur accordée à la nuisance** (ou à l'aménité, selon les cas). **Cette valorisation correspond à une situation dans laquelle les personnes répondant 0 estiment que leur niveau d'utilité restera inchangé si le programme proposé est mis en oeuvre.**

Deux motivations permettent généralement de caractériser les vrais zéros.

■ Un vrai zéro peut être déclaré par une personne qui estime que les bénéfices (ou nuisances) procurés (ou causés) par le bien considéré sont insuffisant(e)s pour motiver le paiement. Cela signifie bien que la valeur nulle annoncée correspond à une variation d'utilité nulle entre la situation sans le bien et la situation avec le bien.

■ Si une personne met en avant un niveau de revenu insuffisant pour justifier son refus de payer, on considère généralement qu'il s'agit aussi d'un vrai zéro. En effet, si les personnes interrogées refusent de payer, cela signifie qu'elles ne sont pas prêtes à renoncer à une partie de leurs autres consommations pour disposer du bien environnemental. Elles accordent donc une valeur faible ou nulle à ce bien environnemental.

3.4.1.2. Les faux zéros

Néanmoins, une valeur nulle peut aussi être déclarée par des personnes qui, dans d'autres parties du questionnaire, expriment un intérêt pour le bien. Dans ce cas, on parle de « **faux zéros** » : **la valeur nulle déclarée ne correspond pas à la vraie valeur accordée au changement contingent proposé.** Plusieurs raisons peuvent expliquer ce comportement : comportement de passager clandestin (free rider), réaction hostile à l'entretien ou au véhicule de paiement adopté. Dans ce cas, la valeur individuelle est, en fait, manquante car l'individu ne révèle pas son véritable consentement à payer (ou à recevoir). **Il est crucial pour l'analyse des réponses de traiter, d'une manière ou d'une autre, ces valeurs.**

3.4.2. Analyse empirique des données relatives au consentement à payer

3.4.2.1. Les valeurs aberrantes

Dans les enquêtes d'évaluation contingente utilisant une question ouverte comme mode de révélation du consentement à payer, il est possible (voire fréquent) que certaines valeurs proposées par les personnes interrogées soient très élevées. Cela soulève deux questions :

- S'agit-il de valeurs aberrantes ?
- Que faire de ces valeurs si elles sont aberrantes ?

Un consentement à payer peut être aberrant pour l'une des deux raisons suivantes.

- valeur atypique du point de vue statistique : l'observation individuelle ne semble pas provenir de la même population que les autres observations
- valeur aberrante du point de vue économique : le montant du consentement à payer déclaré par la personne interrogée peut être supérieure au niveau de revenu déclaré (revenu annuel si le consentement à payer est annuel).

Par conséquent, les deux démarches suivantes semblent utiles.

■ Contrôle de cohérence

Il conviendra de s'assurer systématiquement de la cohérence des consentements à payer déclarés avec le niveau de revenu des personnes interrogées.

■ Traitement des valeurs extrêmes

Deux méthodes principales peuvent être utilisées pour traiter les valeurs extrêmes.

La première méthode consiste à remplacer les valeurs que l'on pense être aberrantes par la dernière valeur non aberrante. Par exemple, si l'on trie par ordre croissant les consentements à payer et que l'on s'aperçoit que les k % valeurs les plus élevées sont aberrantes, alors on peut décider que ces valeurs seront ramenées à la dernière valeur non aberrante : on remplace donc les valeurs aberrantes par le centile d'ordre k . On parle alors de « moyenne winsorisée »³¹.

L'autre solution consiste à supprimer les valeurs aberrantes : il s'agit alors de calculer une « moyenne tronquée ».

³¹ Généralement, la procédure est symétrique : on supprime aussi les k % plus faibles valeurs.

Enfin, il faut noter qu'il est toujours possible de calculer la médiane de la distribution des consentements à payer. Contrairement à la moyenne qui est très sensible aux valeurs extrêmes, la médiane est relativement robuste par rapport à ces valeurs extrêmes.

3.4.2.2. Calculs empiriques

A partir de la classification des réponses en vrais zéros, faux zéros et consentements à payer strictement positifs, il est possible de calculer différentes valeurs de tendance centrale pour la distribution du consentement à payer. **En présence de valeurs aberrantes, il est nécessaire d'utiliser des moyennes tronquées ou winsorisées.** Par exemple, Sylvie Scherrer propose quatre hypothèses pour le calcul empirique des dommages moyens.

Le CAP moyen est calculé pour les seules personnes ayant exprimé un montant strictement positif.

Le CAP est calculé en considérant tous les zéros comme des valeurs nulles.

Le CAP est calculé en supprimant les faux zéros, ce qui revient à leur affecter la moyenne de l'ensemble des autres observations (CAP strictement positifs et vrais zéros).

On affecte aux « faux-zéros » la moyenne des CAP strictement positifs.

Schématiquement, la démarche empirique pour calculer les consentements à payer moyens qui a été utilisée dans les études conduites par la D4E peut être résumée par le tableau.

Cas	CAP > 0	Vrais zéros	Faux zéros
1	Inclus	Exclus	Exclus
2	Inclus	Inclus avec valeur 0	Inclus avec valeur 0
3	Inclus	Inclus avec valeur 0	Exclus
4	Inclus	Inclus avec valeur 0	Inclus : moyenne des CAP > 0

Tableau 5 – Champs des valeurs incluses dans le calcul des moyennes servant à établir les consentements à payer empiriques

Tableau 5 : Résumé des méthodes possibles pour traiter les valeurs nulles

Il est toujours intéressant de calculer des consentements à payer moyens par groupes de personnes interrogées. Par exemple, on peut calculer le CAP moyen par sexe, par âge, . . .

L'hypothèse 3 est à retenir.

3.4.3. Modèles économétriques pour intégrer les valeurs nulles

Une fois vrais et faux zéros mis en évidence, la question essentielle qui se pose est la suivante : faut-il intégrer, et comment, ses valeurs nulles dans l'analyse statistique des déterminants du consentement à payer ?

A cet égard, on peut distinguer deux cas de figure :

■ si la proportion de vrais zéros dans l'échantillon est faible³², alors il est légitime d'exclure les vrais zéros de l'analyse. Le modèle proposé, modèle pour corriger le biais de sélection par la méthode d'Heckman, permet d'analyser les valorisations positives et les faux zéros, en tenant compte du fait qu'il peut exister un biais de sélection.

■ Dans les autres cas, le modèle proposé, modèle Tobit, permet d'analyser les vraies valorisations (positives ou nulles), en tenant compte du fait que la proportion de 0 peut être élevée.

Valeurs à prendre en compte				
CAP > 0	Vrais zéros	Faux zéros	Modèle utilisé	Conditions de validité
Oui	Non	Oui	Méthode d'Heckman	Faible proportion de vrais zéros
Oui	Oui	Non	Tobit	Faux zéros similaires au reste de l'échantillon

Le tableau 6 résume ces deux approches.

Tableau 6– Résumé des méthodes possibles pour traiter les valeurs nulles

3.4.3.1. Méthode d'Heckman pour corriger le biais de sélection éventuel causé par les faux zéros

■ Présentation du modèle

Un modèle corrigeant le biais de sélection est utilisé pour produire des estimations correctes pour les paramètres individuels et les estimations du « bien-être ». **Ce modèle prend en compte le fait que la valeur fournie par une personne lors de la question de valorisation est le résultat de deux processus stochastiques potentiellement corrélés** : la personne donne une valeur au bien à partir d'un modèle de choix et décide de dévoiler ou non cette valeur (c'est-à-dire son prix de réserve) selon un autre modèle de choix.

³² Ce que l'on entend par « faible proportion » est à juger au cas par cas. On peut néanmoins proposer le seuil de 10% comme proportion maximale.

Formellement, on notera d_i la variable dichotomique (0 ou 1) qui indique si l'individu i révèle la valeur qu'il accorde au bien environnemental évalué. On suppose que la variable latente mesurant le « vrai » montant du consentement à payer de i est déterminée par un ensemble x_i de variables explicatives :

$$CAP_i^* = x_i\beta + \sigma u_i$$

De même, on suppose que la décision de révéler ou non son véritable consentement à payer est déterminée par le signe de la variable latente d_i^* définie par

$$d_i^* = z_i\gamma + \varepsilon_i$$

où z_i constitue un ensemble de variables pouvant expliquer la décision de révéler ou non son véritable consentement à payer³³. Plus particulièrement, $d_i = 1$ si $d_i^* \geq 0$ et $d_i = 0$ sinon.

En combinant ces deux décisions, il est clair que le véritable consentement à payer n'est observable que si $d_i = 1$ (c'est-à-dire si i décide de révéler la valeur qu'il accorde au bien). On peut donc écrire :

$$CAP_i = \begin{cases} CAP_i^* & \text{si } d_i = 1 \\ 0 & \text{si } d_i = 0 \end{cases}$$

$$CAP_i = \begin{cases} x_i\beta + \sigma u_i & \text{si } z_i\gamma + \varepsilon_i \geq 0 \\ 0 & \text{si } z_i\gamma + \varepsilon_i < 0 \end{cases}$$

On suppose que la distribution conjointe de (u_i, ε_i) est une loi normale bivariée de moyenne nulle, de variance unitaire et de corrélation ρ . Quand $\rho = 0$, les deux décisions sont indépendantes et les paramètres des deux équations peuvent être estimés séparément.

Il faut également noter que :

$$E(CAP_i^* / d_i = 1) = x_i\beta + \rho\sigma\lambda(z_i\gamma)$$

où $\lambda(z_i\gamma) = \frac{\varphi(z_i\gamma)}{\phi(z_i\gamma)}$ est l'inverse du ratio de Mill.

Une méthode classique pour estimer ce type de modèle a été proposée par Heckman. Il s'agit d'une démarche en deux étapes³⁴:

³³ x_i et z_i peuvent avoir des variables explicatives en commun. Dans le cas où ces deux ensembles de variables coïncident, on retrouve le modèle Tobit présenté dans la section suivante.

La première étape consiste à estimer l'équation de participation (c'est-à-dire la décision de révéler ou non son véritable consentement à payer) par un modèle Probit. Cela permet d'estimer γ et donc λ .

La seconde étape consiste en une régression (par les moindres carrés ordinaires) de CAP_i sur x_i et $\hat{\lambda}_i$, pour les seuls consentements à payer strictement positifs.

Procédure d'estimation recommandée :

Estimer séparément chacune des deux équations (participation et valorisation) : modèle Probit pour la participation et régression linéaire, par la méthode des moindres carrés ordinaires, pour la valorisation (pour des consentements à payer strictement positifs)

Estimer le modèle d'Heckman en deux étapes et tester la significativité du coefficient de $\hat{\lambda}$

Si le coefficient de $\hat{\lambda}$ n'est pas significativement différent de 0, accepter les estimations obtenues pour l'équation de valorisation à la phase (1). Si le coefficient de $\hat{\lambda}$ est significativement différent de 0, accepter les estimations obtenues pour l'équation de valorisation à la phase (2).

■ Calcul du consentement à payer moyen

On peut calculer plusieurs types de prévisions à partir des coefficients estimés :

Calcul du CAP moyen à partir du modèle sans correction du biais de sélection (c'est-à-dire du modèle de régression linéaire estimé lors de la phase 1) et des moyennes des variables explicatives sur l'échantillon des « strictement positifs ».

Calcul du CAP moyen pour toutes les observations à partir de la deuxième étape de la méthode d'Heckman, en utilisant les coefficients (sauf celui associé au paramètre $\hat{\lambda}$) et les valeurs moyennes des variables explicatives sur le sous-échantillon des strictement positifs et des faux zéros.

Calcul du CAP moyen conditionnellement à la participation, en corrigeant le biais de sélection, en utilisant tous les coefficients de la deuxième étape de la méthode d'Heckman et les valeurs moyennes des variables explicatives sur le sous-échantillon des strictement positifs.

³⁴ Il faut noter que les écarts-types fournis par les procédures de régression à la deuxième étape de la procédure d'Heckman sont incorrects. Par exemple, une macro SAS pour estimer un modèle par la méthode d'Heckman fournissent des écarts-type corrigés.

La différence entre les deux premières estimations du CAP moyen correspond au biais de sélection qui se produirait si les faux zéros étaient supprimés de l'échantillon.

Le tableau 7 résume les modes de calcul du CAP moyen.

Cas	Coefficients issus de	Valeurs moyennes calculées à partir de
1	Régression sans corriger le biais de sélection	$CAP > 0$
2	2 ^{ème} étape de la méthode d'Heckman	$CAP > 0$ et faux zéros
3	2 ^{ème} étape de la méthode d'Heckman	$CAP > 0$

Tableau 7 : Calculs du CAP

Dans une optique de calcul du consentement à payer total, nous recommandons l'utilisation du cas 2.

■ Conditions de validité

Ce modèle repose sur l'exclusion des vrais zéros. Cela n'est justifié que si la proportion des vrais zéros dans l'échantillon est faible.

3.4.3.2. Modèle Tobit d'analyse des vraies valorisations

Cette approche consiste à inclure uniquement dans l'analyse les réponses correspondant à une vraie valorisation (y compris les vrais zéros), et à exclure les faux zéros.

■ Présentation du modèle

On cherche ainsi à mesurer l'influence sur le consentement à payer des caractéristiques socio-économiques ou des opinions des personnes interrogées fournissant une vraie valorisation du bien. Le consentement à payer CAP est une variable « censurée ». En ce qui concerne l'estimation des équations de consentement à payer, ce problème de variable censurée recouvre deux dimensions :

Il existe une réelle borne inférieure : il n'est pas possible de consentir à payer une somme négative.

Il y a souvent une proportion significative de personnes qui fournissent une valeur nulle. Ne pas prendre en compte la concentration des réponses en 0 conduirait à ce que les

paramètres estimés (par la méthode des moindres carrés ordinaires) pour les variables explicatives soient biaisés.

Tobin (1958) a montré qu'il était utile de distinguer l'impact des variables explicatives sur la probabilité de fournir un consentement à payer strictement positif et leur impact sur le montant du consentement à payer.

De façon plus formelle, on considère une variable latente (c'est-à-dire inobservable) CAP_i^* qui sous-tend la variable observée CAP_i . Cette variable latente mesure, en quelque sorte, la vraie valeur accordée par i au bien évalué.

$$CAP_i^* = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i = x_i \beta + \varepsilon_i$$

Si $CAP_i^* \leq 0$, alors $CAP_i = 0$. Dans ce cas, l'observation est censurée en 0 et CAP_i^* n'est pas observé. En revanche, si $CAP_i^* \geq 0$, alors $CAP_i = CAP_i^*$ et CAP_i^* est observé. L'équation que l'on cherche à estimer est donc donnée par l'espérance conditionnelle de CAP_i sachant les variables explicatives $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ik})$:

$$E(CAP_i / x_i) = \phi\left(\frac{x_i \beta}{\sigma}\right) (x_i \beta + \sigma \lambda_i)$$

$$\text{avec } \lambda_i = \frac{\phi\left(\frac{x_i \beta}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{x_i \beta}{\sigma}\right)} \text{ et } \phi \text{ et } \Phi \text{ la densité et la fonction de répartition d'une loi normale}$$

centrée réduite.

Les paramètres de cette équation sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance.

Le modèle Tobit qui vient d'être présenté constitue donc une méthode rigoureuse pour analyser et estimer un modèle explicatif du consentement à payer quand seules les vraies valorisations (consentements à payer strictement positifs et vrais zéros) sont prises en compte.

■ Calcul du consentement à payer moyen

Pour le modèle Tobit, on peut calculer plusieurs types de prévisions à partir des coefficients estimés³⁵:

prévision de la variable latente CAP_i^* . L'espérance de la variable latente est estimée par

$$\hat{E}(CAP_i^*) = x_i \hat{\beta}$$

prévision de la variable observée CAP_i en tenant compte du fait que $CAP_i > 0$:

$$\hat{E}(CAP_i / CAP_i > 0) = x_i \hat{\beta} + \hat{\sigma} \hat{\lambda}_i$$

prévision pour toutes les valeurs de CAP_i :

$$\hat{E}(CAP_i) = \phi\left(\frac{x_i \hat{\beta}}{\hat{\sigma}}\right) x_i \hat{\beta} + \hat{\sigma} \phi\left(\frac{x_i \hat{\beta}}{\hat{\sigma}}\right)$$

Dans une optique de calcul du consentement à payer total, nous recommandons l'utilisation du cas 3 (valeurs positives estimées et valeurs négatives mises à 0). Notons que dans le cas 1, rien n'empêche que la moyenne de la variable latente prenne des valeurs négatives.

■ Conditions de validité

Rigoureusement, l'exclusion des faux zéros n'est valide que si le groupe des « protestataires » n'est pas significativement différent du reste de l'échantillon, au moins en ce qui concerne les variables figurant dans le modèle explicatif du consentement à payer (ou du consentement à recevoir). Pour vérifier cela, on peut tester si l'appartenance à l'un des deux groupes (vraies valorisations, faux zéros) a un effet significatif sur chacune des variables explicatives du modèle.

Si ce n'est pas le cas, alors on se trouve (peut-être) confrontés à un problème de **biais de sélectivité** (ou biais de sélection) : les estimations obtenues à partir du sous-échantillon des non-protestataires pourraient être biaisées. Il existe un modèle économétrique qui permet d'estimer un modèle de sélection incluant un modèle Tobit. Toutefois, il s'agit d'une modélisation complexe, difficile à réaliser en pratique. Nous nous en tiendrons donc au modèle Tobit, sachant qu'il n'est, dans certains cas, qu'une réponse approximative au problème.

³⁵ L'exemple 36.2 de la documentation de SAS-STAT est consacré aux calculs des valeurs prédites par un modèle Tobit, à partir de la PROC LIFEREG. Il présente le mode de calcul des prévisions 1 et 3.

Alternative au modèle Tobit

Reiser et Schechter (1999) ont proposé un modèle « concurrent » du modèle Tobit pour analyser les réponses aux questions ouvertes quand la proportion de valeurs nulles est élevée. L'une des différences avec le modèle Tobit est que dans le modèle Tobit la variable latente peut prendre des valeurs négatives.

Le modèle de Reiser et Schechter, similaire dans l'esprit à celui de Kriström (1997), repose sur l'idée suivante. L'échantillon est composé de deux sous-groupes : les personnes qui indiquent une valeur 0 ; les personnes qui indiquent une valeur positive. Pour ce second sous-groupe, la loi du consentement à payer est continue.

La procédure d'estimation proposée est très simple à mettre en oeuvre :

- Estimer un modèle Probit pour analyser la probabilité d'accepter de payer ;
- Estimer un modèle de régression linéaire classique pour les seuls consentements à payer strictement positifs. Reiser et Schechter proposent d'utiliser un modèle dans lequel on cherche à expliquer le logarithme du consentement à payer.

- Calculer le consentement à payer moyen à l'aide de la formule suivante :

$$\overline{CAP} = (1 - \pi) \exp \left[\hat{p} + \frac{1}{2} \hat{\sigma}^2 \right]$$

où π est la proportion de valeurs nulles sur l'échantillon,

\hat{p} la moyenne des valeurs prédites par le modèle de l'étape 2

et $\hat{\sigma}^2$ est la variance estimée des termes d'erreur du modèle.

3.5. Analyse des réponses pour une carte de paiement

3.5.1. Analyse statistique

L'analyse des réponses pour une carte de paiement suit la **même logique que l'analyse des réponses aux doubles questions fermées** (voir le paragraphe X). En effet, les méthodes de **régression par intervalle** (*Interval Data Model*) sont applicables avec les réponses provenant d'une carte de paiement puisqu'elles se présentent sous forme d'un intervalle (voir le paragraphe V. 2.3).

3.5.2. Choix des offres

Concernant le choix des offres proposées aux personnes interrogées, les recommandations diffèrent de celles proposées dans le cas des questions fermées. En effet, comme cela a été indiqué au paragraphe V. 3.4, les personnes qui ont un consentement à payer inférieur à la plus petite valeur proposée ont tendance à accepter de payer le plus petit montant proposé. Par conséquent, **la recommandation proposée dans le cas des questions fermées (éviter de proposer des valeurs dans les queues de distribution) ne doit pas être suivie ici. Le choix des offres adéquat devrait donc contenir tous les montants qui seraient inclus avec une question fermée, ainsi que des valeurs plus faibles et plus élevées (qui seraient écartées avec une question fermée).**

3.6. Analyse des réponses avec un système d'enchères

Avec un système d'enchères, les réponses peuvent être analysées de deux manières différentes :

- **Régression linéaire** usuelle : on considère dans ce cas que la valeur la plus élevée que la personne interrogée à accepter de payer constitue son véritable consentement à payer. Cette variable est alors considérée comme une variable continue et analysée avec les techniques de régression habituelles.

- **Régression par intervalles** : on considère dans ce cas que le consentement à payer de la personne interrogée est compris entre le montant le plus élevé qu'elle accepte de payer et le montant qu'elle refuse de payer. Les réponses se présentent donc sous la forme d'intervalles. La régression par intervalle présentée dans le cas des doubles questions fermées peut être appliquée pour traiter les données issues du système d'enchères.

Dans la mesure du possible, il est préférable d'utiliser la régression par intervalles.

4. Modèles binaires Logit et Probit³⁶

L'introduction d'une variable latente continue permet de modéliser de façon pertinente la réalisation d'un événement, en faisant référence à sa probabilité. Pour calculer cette probabilité et estimer les paramètres du modèle, il est nécessaire de spécifier une distribution statistique pour u_i . Les deux lois statistiques les plus couramment utilisées dans la pratique

³⁶ « Econométrie des variables qualitatives », Alban Thomas, Dunod.

sont la loi logistique et la loi de Gauss (distribution normale). Ces deux distributions donnent alors les modèles qualitatifs binaires appelés respectivement Logit et Probit.

Notons $F(.)$ la fonction de répartition issue de la distribution statistique du terme d'erreur u_i , et $f(.)$ la fonction de densité associée. Comme la valeur seuil peut être normalisée à 0, le modèle s'écrit de façon générale :

$$\boxed{\begin{cases} \Pr(y_i = 1) = \Pr(u_i > -x_i\beta) = 1 - F(-x_i\beta) \\ \Pr(y_i = 0) = \Pr(u_i \leq -x_i\beta) = F(-x_i\beta) \end{cases}}$$

On fait l'hypothèse de symétrie de la densité de u_i autour de 0 :

$$f(x_i\beta) = f(-x_i\beta)$$

et donc :

$$F(x_i\beta) = 1 - F(-x_i\beta)$$

ce qui permet de considérer les valeurs observées de y_i comme les réalisations d'un processus binomial avec probabilité $F(x_i\beta)$ pour $y_i = 1$ et $1 - F(-x_i\beta)$ pour $y_i = 0$. A la différence des processus binomiaux usuels, les probabilités varient à chaque « expérience », dans la mesure où elles dépendent de x_i . On aura donc $\Pr(y_i = 1) = 1 - F(-x_i\beta)$ et $\Pr(y_i = 0) = F(-x_i\beta) = 1 - F(x_i\beta)$. A partir de ces inégalités, le modèle peut s'écrire de façon plus compacte, en introduisant une variable, notée δ_i , prenant la valeur +1 si $y_i = 1$ et -1 sinon. Cette nouvelle variable sera construite comme $\delta_i = 2y_i - 1$. On a alors $\Pr(y_i) = F(\delta_i x_i \beta) = 1 - F(-x_i\beta)$ si $y_i = 1$, et $\Pr(y_i) = F(-x_i\beta)$ si $y_i = 0$.

Notons qu'un autre modèle est parfois utilisé, le modèle Gompit (de la loi de Gompertz). Contrairement aux Probit et Logit, cette distribution n'est pas symétrique, et la probabilité associée à $\{y_i = 1\}$ est :

$$\Pr(y_i = 1) = \exp(-e^{-x_i\beta})$$

4.1. Le modèle Probit

On fait ici l'hypothèse que l'erreur u_i est une variable suivant une loi normale de moyenne 0 et de variance σ^2 . Les fonctions de densité et de répartition associées à une variable normale $N(0,1)$ sont respectivement :

$$\phi(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-X^2/2} \quad \text{et} \quad \Phi(X) = \int_{-\infty}^X \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt$$

Pour utiliser ces expressions avec u_i , qui est de variance σ^2 , on doit « réduire » l'argument de la probabilité que $y_i = 1$, en divisant par l'écart-type σ :

$$\Pr(y_i = 1) = \Pr(u_i > -x_i\beta) = \Pr(u_i < x_i\beta)$$

$$\text{(par la propriété de symétrie)} = \Pr\left(\frac{u_i}{\sigma} < \frac{x_i\beta}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{x_i\beta}{\sigma}\right)$$

Un problème important apparaît à ce stade. Nous voyons que l'écart type σ du terme aléatoire u_i figure toujours en associant avec le vecteur de paramètres β dans l'argument de la fonction de répartition normale $\Phi(\cdot)$. En d'autres termes, il n'est pas possible d'identifier ce paramètre séparément de β . Une solution couramment adoptée consiste alors à normaliser l'écart-type σ à 1, ce que nous effectuerons par la suite.

Estimation du modèle Probit

En faisant l'hypothèse que les observations sont indépendantes et identiquement distribuées, la vraisemblance du modèle s'écrit comme le produit des probabilités associées aux réalisations de y_i . Notons N_1 et N_0 respectivement l'ensemble des observations pour lesquelles $\{y_i = 1\}$ et $\{y_i = 0\}$. Cette vraisemblance s'écrit pour le Probit, en séparant les observations :

$$L(y, x, \beta) = \prod_{N_1} [\Phi(x_i\beta)] \prod_{N_0} [1 - \Phi(x_i\beta)]$$

ou de façon plus compacte, en considérant l'ensemble des N observations :

$$L(y, x, \beta) = \prod_{i=1}^N [\Phi(x_i\beta)]^{y_i} [1 - \Phi(x_i\beta)]^{1-y_i}$$

soit enfin à l'aide la nouvelle variable δ_i :

$$L(y, x, \beta) = \prod_{i=1}^N [\phi(\delta_i x_i \beta)]$$

Le gradient de la log-vraisemblance est :

$$G(\beta) = \frac{\partial \log L}{\partial \beta} = \sum_i^N \frac{y_i \phi(x_i \beta) x'_i}{\phi(x_i \beta)} + \frac{(y_i - 1)}{1 - \phi(x_i \beta)} \phi(x_i \beta) x'_i = \sum_i^N \frac{[y_i - \phi(x_i \beta)] \phi(x_i \beta) x'_i}{\phi(x_i \beta) (1 - \phi(x_i \beta))}$$

En égalisant le gradient à 0 et en notant $w_i = \phi(x_i \beta) / [\phi(x_i \beta) (1 - \phi(x_i \beta))]$, on a :

$$\sum_{i=1}^N [y_i - \phi(x_i \beta)] x'_i w_i = 0$$

L'écriture ci-dessus est comparable à l'équation d'identification d'un modèle de régression non linéaire. En effet, elle constitue l'équivalent empirique de la condition $E[(x'_i w_i) v_i] = 0$, où v_i est le résidu dans le modèle non linéaire $y_i = \phi(x_i \beta) + v_i$, et w_i est une variable de pondération.

La présence de ce facteur de pondération w_i rend l'équation d'identification non linéaire, et le vecteur de paramètres ne peut être estimé directement. Par conséquent, un algorithme de maximisation numérique de la log-vraisemblance est nécessaire. Les algorithmes usuels se fondent sur l'utilisation de deux expressions : le gradient et le Hessian associés à la log-vraisemblance. Ce dernier s'écrit :

$$H(\beta) = - \sum_{i=1}^N \frac{\phi^2(x_i \beta) x'_i x_i}{\phi(x_i \beta) [1 - \phi(x_i \beta)]}$$

4.2. Le modèle Logit

La distribution logistique à l'origine du modèle Logit admet comme fonctions de répartition et de densité les expressions suivantes :

$$\Lambda(x_i \beta) = \frac{\exp(x_i \beta)}{1 + \exp(x_i \beta)} \quad \lambda(x_i \beta) = \frac{\exp(x_i \beta)}{[1 + \exp(x_i \beta)]^2}$$

Ces expressions sont plus faciles à manipuler que les fonctions $\phi(\cdot)$ et $\Phi(\cdot)$ de la loi normale. On a ainsi :

$$1 - \Lambda(x_i, \beta) = \Lambda(-x_i, \beta) = \frac{\exp(-x_i \beta)}{1 + \exp(-x_i \beta)} = \frac{1}{1 + \exp(x_i \beta)}$$

Remarquons que la probabilité associée à la loi logistique peut être inversée. Si l'on note p_i la probabilité que $y_i = 1$, on a alors la représentation suivante :

$$\log\left(\frac{p_i}{1 - p_i}\right) = x_i \beta$$

Et l'on vérifie bien que la probabilité que $y_i = 1$ est une fonction croissante de la combinaison linéaire $x_i \beta$.

Estimation du modèle Logit

L'estimation du modèle Logit repose aussi sur la maximisation de la log-vraisemblance. La vraisemblance s'écrit :

$$L(y, x, \beta) = \prod_{i=1}^N \left[\frac{1}{1 + \exp(x_i \beta)} \right]^{1 - y_i} \left[\frac{\exp(x_i \beta)}{1 + \exp(x_i \beta)} \right]^{y_i}$$

soit la log-vraisemblance :

$$\begin{aligned} \log L &= \sum_{i=1}^N \left\{ (1 - y_i) \log[(1 + \exp(x_i \beta))^{-1}] + y_i (x_i \beta) - y_i \log(1 + \exp(x_i \beta)) \right\} \\ &= - \sum_{i=1}^N \left\{ \log[1 + \exp(x_i \beta)] - y_i (x_i \beta) \right\} \end{aligned}$$

Les conditions de premier ordre sont :

$$G(\beta) = \frac{\partial \log L}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^N y_i x'_i - \sum_{i=1}^N \frac{\exp(x_i \beta)}{1 + \exp(x_i \beta)} x'_i = 0 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^N [y_i - \Lambda(x_i \beta)] x'_i = 0$$

Le Hessien est :

$$H(\beta) = -\sum_{i=1}^N \frac{\exp(x_i \beta)}{[1 + \exp(x_i \beta)]^2} x_i' x_i$$

Comme dans le cas du modèle Probit, les conditions du premier ordre s'écrivent sous la forme d'une condition d'identification : au point solution pour β , l'écart entre la variable dépendante y_i et son espérance conditionnelle ne doit pas être corrélé avec le vecteur des variables explicatives x_i . On note qu'il n'y a pas dans ce cas de variable de pondération.

Après convergence, les valeurs des probabilités estimées sont alors calculées en remplaçant β par son estimation $\hat{\beta}$:

$$\hat{p}_i = \frac{\exp(x_i \hat{\beta})}{1 + \exp(x_i \hat{\beta})}$$

Et de la condition du premier ordre, on a :

$$\sum_{i=1}^N x_i y_i = \sum_{i=1}^N \hat{p}_i x_i$$

Supposons que le modèle contient un terme constant, par exemple $x_{i0} = 1$ pour tout i . De l'expression ci-dessus, il vient :

$$\sum_{i=1}^N y_i = \sum_{i=1}^N \hat{p}_i$$

C'est-à-dire qu'en divisant par N , la fréquence estimée est égale à la fréquence observée. Si par ailleurs le modèle contient une variable indicatrice identifiant un sous-groupe dans l'échantillon (sexe de la personne par exemple), la fréquence estimée est égale à la fréquence théorique sur le sous-groupe pour lequel la variable indicatrice vaut 1.

4.3. Comparaison entre le Probit et le Logit

Dans la pratique, les modèles Probit et Logit sont très similaires en termes d'ajustement statistique. En effet, les distributions normale et logistique font partie de la même famille de lois exponentielles. On note des différences uniquement dans le cas de très grands échantillons, car le comportement de ces deux distributions de probabilité ne diffère qu'aux extrémités du support (faibles et fortes valeurs de la fonction de répartition F). Pour la loi

normale, les probabilités extrêmes sont moins pondérées, la fonction de répartition tendant plus vite vers 0 ou vers 1.

Le test d'indépendance du Khi-deux

Deux variables qualitatives à respectivement r et h catégories sont mesurées simultanément sur N unités statistiques et on s'intéresse au croisement de ces deux variables qui est décrit par un tableau de probabilités π_{ij} .

L'hypothèse nulle correspond à l'hypothèse d'indépendance³⁷ entre les deux variables et l'hypothèse alternative à l'existence d'une "relation". La statistique employée est dite du chi-carré d'indépendance de Pearson :

$$\chi^2 = \sum_{i=1, j=1}^{r, h} \frac{(n_{ij} - n_{i*}n_{*j} / N)^2}{n_{i*}n_{*j} / N}$$

où n_{ij} est le nombre de réalisations correspondant au croisement des catégories i et j , n_{i*} est le nombre de réalisations de la catégorie i et n_{*j} celui de la catégorie j .

Sous l'hypothèse nulle, cette statistique suit aussi une loi du chi-carré χ^2 mais avec $df=(r-1)(h-1)$ degrés de liberté. La forme de la région critique est donc la même (attention aux degrés de liberté toutefois).

³⁷ soit $\pi_{ij} = \pi_i \times \pi_j$

ANNEXE 11

Programme SAS

```
/****** /
/* ECHANTILLONNAGE */
/****** /

footnote1 AERM/DAT/SEPA/CRé;
footnote2 2007;

/* Echantillonnage probabiliste */

/* Echantillonnage aléatoire simple avec remise*/
title Echantillonnage aléatoire simple avec remise;
proc surveysselect data=Table
    method=srs
    n=50 /* Taille de l'échantillon*/
    out=EAS_sans_remise_table;

run;
title;

/* Echantillonnage aléatoire simple avec remise*/
title Echantillonnage aléatoire simple avec remise;
proc surveysselect data=Table
    method=urs
    n=50 /* Taille de l'échantillon*/
    out=EAS_avec_remise_table;

run;
title;

/* Echantillonnage systématique*/
title Echantillonnage systématique;
proc surveysselect data=libacb.Table
    method=sys
    n=50 /* Taille de l'échantillon*/
    out=libacb.Ech_syst;

run;
title;

/* Echantillonnage avec probabilité proportionnelle à la taille sans remise*/
title Echantillonnage avec probabilité proportionnelle à la taille sans remise;
proc surveysselect data=libacb.Table
    method=pps
    n=20 /* Taille de l'échantillon*/
    out=libacb.Ech_pps;

size individu;
run;
title;

/* Echantillonnage avec probabilité proportionnelle à la taille avec remise*/
title Echantillonnage avec probabilité proportionnelle à la taille avec remise;
proc surveysselect data=libacb.Table
    method=pps_wr
    n=50 /* Taille de l'échantillon*/
    out=libacb.Ech_wr;
```

```

size individu;
run;
title;

footnote1;
footnote2;

/*****
/* Statistiques élémentaires*/
*****/

footnote1 AERM/DAT/SEPA/CRé;
footnote2 2007;

/* Caractéristiques de la table analysée */
proc contents data=traistat.table details;
run;

/***** Etude des variables qualitatives *****/
/* Tableau de répartition */
proc freq data=traistat.table;
tables paiement sexe age rev prof niv_etud nbr_pers;
run;

/***** Représentation graphique *****/
/* Variable Revenu */
title 'Frequence des modalites de la variable Revenu';
proc gchart data=traistat.table;
pie rev / slice=arrow percent=inside value=none noheading;
run;
quit;
title;

/* Variable Catégorie Socio-Professionnelle */
title 'Frequence des modalites de la variable Profession';
proc gchart data=traistat.table;
pie prof / slice=arrow percent=inside value=none noheading;
run;
quit;
title;

/* Variable Nombre de personnes dans le foyer */
title 'Frequence des modalites de la variable Nombre de personnes dans le
foyer';
proc gchart data=traistat.table;
pie nbr_pers / slice=arrow percent=inside value=none noheading;
run;
quit;
title;

/* Variable Sexe de la personne enquêtée */
title 'Frequence des modalites de la variable Sexe';
proc gchart data=traistat.table;
pie sexe / slice=arrow percent=inside value=none noheading;
run;
quit;
title;

/* Variable Niveau d'études */
title 'Frequence des modalites de la variable Niveau d''etude';
proc gchart data=traistat.table;

```

```

pie niv_etud / slice=arrow percent=inside value=none noheading;
run;
quit;
title;

/* Variable Acceptabilité de payer */
title 'Frequence des modalites de la variable Paiement';
proc gchart data=traistat.table;
pie paiement / slice=arrow percent=inside value=none noheading;
run;
quit;
title;

/***** Tableau de contingence et analyse du Chi-deux *****/
/* Croisement des variables Acceptabilité de payer et Sexe de la personne
enquêtée*/
proc freq data=Traistat.table;
tables paiement sexe / chisq;
run;

/* Croisement des variables Acceptabilité de payer et Nombre de personnes
dans le foyer*/
proc freq data=Traistat.table;
tables paiement nbr_pers / chisq;
run;

/* Croisement des variables Acceptabilité de payer et Niveau d'étude*/
proc freq data=Traistat.table;
tables paiement niv_etud / chisq;
run;

/* Croisement des variables Acceptabilité de payer et Catégorie socio-
professionnelle*/
proc freq data=Traistat.table;
tables paiement Prof / chisq;
run;

/* Croisement des variables Acceptabilité de payer et Revenu*/
proc freq data=Traistat.table;
tables paiement Rev / chisq;
run;

/***** Etude des variables quantitatives *****/
title 'Histogramme representant les valeurs du Consentement a payer de
l''echantillon';
proc univariate data=traistat.table all;
var essaiCAP;
histogram essaiCAP / normal(color=red w=3 percents=20 40 60 80 midpercents)
                cframe = gold
                cfill  = orange
                vaxislabel = 'Pourcentage';
inset n mean='Moyenne' std='Ecart-type' normal(ksdpval)/ pos = nw
header='Statistiques' format = 6.3 cfill=ywh;
run;
quit;
title;

/* Annulation des pieds de pages */
footnote1;
footnote2;

```

```

/*****/
/* Estimation de la moyenne du Consentement à Payer */
/*****/

/* Estimation de la moyenne et de l'ecart-type selon un plan de sondage
aléatoire simple */
proc surveymeans data=traistat.Table all total=1000 ;
var essaiCAP;
run;

/*****/
/* Analyse multivariée */
/*****/

/* Analyse Factorielle des Correspondances Multiples*/
proc corresp data=traistat.tablebis outc=afc all;
tables paiement sexe age rev prof niv_etud nbr_pers;
run;
%plotit(data=afc, datatype=corresp, plotvars=Dim1 Dim2)

/*****/
/* Régression logistique et modèle PROBIT */
/*****/

footnote1 AERM/DAT/SEPA/Cre;
footnote2 2007;

proc surveylogistic data=traistat.tablebis;
class paiement sexe rev niv_etud prof;
model paiement = essaiCAP sexe rev nbr_pers niv_etud prof / corrb rsquare
stb ;
run;

proc probit data=traistat.table;
class paiement sexe age prof niv_etud nbr_pers rev;
model paiement = sexe age prof niv_etud nbr_pers rev / aggregate lackfit;
run;

footnote1;
footnote2;

```

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	2
SOMMAIRE	2
INTRODUCTION.....	6
PARTIE 1 LES AGENCES DE L'EAU	10
1. Généralités.....	10
1.1. Présentation	10
1.2. Objectif.....	12
2. L'Agence de l'eau Rhin-Meuse	12
2.1. Caractéristiques du bassin Rhin-Meuse	12
2.2. L'AERM.....	14
2.3. Le service SEPA (Service Economie et Appui au Programme)	14
3. La Directive Cadre Européenne	15
3.1. Les principes clés	15
3.2. L'analyse économique dans la DCE	18
3.3. Le 9ème programme.....	19
PARTIE 2 ANALYSE COÛTS-BÉNÉFICES	22
1. L'analyse Coûts-Bénéfices dans la théorie économique.....	24
1.1. La théorie néo-classique.....	24
1.2. Consentement à Payer et théorie du consommateur.....	24
2. L'Analyse Coûts-Bénéfices comme outil économique d'aide à la décision	26
2.1. L'analyse des coûts	26
2.2. L'analyse des bénéfices.....	27
3. Identification des bénéfices.....	27
3.1. Les différents types de bénéfices	27
3.2. Les bénéfices de nature marchande.....	28
3.3. Les bénéfices non marchands.....	29
3.4. Peut-on ajouter les bénéfices marchands et non marchands ?	32
PARTIE 3 AGRÉGATION DES DONNÉES : VALEURS-GUIDES ET ÉQUATIONS DE TRANSFERT	35
1. Problématique.....	35
2. Les méthodologies mises en œuvre.....	39
2.1. Méthodologie de transfert développée par la cellule Economie et Prospective de l'AERM.....	39
2.1.1. Valeurs pouvant être transférables et extrapolables.....	39
2.1.2. Formule pour réussir un transfert de CAP d'une zone géographique à une autre	40
2.1.2.1. Masses d'eau de surface – bénéfice pour la population : biodiversité/paysages	42
2.1.2.2. Masses d'eau souterraines – bénéfice pour la population : qualité eau potable	43
2.1.2.3. Etapes menant à l'évaluation des bénéfices liés à la biodiversité/paysages et à l'eau potable	43
2.2. Données disponibles pour le transfert de valeurs-guides : le logiciel de synthèse coûts-bénéfices (D4E).....	44
2.2.1. Principe d'utilisation	45
2.2.2. Agrégation : les bénéfices à l'échelle d'un territoire (comptage des usagers)	48
2.2.3. La phase 2 (recours à des valeurs-guides) permet-elle de conclure, ou faut-il passer à la phase 3 (réalisation d'une étude locale) ?.....	49

PARTIE 4 L'ENQUÊTE.....	52
1. Quel mode d'enquête choisir ?.....	52
2. Echantillonnage.....	53
2.1. Procédure d'échantillonnage.....	54
2.1.1. Le plan d'enquête.....	55
2.1.2. La base de sondage.....	59
2.1.3. Les unités d'enquête.....	59
2.1.4. La taille de l'échantillon.....	60
2.1.4.1. Quelle doit être la taille minimale de l'échantillon ?.....	61
2.1.4.2. Détermination de la taille de l'échantillon en fonction du budget disponible.....	62
2.1.4.3. Détermination de la taille de l'échantillon à partir de calculs statistiques.....	62
2.1.4.4. Cas particulier de la méthode des prix hédoniques.....	64
2.1.5. L'inférence statistique.....	64
2.2. Taille de l'échantillon.....	67
2.3. La méthode d'échantillonnage.....	73
2.3.1. Échantillonnage probabiliste.....	74
2.3.1.1. Échantillonnage aléatoire simple.....	75
2.3.1.2. Échantillonnage systématique.....	76
2.3.1.3. Échantillonnage avec probabilité proportionnelle à la taille.....	77
2.3.1.4. Échantillonnage stratifié.....	77
2.3.1.5. Échantillonnage en grappes.....	78
2.3.1.6. Échantillonnage à plusieurs degrés.....	79
2.3.1.7. Échantillonnage à plusieurs phases.....	79
2.3.2. Échantillonnage non probabiliste.....	80
2.3.2.1. Échantillonnage de commodité ou à l'aveuglette.....	81
2.3.2.2. Échantillonnage volontaire.....	82
2.3.2.3. Échantillonnage au jugé.....	82
2.3.2.4. Échantillonnage par quotas.....	82
2.4. Préparation des données et redressement d'échantillon.....	84
2.4.1. La préparation des données.....	84
2.4.2. Le redressement d'échantillon.....	86
2.4.3. Les calculs de redressement.....	90
2.5. Vérification des données.....	92
2.6. Estimation à partir d'un échantillon.....	95
2.6.1. Terminologie de l'estimation.....	97
2.6.2. Poids d'échantillonnage.....	100
2.6.3. Erreur d'échantillonnage.....	102
2.6.4. Erreurs non dues à l'échantillonnage.....	106
2.6.5. Propriétés des estimateurs.....	109
2.6.6. Quelques estimateurs.....	110
2.6.7. Efficacité, convergence et intervalle de confiance.....	112
2.6.8. Estimation d'une moyenne d'une population et intervalle de confiance ...	113
2.6.9. Estimation de la variance σ^2 d'une population.....	116
2.6.10. Estimation du total d'une population.....	117
2.6.11. Estimation du pourcentage π d'une population.....	118
2.6.12. Influence des techniques de sondages sur les estimateurs.....	119
2.6.13. Détermination de la taille d'un échantillon.....	119
2.6.14. Taille de l'échantillon pour estimer μ	119
2.6.15. Taille de l'échantillon pour estimer π	120
3. Questionnaire.....	123
4. Outil de saisie sous Access.....	123

5. Outil sous Excel d'analyse des données statistiques relatives aux données socio-économiques de l'échantillon.....	125
6. Traitement statistique et économétrie	126
6.1. Estimation des paramètres de tendance centrale et de dispersion	127
6.2. Statistique exploratoire.....	128
6.2.1. Paramètres de position et de dispersion	128
6.2.2. Analyses univariée et bivariée, analyse des corrélations	128
6.3. Analyse des données	131
6.3.1. Analyse multivariée.....	131
6.3.1.1. Analyse Factorielle des Correspondances.....	131
6.3.1.2. Analyse Factorielle des Correspondances Multiples	132
6.4. Régressions.....	132
CONCLUSION	138
BIBLIOGRAPHIE et SITOGRAFIE	141
GLOSSAIRE.....	144
ANNEXES	149
ANNEXE 1 Calendrier général de la DCE et son application en France	149
ANNEXE 2 Extraits des éléments économiques présents dans la Directive Cadre Européenne.....	150
ANNEXE 3 ARTICLE 83 - loi du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques (extrait) - Orientations prioritaires des programmes pluriannuels d'intervention des agences de l'eau 2007 à 2012	152
ANNEXE 4 Loi des grands nombres	153
ANNEXE 5 Théorème central limite	154
ANNEXE 6 Les principales méthodes de valorisation	155
1. La méthode des coûts de transport	157
1.1. Brève présentation des fondements du modèle	158
1.2. Définir le cadre de l'étude	160
1.3. Décider du traitement des visites à buts multiples	161
1.4. Mesurer les coûts de transport.....	162
1.4.1. Coût de transport simple	162
1.4.1.1. Déplacements en voiture	162
1.4.1.2. Déplacements par d'autres moyens de transport.....	163
1.4.2. Coût de l'équipement	163
1.4.3. Touristes, coût de transport et coût d'hébergement	164
1.4.4. Coût d'opportunité du temps	165
1.4.5. Sites substitués	166
2. La méthode des prix hédoniques.....	167
3. La méthode d'évaluation contingente	168
3.1. Identifier le changement à valoriser	169
3.2. Déterminer la population concernée	171
3.2.1. Quel périmètre d'étude ?	171
3.2.2. Individus ou ménages ?	172
3.3. Approche économique.....	173
3.4. Limites de l'évaluation contingente	175
4. Quelle méthode choisir ?.....	179
5. Les autres méthodes	184
5.1. Méthodes d'évaluation par les coûts (éviter, restauration, protection).....	184
5.1.1. Les coûts de protection des ménages	184
5.1.2. Coûts d'éviter et de restauration.....	185
5.1.2.1. Un positionnement au niveau de l'offre.....	185
5.1.2.2. Lecture du coût engagé	186

5.1.2.3. Les coûts d'évitement.....	187
5.1.2.4. Coûts de restauration.....	187
5.2. Comparaison des méthodes d'estimation de la demande et des méthodes de coûts d'évitement.....	188
ANNEXE 7 Quel mode d'enquête choisir ?	189
1. Choisir le mode d'enquête.....	189
2. L'enquête par courrier.....	191
2.1. Avantages.....	191
2.2. Inconvénients	192
3. L'enquête en face-à-face.....	193
3.1. Avantages.....	193
3.2. Inconvénients	193
4. L'enquête téléphonique.....	194
4.1. Avantages.....	194
4.2. Inconvénients	194
5. Bilan	194
ANNEXE 8 Questionnaires	196
1. La méthode des coûts de transports.....	196
1.1. Les déterminants de la fréquentation du site.....	196
1.2. La structure du questionnaire	196
2. La méthode d'évaluation contingente	197
2.1. La description du bien valorisé	199
2.1.1. Neutralité de la description	199
2.1.2. Une description suffisante pour assurer la bonne compréhension	200
2.2. Description de la façon dont l'amélioration de la qualité environnementale est obtenue	201
2.3. Description des conditions du paiement.....	201
2.3.1. Choix du support de paiement.....	201
2.3.2. Choix d'une règle de décision.....	202
2.3.3. Choix d'un cadre temporel pour le paiement.....	203
2.4. La question de valorisation	203
2.4.1. Présentation des différents modes de révélation de la valeur.....	203
2.4.2. Critères de comparaison des différentes modes de révélation de la valeur.....	204
2.4.2.1. Premier critère : les comportements stratégiques.....	205
2.4.2.2. Deuxième critère : la facilité de mise en œuvre.....	205
2.4.2.3. Troisième critère : l'efficacité statistique.....	205
2.4.2.4. Quatrième critère : les problèmes potentiels.....	206
2.4.3. Avantages et inconvénients des différents modes de révélation	206
2.4.3.1. Question ouverte	206
2.4.3.2. Question fermée simple.....	207
2.4.3.3. Double question fermée	207
2.4.3.4. Carte de paiement.....	207
2.4.3.5. Bilan	207
2.4.4. Les autres questions	208
2.4.4.1. Les questions socio-économiques	208
2.4.4.2. Les questions sur les caractéristiques des visites et l'opinion sur l'environnement	209
2.4.4.3. La question de suivi destinée à identifier les vrais et les faux zéros.....	210
2.4.4.3.1. Les vrais zéros.....	210
2.4.4.3.2. Les faux zéros.....	210
ANNEXE 9 Questionnaires proposés	212
ANNEXE 10 Les modèles économétriques	213

1.	La méthode des coûts de transport	213
1.1.	Estimer le modèle	213
1.1.1.	Modèle statistique utilisé pour l'enquête téléphonique	213
1.1.2.	Modèle statistique utilisé pour l'enquête sur site, en face à face	214
1.2.	Calculer la valeur d'usage	215
1.2.1.	Cas général	215
1.2.2.	Valeur par activité	215
1.2.3.	Calcul des écarts-type du surplus du consommateur	216
1.3.	Les modèles zonaux	216
1.3.1.	Principe	216
1.3.2.	Modèle économétrique	217
2.	La méthode des prix hédoniques	218
2.1.	Quelles sont les variables explicatives à inclure dans le modèle ?	218
2.1.1.	Les caractéristiques du logement	218
2.1.2.	Les variables environnementales	219
2.1.2.1.	Variables environnementales au sens large	219
2.1.2.2.	L'évolution des prix de l'immobilier dans le temps	220
2.2.	Comment estimer un modèle hédonique ?	220
2.2.1.	Une estimation du modèle en deux étapes	220
2.2.2.	Mesure des variations de bien-être	221
2.3.	Les modèles économétriques	222
2.3.1.	Modèles avec variable expliquée en niveau	222
2.3.2.	Modèles avec variable expliquée en logarithme	222
2.3.3.	Transformation de Box-Cox	223
2.4.	Comment calculer les variations de bien-être ?	224
2.4.1.	Variation de bien-être liée à un changement marginal de la qualité	224
2.4.2.	Variation de bien-être liée à un changement non marginal de la qualité ...	224
2.5.	Choix de la forme fonctionnelle	225
2.5.1.	Brève revue de la littérature	225
2.5.2.	La variable expliquée	226
2.5.3.	Les variables explicatives	227
2.6.	Quelques problèmes économétriques	228
2.6.1.	Variables explicatives et colinéarité	228
2.6.2.	Autres problèmes économétriques	229
2.7.	Annexe économétrique	229
2.7.1.	Modèles avec variable expliquée en niveau	229
2.7.2.	Modèles avec variable expliquée en logarithme	230
2.7.3.	Transformation de Box-Cox	230
2.7.4.	Calcul des prix implicites pour les différentes formes fonctionnelles	232
2.7.5.	Faut-il inclure les variables explicatives en niveau ou en logarithme ?	232
2.7.6.	Mesurer la qualité de l'ajustement dans les modèles log-linéaires	233
2.7.7.	Variable expliquée en logarithme ou en niveau ?	234
2.7.7.1.	Tester l'hypothèse de linéarité contre l'hypothèse de log-linéarité	234
2.7.7.2.	Linéaire et log-linéaire vs. Box-Cox	234
3.	La méthode d'évaluation contingente	235
3.1.	Analyser les données	235
3.1.1.	L'intérêt des modèles économétriques	235
3.1.2.	Les variables explicatives des modèles	236
3.2.	Analyse des questions fermées simples	236
3.2.1.	Approche non-paramétrique	236
3.2.2.	Approche par la fonction d'utilité indirecte	239
3.2.2.1.	Présentation de la démarche	239

3.2.2.2.	Calcul du consentement à payer pour un modèle à utilité aléatoire linéaire	243
3.2.2.3.	Commentaire	243
3.2.3.	La distribution du consentement à payer.....	244
3.2.3.1.	Comment « borner » le consentement à payer ?	244
3.2.3.2.	Sensibilité des résultats aux hypothèses.....	245
3.2.4.	Modèles Spike	246
3.2.5.	Comment calculer l'écart-type du consentement à payer ?.....	248
3.2.6.	Comment choisir les offres proposées ?.....	248
3.3.	Analyse des doubles questions fermées	251
3.4.	Analyse des réponses à la question ouverte	253
3.4.1.	Vrais et faux zéros.....	254
3.4.1.1.	Les vrais zéros.....	254
3.4.1.2.	Les faux zéros.....	254
3.4.2.	Analyse empirique des données relatives au consentement à payer	255
3.4.2.1.	Les valeurs aberrantes	255
3.4.2.2.	Calculs empiriques	256
3.4.3.	Modèles économétriques pour intégrer les valeurs nulles	257
3.4.3.1.	Méthode d'Heckman pour corriger le biais de sélection éventuel causé par les faux zéros.....	257
3.4.3.2.	Modèle Tobit d'analyse des vraies valorisations	260
3.5.	Analyse des réponses pour une carte de paiement	263
3.5.1.	Analyse statistique.....	263
3.5.2.	Choix des offres	264
3.6.	Analyse des réponses avec un système d'enchères	264
4.	Modèles binaires Logit et Probit	264
4.1.	Le modèle Probit	265
4.2.	Le modèle Logit	267
4.3.	Comparaison entre le Probit et le Logit	269
	ANNEXE 11 Programme SAS	271
	TABLE DES MATIÈRES	275
	RESUME.....	281

La Directive Cadre sur l'Eau du 23 Octobre 2000 impose aux états membres un objectif de bon état des eaux pour 2015.

Pour ce faire, un plan de gestion appelé **Programme de Mesure** doit être établi pour 2009 avec un avant-projet fin 2006 pour la France. Le Programme de Mesures requis par la Directive Cadre sur l'Eau nécessite d'**identifier des mesures permettant d'atteindre le bon état écologique en 2015**. Une fois les mesures identifiées, il conviendra de s'intéresser à leurs coûts puisque certains coûts peuvent s'avérer disproportionnés ("exagérément coûteux" au sens de la Directive) et nécessiter une **dérogation en termes de délais**. Deux reports de 6 ans sont prévus. Afin de déterminer si un coût est disproportionné, il sera utile de mener une analyse Coûts-Bénéfices.

Les bénéfices en question sont de plusieurs ordres : marchands et non-marchands.

Les **bénéfices marchands** englobent les coûts évités par la mise en place des mesures de restauration des milieux aquatiques, leur impact sur les activités économiques et enfin la valeur patrimoniale de la masse d'eau qui fait l'objet de mesures de restauration. Les bénéfices marchands sont chiffrés au sein des marchés déjà existants, comme le tourisme vert ou les coûts de fonctionnement des stations d'épuration.

Les **bénéfices non-marchands** recouvrent des notions telles que l'accroissement de bien-être des usagers des milieux aquatiques et des non-usagers (personnes ne fréquentant pas les milieux). Les avantages non marchands sont donc plus difficiles à appréhender en raison de l'absence de marché et par conséquent de prix .

Il existe malgré tout des procédures permettant de pallier cette absence d'indicateurs. L'une d'entre elles est la **méthode d'évaluation contingente**. Elle consiste à **attribuer une valeur économique à des biens non marchands** (comme un lac par exemple). Cette valeur est estimée à partir des **consentements à payer** des habitants concernés par les mesures de sauvegarde de l'environnement. Il est ainsi possible d'évaluer les bénéfices engendrés par l'amélioration du milieu naturel. Pour des raisons de temps et de coûts, une autre méthode est utilisable : il s'agit du **transfert des valeurs-guides**, calculées sur la base des études déjà existantes. Cette méthode est cependant à utiliser avec prudence.

Dans la pratique, l'estimation de ce consentement advient au travers d'un sondage effectué dans les formes habituellement requises :

- identification de la population concernée
- constitution d'un échantillon représentatif
- élaboration d'un questionnaire adapté accompagné d'une note explicative du contexte de l'étude.

Il est à noter que l'analyse contingente ne constitue qu'une manière de conceptualiser les problèmes relatifs à l'évaluation environnementale. Elle possède des avantages (mise en oeuvre relativement aisée), mais aussi des risques, découlant principalement du scénario hypothétique dans lequel sont placés les agents. Le consentement à payer doit ainsi être utilisé avec circonspection.

L'objectif de ce stage est donc :

- la réalisation d'un outil permettant de déterminer l'échantillon représentatif nécessaire à chaque lancement d'une analyse Coûts-Bénéfices et la méthodologie associée
- la conception d'une équation de transfert des valeurs-guides
- de poursuivre l'élaboration du questionnaire et la note explicative s'y référant
- la réalisation d'un outil permettant la saisie des données
- le traitement statistique et économétrique des données sous SAS