

Stratégies d'échantillonnage et modèles de comptage dans la méthode des coûts de transport

Sébastien TERRA

*Ministère de l'écologie et du développement durable,
Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale*

Introduction

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. Ils reflètent non seulement la distance parcourue par les visiteurs pour se rendre sur un site donné mais aussi un coût d'opportunité du temps, spécifique à chacun. 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 (voir [4] et [12] pour plus de détails).

La fréquentation peut être déterminée au niveau agrégé pour différentes zones géographiques (méthode des coûts de transport zonale ; voir [4]) ou au niveau individuel. A l'heure actuelle, la plupart des applications de la méthode des coûts de transport consacrés à l'étude d'un seul site utilisent des données individuelles.

Afin de déterminer le niveau de fréquentation d'un site naturel, des enquêtes sont généralement réalisées auprès d'échantillons de visiteurs et/ou de non-visiteurs. Ces enquêtes peuvent être des enquêtes téléphoniques réalisées auprès d'un échantillon "représentatif de la population" ou des enquêtes réalisées sur place, en face en face, auprès des visiteurs du site étudié. Le choix de la stratégie d'échantillonnage conditionne la nature des modèles économétriques utilisés. D'une part, l'enquête téléphonique permet d'interroger des visiteurs et des non-visiteurs ; les modèles économétriques doivent donc rendre compte de cette distinction. D'autre part, les enquêtes sur place souffrent d'un problème de stratification endogène.

Pour illustrer ces considérations méthodologiques, des données d'enquêtes sur les aménités récréatives procurées par le lac du Der sont utilisées. Le lac du Der est un barrage réservoir de la Seine, créé en 1974, afin de prévenir les crues de la Seine et de permettre le soutien aux étiages. Il s'agit du plus grand plan d'eau d'Europe occidentale, avec une superficie de 4800 hectares. Il se caractérise aussi par une grande richesse avifaunistique, puisque plus de 270 espèces d'oiseaux ont été recensées dans la zone. Afin de mesurer les aménités récréatives de cette zone humide intérieure, deux enquêtes (l'une téléphonique, l'autre en face-à-face sur le site du lac du Der) ont été conduites pour le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable en 2002.

L'objectif de cette note est d'appliquer les méthodes associées aux deux types d'enquêtes aux aménités récréatives procurées par le lac du Der et de comparer les résultats obtenus en termes de surplus du consommateur.

Comment modéliser la fréquence des visites ?

Distinguer participation et non-participation dans l'enquête téléphonique

Les modèles de base

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 \mathbf{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.

Deux modèles sont couramment utilisés : le modèle de Poisson et le modèle binomial négatif.

Le modèle de Poisson est le modèle de base. Chaque n_i est une réalisation d'une loi de Poisson de paramètre λ_i qui dépend des variables explicatives \mathbf{x}_i :

$$\forall k \geq 0, P(n_i = k / \mathbf{x}_i) = e^{-\lambda_i} \frac{\lambda_i^k}{k!} \quad 1$$

La formulation la plus courante pour le paramètre λ_i est semi-logarithmique : $\lambda_i = \exp(\mathbf{x}_i \beta)$.

L'espérance et la variance du nombre de visites (par période) sont égales au paramètre λ_i :

$$E[n_i / \mathbf{x}_i] = \text{Var}[n_i / \mathbf{x}_i] = \lambda_i = \exp(\mathbf{x}_i \beta) \quad 2$$

Dans les données relatives aux usages récréatifs, la variance est souvent plus grande que la moyenne, ce qui se traduit par une sur-dispersion des données. Une conséquence de cette sur-dispersion est que les écarts-types estimés par le modèle de Poisson sont sous-estimés, ce qui conduit à rejeter trop fréquemment l'hypothèse nulle de non-significativité des coefficients β_k .

Une solution alternative est le modèle binomial négatif. La densité pour le modèle binomial négatif est définie par :

$$\forall k \geq 0, P(n_i = k / \mathbf{x}_i) = \frac{\Gamma\left(k + \frac{1}{\alpha}\right)}{\Gamma(k+1)\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(\frac{\lambda_i}{\frac{1}{\alpha} + \lambda_i}\right)^k \quad 3$$

L'espérance et la variance sont définies par :

$$E[n_i / \mathbf{x}_i] = \lambda_i = \exp(\mathbf{x}_i \beta) \text{ et } \text{Var}[n_i / \mathbf{x}_i] = \lambda_i(1 + \alpha\lambda_i) \quad 4$$

Le paramètre α s'interprète comme un paramètre de sur-dispersion. Si $\alpha > 0$, le modèle de Poisson est rejeté en faveur du modèle binomial négatif (présence de sur-dispersion). Si $\alpha = 0$, le modèle binomial négatif se réduit à un modèle de Poisson. Par conséquent, tester $\alpha = 0$ revient à tester à la fois la présence de sur-dispersion et à tester le modèle binomial négatif contre l'hypothèse nulle d'un modèle de Poisson.

On peut aussi envisager que toutes les personnes interrogées ne soient pas issues de la même population. Par exemple, usagers et non-usagers peuvent provenir de deux sous-populations différentes ; leurs visites (ou non-visites) ne peuvent pas alors être modélisées par la même équation de comportement. Deux modèles permettent de modéliser séparément la décision de participation et la détermination du niveau de fréquentation. Le modèle le plus simple est le modèle de Cragg. Les modèles ZIP et ZINB sont plus couramment utilisés.

Distinguer participation et niveau de fréquentation : le modèle de Cragg

Le modèle le plus simple pour différencier la décision de participation et la fréquence des visites est le modèle de Cragg ([2]), qui estime séparément les deux fonctions de comportement. Dans la première étape, on estime un modèle de choix binaire qui détermine si une personne participe (ou non) à une activité (pêche, promenade, ..) sur le site. Dans la seconde étape, un modèle tronqué est estimé : on suppose, en effet, que quand la personne décide de participer, elle se rendra sur le site pour pratiquer cette activité.

Le modèle original était estimé en considérant un modèle Probit et un modèle normal tronqué, mais l'idée reste la même pour tout modèle de choix binaire et tout modèle tronqué, car les deux modèles sont estimés indépendamment [8].

Dans le contexte de la demande d'usage récréatif, le modèle de Cragg se compose de deux décisions. La première décision est celle de la participation et est modélisée à l'aide d'un modèle Probit. La seconde concerne le niveau de fréquentation (conditionnellement à la participation) et est modélisée à l'aide d'un modèle de Poisson tronqué en 0 pour lequel la densité est définie par l'équation (5).

$$\forall k \geq 1, P(n_i = k / \mathbf{x}_i, n_i > 0) = e^{-\lambda_i} \frac{\lambda_i^k}{k!(1 - \exp(-\lambda_i))} \quad 5$$

Distinguer participation et niveau de fréquentation : les modèles ZIP et ZINB

Contrairement aux modèles de base, les modèles Zero-Inflated Poisson (ZIP) et Zero-Inflated Negative Binomial (ZINB) ne supposent pas que les valeurs nulles sont générées par le même processus que les valeurs positives. On modélise simultanément la décision de participation et la détermination du niveau de fréquentation. Dans le cas du modèle ZIP, si on note π_i la probabilité de faire un nombre nul de visites et λ_i le paramètre de la loi de Poisson modélisant le nombre de visites, alors la densité de la distribution s'écrit :

$$P(n_i = 0 / \mathbf{x}_i) = \pi_i + (1 - \pi_i)e^{-\lambda_i}$$

$$\forall k > 0, P(n_i = k / \mathbf{x}_i) = (1 - \pi_i)e^{-\lambda_i} \frac{\lambda_i^k}{k!} \quad 6$$

Le paramètre λ_i dépend, comme dans le cas précédent, des variables explicatives. La probabilité π_i peut aussi dépendre de caractéristiques individuelles \mathbf{z}_i . On peut par exemple modéliser la probabilité de non-participation par un modèle Logit : $\pi_i = \frac{1}{1 + \exp(-\mathbf{z}_i\gamma)}$.

De la même façon, on peut construire un modèle Zero-Inflated Binomial Negative (ZINB) en remplaçant dans l'équation (6) la densité de la loi de Poisson par la densité d'une loi binomiale négative.

Vuong a proposé une statistique de test pour des modèles non-emboîtés qui permet de tester le modèle ZIP (ou ZINB) contre le modèle de Poisson (ou binomial négatif) correspondant. Notons $f_j(y_i/x_i)$ la probabilité prédite pour que la variable aléatoire Y soit égale à y_i sous l'hypothèse que la densité est $f_j(y_i/x_i)$, pour $j=1,2$. Notons

$$m_i = \log\left(\frac{f_1(y_i / \mathbf{x}_i)}{f_2(y_i / \mathbf{x}_i)}\right) \quad 7$$

La statistique de Vuong pour tester l'hypothèse non-emboîtée du modèle 1 (ZIP ou ZINB) contre le modèle 2 (Poisson ou binomial négatif) est :

$$v = \frac{\sqrt{n} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m m_i \right]}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}} \quad 8$$

Si $|v| \leq 2$ alors le test ne favorise aucun des deux modèles. En revanche, des valeurs élevées de v favorisent le modèle 1 alors que des valeurs faibles (négatives) de v favorisent le modèle 2.

La stratification endogène dans l'enquête sur site

L'enquête sur site, en face-à-face, permet d'atteindre directement la population cible. 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 sur site permet d'obtenir plus facilement un échantillon correct d'usagers. Néanmoins, 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 effectuant un nombre de visites supérieur ou égal à 1 sont interrogées).

Dans les études sur la demande d'usage récréatif, on cherche à modéliser le comportement en termes de niveau de fréquentation des personnes interrogées et à généraliser les résultats obtenus sur l'échantillon à la population générale.

Pour cela, l'approche proposée par Shaw [13] consiste à considérer la demande latente suivante :

$$n_i^* = g(p_{i,j}, \mathbf{x}_i, \beta) + \mu_i \quad 9$$

où n_i^* est la quantité désirée de visites sur le site, $p_{i,j}$ est le coût de transport jusqu'au site j (qui peut être le site étudié ou un site substitut, voir infra). Puisque n_i^* est une quantité latente demandée, les paramètres de g sont les paramètres de la demande de la population générale, et non ceux de la population des usagers.

Les modèles de comptage permettent d'estimer la demande latente. La demande pour l'échantillon sur site des usagers s'obtient en évaluant la fonction appropriée de la demande latente qui prend en compte la stratification endogène et la nature tronquée des données¹.

¹ La demande pour la population générale s'obtient en substituant les moyennes pour la population dans le modèle et en calculant n_i^* .

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. Shaw [13] a développé un modèle pour corriger la stratification endogène dans le modèle de Poisson, modèle qui a ensuite été généralisé par Englin et Shonkwiler [6] au cas du modèle binomial négatif.

Considérons une population qui peut se rendre sur un site récréatif. Divisons cette population en différentes strates en fonction du nombre de visites effectuées sur le site, de sorte que la strate i regroupe les individus effectuant i visites. Il y a échantillonnage aléatoire proportionnel quand, pour chaque strate, les proportions dans l'échantillon coïncident avec les proportions dans la population générale. Il y a stratification quand les proportions de personnes interrogées dans l'échantillon diffèrent systématiquement des proportions dans la population. On parle de stratification endogène quand la variation systématique dans les proportions d'échantillonnage dépend des caractéristiques des individus de l'échantillon [8].

Considérons une population homogène pour laquelle N_x représente le nombre de personnes de la population effectuant x visites, $x \in \{0, 1, 2, \dots\}$. Soit N la population des usagers. La proportion dans la population de personnes effectuant x visites est N_x/N . La proportion correspondante dans l'échantillon sur site, notée $h(x)$, est

$$h(x) = \frac{xN_x}{\sum_{t=1}^{\infty} tN_t} \quad 10$$

où le numérateur est le nombre total de visites effectuées par les personnes qui visitent x fois le site et le dénominateur est le nombre total de visites effectuées par la population totale.

Quel est le problème posé par la stratification endogène ? Considérons l'espérance mathématique du nombre de visites pour la population et pour l'échantillon. Dans le premier cas, l'espérance du nombre de visites pour un individu tiré aléatoirement sera

$$E_P(x) = \sum_{t=1}^{\infty} xP_x \quad 11$$

où P_x est la proportion dans la population de personnes effectuant x visites.

Pour l'échantillon sur site, l'espérance du nombre de visites est :

$$E_S(x) = \sum_{t=1}^{\infty} xh(x) \quad 12$$

Puisque le processus d'enquête sur site est plus susceptible d'intercepter des "grands" visiteurs, le nombre moyen de visites pour l'échantillon sera plus élevé que la moyenne sur la population.

Pour corriger la fonction de log-vraisemblance, il faut tenir compte du sur-échantillonnage des usagers qui se rendent fréquemment sur le site. L'équation (10) fournit la relation entre la proportion observée sur l'échantillon $h(x)$ de personnes effectuant chacun un nombre donné de visites et le nombre de personnes dans la population effectuant ces visites. En divisant le numérateur et le dénominateur par le nombre total d'individus dans la population (N), l'équation (10) devient :

$$h(x) = \frac{x(N_x / N)}{\sum_{t=1}^{\infty} t(N_t / N)} = \frac{xP_x}{\sum_{t=1}^{\infty} tP_t} \quad 13$$

Puisque les proportions sur la population (P_x) sont inconnues, on peut considérer que le nombre de visites effectuées par un individu dans la population est une variable aléatoire discrète dont la loi de probabilité est :

$$\forall k \geq 0, P(\text{Visites} = x) = g(x) \text{ de sorte que } P_x \text{ peut être représenté comme } P_x = g(x).$$

En remplaçant dans (13), on obtient la probabilité sur l'échantillon d'observer x visites comme une fonction de la probabilité sur la population :
$$h(j) = \frac{jg(j)}{\sum_{t=1}^{\infty} tg(t)}$$

Puisque la variable aléatoire "nombre de visites" est discrète et à valeurs non nulles (seules les personnes visitant le site sont interrogées), on peut écrire aussi la probabilité d'observer j visites chez une personne de l'échantillon sur site sous la forme

$$h(j) = \frac{jg(j)}{E_P(x)} \quad 14$$

La densité "sur site" pour la personne est donc le produit de la densité non tronquée et d'un terme correctif égal au rapport entre le nombre de visites observé et le nombre de visites attendu pour un individu représentatif de caractéristiques \mathbf{x}_i (les variables explicatives sont introduites dans le modèle de la même façon que pour les modèles de base).

Haab et McConnell [8] montrent que la densité corrigée pour tenir compte de la stratification endogène inclut aussi la correction pour la troncature en 0.

Pour le modèle de Poisson, la densité corrigée est (Shaw [13]) :

$$\forall k \geq 1, P(n_i = k / \mathbf{x}_i) = e^{-\lambda_i} \frac{\lambda_i^{k-1}}{(k-1)!} \quad 15$$

Pour le modèle binomial négatif, Englin et Shonkwiler [6] ont montré que la densité s'écrivait :

$$\forall k \geq 1, P(n_i = k / \mathbf{x}_i) = \frac{k \Gamma\left(k + \frac{1}{\alpha}\right)}{\Gamma(k+1) \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)} \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(\frac{1}{\alpha + \lambda_i}\right)^k \lambda_i^{k-1} \quad 16$$

Les données

Présentation rapide du lac du Der et des sites substitués potentiels

Le lac du Der est un barrage réservoir de la Seine. Créé en 1974, son objectif initial est de prévenir les crues de la Seine et permettre le soutien aux étiages. Ce plan d'eau, qui est le plus grand d'Europe occidentale, a une capacité de stockage de 350 millions de m³ pour une superficie de 4800 hectares.

Le lac du Der se caractérise aussi par une grande richesse avifaunistique. Plus de 270 espèces d'oiseaux ont été recensées dans la zone. De nombreux oiseaux migrateurs (petits échassiers, cygnes, rapaces, ...) fréquentent le lac en automne et au printemps. D'autres viennent y passer l'hiver (cygnes, canards, certains rapaces mythiques comme le pyargue ou le faucon pèlerin, les oies cendrées qui ont fait du lac du Der le premier site d'hivernage en France pour l'espèce) avant de rejoindre leurs sites de nidification nordiques. D'autres encore choisissent d'y construire leur nid. C'est le cas par exemple des foulques, grèbes, hérons ou sternes. L'été, le lac devient également un lieu de rassemblement pour certains oiseaux qui y muent comme le fuligule milouin par exemple.

En dehors de l'observation des oiseaux, d'autres activités récréatives peuvent aussi être pratiquées sur le lac du Der : pêche, sports nautiques, randonnée, cyclisme, ...

Le lac d'Orient est aussi un barrage-réservoir de la Seine, mis en service en 1966. Chargé d'agir sur le débit de la Seine, il a une superficie de 2300 ha. C'est aussi une réserve ornithologique, rassemblant près de 260 espèces. Il accueille également une base nautique.

Le Lac de Madine a été créé en 1971 pour alimenter en eau potable la ville de Metz, dans la plaine de la Woëvre. Il constitue le plus vaste plan d'eau de Lorraine et la configuration irrégulière de la partie Ouest de l'étang délimite de nombreuses anses peu profondes favorables au développement de la végétation et de l'avifaune. Différentes activités récréatives peuvent aussi être pratiquées sur le lac de Madine (nautisme, randonnée, ...).

Les enquêtes

Afin de mesurer les aménités récréatives procurées par le lac du Der, deux enquêtes ont été réalisées par l'IFOP pour le compte du Ministère de l'écologie et du développement durable.

L'enquête téléphonique, d'une durée d'une dizaine de minutes, s'est déroulée du 14 au 30 décembre 2002 auprès de 2021 personnes habitant dans les communes à proximité du lac du Der. Il s'agit d'un échantillon représentatif de la population concernée, à partir des quotas suivants : âge, sexe et profession.

L'enquête en face-à-face a été conduite auprès de 241 visiteurs du lac du Der. Elle a été réalisée les vendredi 22 au dimanche 24 novembre 2002 entre 9h et 17h. Les personnes interrogées ont été sélectionnées de manière aléatoire, à raison d'une personne par groupe.

Les deux enquêtes visaient à mesurer les habitudes de fréquentation des personnes interrogées, les caractéristiques de leurs visites et les coûts de transport qu'ils subissent pour se rendre jusqu'au lac du Der. La seconde partie du questionnaire était consacrée à la valorisation des aménités par la méthode d'évaluation contingente ; les résultats de cette seconde partie sont présentés dans Scherrer [11]. L'annexe présente le questionnaire utilisé dans l'enquête en face-à-face (le questionnaire relatif à l'enquête téléphonique est similaire et n'est donc pas présenté).

Le nombre de visites utilisé dans les modèles économétriques est celui déclaré par les personnes interrogées. Il s'agit du nombre de visites effectuées au lac du Der au cours des douze mois précédant l'enquête. Sont exclues de l'analyse les personnes qui n'indiquent pas leur niveau de fréquentation ou leur niveau de revenu. Pour l'enquête en face-à-face, sont aussi exclues les personnes qui séjournent plusieurs jours dans la région du lac du Der. Pour l'enquête téléphonique, l'échantillon final comporte 1477 personnes² ; pour l'enquête en face-à-face, il est de taille 111.

Les coûts de transport

Les coûts de transport (CT) ont été calculés à partir de la distance (D) entre le domicile et le lac du Der, 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 : $CT = (2 \cdot D \cdot CM) / P$. Le coût de revient kilométrique est fondé sur la puissance des véhicules, à partir de données publiées par l'administration fiscale. 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.

² Seules les personnes effectuant un nombre de visites inférieur à 50 visites par an ont été conservées.

Tableau 1 : Coûts kilométriques

| Puissance fiscale | Coût kilométrique (□) |
|----------------------------|-----------------------|
| Inférieure ou égale à 4 CV | 0,380 |
| Entre 5 et 6 CV | 0,471 |
| Entre 7 et 9 CV | 0,543 |
| 10 CV et plus | 0,600 |

Pour l'enquête téléphonique, la distance (D) et le temps de trajet ont été calculés à partir du lieu de résidence des ménages. Pour l'enquête sur place, la distance et le temps de trajet sont ceux déclarés par les personnes interrogées.

Dans certaines études, le coût d'opportunité du temps nécessaire pour se rendre sur le site est aussi pris en compte. Le temps consacré à se rendre et à revenir du site (ainsi que le temps passé sur le 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 et le temps passé sur le site, on obtient alors une bonne estimation du coût d'opportunité du temps. 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. Néanmoins, comme l'indique Parsons [10], 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.

Dans cette application, le coût d'opportunité du temps (COT) a été considéré en retenant le tiers du salaire horaire, une durée mensuelle du travail de 135 heures, selon la formule suivante :

$$COT = T * 2 * (1/3) * (R/135)$$

où T est le temps de parcours (en heures) et R est le revenu mensuel. Le coût d'opportunité du temps n'inclut que le temps de trajet et non le temps passé sur le site.

Le coût de transport total comprend le coût de déplacement et ce coût d'opportunité du temps.

Pour l'enquête téléphonique, deux sites substitués potentiels (le lac d'Orient et le lac de Madine) ont été pris en compte dans les modèles économétriques. Pour cela, le coût de transport et le coût d'opportunité du temps pour chacun des deux sites ont été calculés, à partir de la ville de résidence des personnes interrogées. Deux variables sont donc incluses dans le modèle : elles mesurent les coûts de transport totaux pour se rendre sur le site substitué le plus proche ou le deuxième plus proche à partir du domicile de la personne interrogée. Ces deux variables devraient avoir un signe positif : plus le coût de transport pour se rendre sur un site substitué augmente, plus les ménages seront incités à visiter le lac du Der.

Faute de données suffisantes, les coûts de transport vers les sites substitués n'ont pas pu être calculés pour l'enquête en face-à-face.

Les autres variables explicatives

Plusieurs variables autres que les coûts de transport peuvent aussi expliquer le nombre de visites au lac du Der. Le revenu du ménage devrait avoir un effet positif sur le nombre de visites effectuées. Le sexe, l'âge, la profession des personnes interrogées sont aussi incluses dans les modèles explicatifs du nombre de visites. Enfin, le type d'activité pratiquée sur le site et la connaissance du site et de ses intérêts peuvent aussi avoir un effet sur la fréquentation du lac du

Der. Le *tableau 2* résume les variables utilisées dans les différents modèles, et indique leur moyenne et leur écart-type.

Par rapport à l'ensemble des personnes interrogées par téléphone, les personnes interrogées sur le site du lac du Der se caractérisent par un nombre de visites significativement plus élevé, par des coûts de transport et des revenus plus élevés. La proportion de professions libérales et cadres supérieurs est plus importante. Enfin, les personnes interrogées sur le site sont davantage intéressées par l'observation des oiseaux que les personnes interrogées au téléphone et ont une meilleure connaissance des intérêts du lac.

Pour l'échantillon téléphonique, les visiteurs ont des coûts de transport vers le lac du Der plus faibles mais des coûts de transport vers les sites substitués plus élevés. Le revenu moyen des visiteurs est plus élevé que celui des non-visiteurs. La population des visiteurs est plus jeune et plus intéressée par l'observation des oiseaux. Le nombre d'enfants des visiteurs est plus élevé que celui des non-visiteurs.

Tableau 2 : Statistiques descriptives des différentes variables

| Variables | Sur place | | Téléphonique Ensemble | | Téléphonique Visiteurs | | Téléphonique Non visiteurs | |
|--|-----------|------------|-----------------------|------------|------------------------|------------|----------------------------|------------|
| | Moy. | Ecart-type | Moy. | Ecart-type | Moy. | Ecart-type | Moy. | Ecart-type |
| Nombre de visites | 16,55 | 32,35 | 6,92 | 8,54 | 8,72 | 8,73 | 0,00 | 0,00 |
| Coût de transport | 28,87 | 28,11 | 11,19 | 6,83 | 10,93 | 6,77 | 12,19 | 7,01 |
| CT pour substitut 1 | | | 26,15 | 12,16 | 27,29 | 12,62 | 21,78 | 8,93 |
| CT pour substitut 2 | | | 40,26 | 16,80 | 40,96 | 17,49 | 37,57 | 13,51 |
| Revenu mensuel (milliers €) | 2,22 | 1,17 | 1,50 | 0,88 | 1,55 | 0,88 | 1,32 | 0,86 |
| Homme | 0,56 | 0,50 | 0,49 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,42 | 0,49 |
| 18-24 ans | 0,14 | 0,34 | 0,11 | 0,32 | 0,12 | 0,32 | 0,10 | 0,29 |
| 25-34 ans | 0,18 | 0,39 | 0,20 | 0,40 | 0,22 | 0,41 | 0,17 | 0,38 |
| 35-49 ans | 0,29 | 0,46 | 0,30 | 0,46 | 0,31 | 0,46 | 0,24 | 0,43 |
| 50-64 ans | 0,27 | 0,45 | 0,20 | 0,40 | 0,19 | 0,39 | 0,21 | 0,41 |
| 65 ans et plus | 0,13 | 0,33 | 0,19 | 0,39 | 0,16 | 0,37 | 0,28 | 0,45 |
| Nombre d'enfants | 1,29 | 0,94 | 1,40 | 1,16 | 1,49 | 1,16 | 1,05 | 1,10 |
| Agriculteur | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,18 | 0,03 | 0,18 | 0,03 | 0,17 |
| Artisan ou commerçant | 0,02 | 0,13 | 0,05 | 0,22 | 0,05 | 0,22 | 0,04 | 0,20 |
| Profession libérale ou cadre supérieur | 0,15 | 0,36 | 0,07 | 0,26 | 0,08 | 0,26 | 0,06 | 0,24 |
| Profession intermédiaire | 0,15 | 0,36 | 0,14 | 0,35 | 0,15 | 0,36 | 0,11 | 0,31 |
| Employé | 0,14 | 0,35 | 0,10 | 0,30 | 0,11 | 0,32 | 0,07 | 0,25 |
| Ouvrier | 0,28 | 0,45 | 0,29 | 0,46 | 0,30 | 0,46 | 0,27 | 0,44 |
| Retraité | 0,22 | 0,41 | 0,25 | 0,43 | 0,23 | 0,42 | 0,31 | 0,46 |
| Autre inactif | 0,04 | 0,19 | 0,06 | 0,24 | 0,05 | 0,21 | 0,12 | 0,33 |
| Observation des oiseaux | 0,42 | 0,50 | 0,12 | 0,33 | 0,14 | 0,35 | 0,04 | 0,20 |
| Connaissance des intérêts du lac | 0,90 | 0,30 | 0,76 | 0,43 | 0,80 | 0,40 | 0,60 | 0,49 |
| Effectif | 111 | | 1477 | | 1173 | | 304 | |

La première étape pour estimer le bien-être des visiteurs lié à l'existence du lac du Der consiste à estimer les demandes reliant le niveau de fréquentation à un ensemble de déterminants potentiels, dont les coûts de transport. La seconde étape permet à partir de ces fonctions de demande d'estimer le surplus du consommateur.

Estimations des fonctions de demande

Pour l'enquête téléphonique, les fonctions de demande peuvent refléter la modélisation distincte de la participation et du niveau de fréquentation. Pour l'enquête sur site, les fonctions de demande intègrent la stratification endogène.

Estimation sans distinction entre participation et non-participation

Pour l'enquête téléphonique et dans une première étape de l'analyse, on peut considérer que tous les niveaux de fréquentation (visites nulles et positives) peuvent être modélisés par le même processus stochastique. Quatre modèles sont estimés. Le modèle (1) est un modèle de Poisson dans lequel les sites substitués du lac du Der ne sont pas pris en compte. Dans le modèle (2), les deux sites substitués sont intégrés dans le modèle de Poisson. Les modèles (3) et (4) sont des modèles binomiaux négatifs, caractérisés respectivement par l'absence et par la prise en compte des sites substitués. Le *tableau 3* présente les résultats de l'estimation de ces quatre modèles.

Tableau 3 : Estimation de modèles de comptage simples pour l'enquête téléphonique

| | (1) Poisson | | (2) Poisson + substitués | | (3) Négatif binomial | | (4) Négatif binomial + substitués | |
|-------------------------|----------------|------------|-----------------------------|------------|-------------------------|------------|---|------------|
| | Coeff | Ecart-type | Coeff | Ecart-type | Coeff | Ecart-type | Coeff | Ecart-type |
| Constante | 1,4224 ** | 0,1170 | 1,1605 ** | 0,1195 | 1,3063 ** | 0,1198 | 0,9551 ** | 0,1245 |
| CT | -0,0291 ** | 0,0064 | -0,0522 ** | 0,0072 | -0,0264 ** | 0,0053 | -0,0469 ** | 0,0068 |
| CT pour substitut 1 | | | 0,0347 ** | 0,0037 | | | 0,0366 ** | 0,0038 |
| CT pour substitut 2 | | | -0,0056 ** | 0,0029 | | | -0,0060 ** | 0,0029 |
| Revenu (milliers □) | 0,1465 ** | 0,0424 | 0,0252 | 0,0401 | 0,1585 ** | 0,0453 | 0,0569 | 0,0499 |
| Homme | 0,1900 ** | 0,0626 | 0,1286 ** | 0,0610 | 0,1958 ** | 0,0659 | 0,1295 ** | 0,0637 |
| Plus de 50 ans | -0,2920 ** | 0,1011 | -0,3414 ** | 0,0958 | -0,2877 ** | 0,1067 | -0,3871 ** | 0,1039 |
| Nombre d'enfants | 0,0319 | 0,0292 | 0,0797 ** | 0,0286 | 0,0452 | 0,0322 | 0,0883 ** | 0,0323 |
| Agriculteur | -0,3630 ** | 0,1684 | -0,3073 * | 0,1732 | -0,2870 | 0,1949 | -0,2091 | 0,1780 |
| Artisan/commerçant | 0,1995 | 0,1438 | 0,1576 | 0,1357 | 0,3031 * | 0,1556 | 0,2683 * | 0,1521 |
| Prof libérale/cadre sup | -0,0243 | 0,1349 | 0,0236 | 0,1301 | -0,0443 | 0,1438 | 0,0254 | 0,1452 |
| Prof intermédiaire | 0,1456 | 0,0951 | 0,1922 ** | 0,0896 | 0,1443 | 0,0960 | 0,1976 ** | 0,0949 |
| Employé | 0,2158 ** | 0,1015 | 0,2690 ** | 0,0967 | 0,2241 ** | 0,1096 | 0,2818 ** | 0,1062 |
| Ouvrier | | Ref | | Ref | | Ref | | Ref |
| Retraité | -0,0489 | 0,1227 | -0,0364 | 0,1157 | -0,0615 | 0,1209 | -0,0258 | 0,1158 |
| Autre inactif | 0,0158 | 0,2019 | 0,0850 | 0,1964 | 0,0539 | 0,2046 | 0,1382 | 0,1989 |
| Observation oiseaux | 0,4272 ** | 0,0832 | 0,4027 ** | 0,0787 | 0,4818 ** | 0,0899 | 0,4311 ** | 0,0838 |
| Connaissance intérêts | 0,5612 ** | 0,0835 | 0,4714 ** | 0,0822 | 0,5978 ** | 0,0832 | 0,5238 ** | 0,0799 |
| Dispersion | | | | | 1,3083 ** | 0,0572 | 1,1860 ** | 0,0534 |
| Log-vraisemblance | | -7888,41 | | -7388,06 | | -4306,47 | | -4249,04 |

Lecture : Les écarts-types sont des écarts-types robustes au sens de White [14].

** (resp *) signifie significatif au seuil de 5 % (resp 10 %).

Conformément à la théorie, la demande (nombre de visites) est une fonction décroissante du prix (coût de transport, CT). Le site substitut n°1 apparaît bien comme tel, puisque le signe de cette variable est négatif. En revanche, le signe du coefficient correspondant au site substitut n°2 n'est pas conforme à nos attentes et difficilement explicable.

En l'absence de sites substitués, le revenu a un effet significativement positif sur le nombre de visites. Les hommes sont plus susceptibles que les femmes de se rendre fréquemment sur le lac du Der.

Les personnes de plus de 50 ans effectuent un nombre plus restreint de visites que les personnes plus jeunes. La présence d'enfants dans le foyer augmente la fréquence des visites.

Les employés ont une fréquence de visites plus élevée que les ouvriers. En revanche, les retraités et autres inactifs, ainsi que les cadres ont, toutes choses étant égales par ailleurs, les mêmes niveaux de fréquentation que les ouvriers.

Les personnes dont l'activité principale pratiquée sur le site est l'observation des oiseaux sont plus susceptibles d'effectuer un nombre important de visites.

Les modèles (1) et (3) sont respectivement des sous-modèles de (2) et (4) dans lesquels on contraint les coefficients des sites substitués à être nuls. Un test du rapport de vraisemblance indique, dans chacun des cas, que le modèle avec prise en compte des sites substitués est préféré au modèle simple. Par ailleurs, le modèle (2) est un cas particulier du modèle (4) pour lequel le paramètre de dispersion est nul. Un test du rapport de vraisemblance indique que le modèle de Poisson (2) est rejeté en faveur du modèle binomial négatif.

Estimation avec distinction entre participation et non-participation

Dans une seconde étape, la participation (nombre de visites strictement positif) et la non-participation (nombre de visites nul) sont distinguées. Cinq modèles sont estimés : deux modèles Zero-Inflated Poisson (ZIP, 5 et 6) avec et sans sites substitués, deux modèles Zero-Inflated Negative Binomial (ZINB, 7 et 8) avec et sans sites substitués et un modèle de Cragg (9). Le tableau 4 présente les résultats de l'estimation de ces trois modèles.

Tableau 4 : Estimation de modèles avec distinction entre participation et non-participation pour l'enquête téléphonique

| | (5) ZIP | | (6) ZIP + substitués | | (7) ZINB | | (8) ZINB + substitués | | (9) Cragg | |
|--------------------------|------------|------------|-------------------------|------------|-------------|------------|--------------------------|------------|--------------|------------|
| | Coeff | Ecart-type | Coeff | Ecart-type | Coeff | Ecart-type | Coeff | Ecart-type | Coeff | Ecart-type |
| Visites | | | | | | | | | | |
| Constante | 1,7644 ** | 0,0355 | 1,5496 ** | 0,0387 | 1,4263 ** | 0,1015 | 1,1024 ** | 0,1094 | 1,7675 ** | 0,0353 |
| Coûts de transport | -0,0187 ** | 0,0018 | -0,0376 ** | 0,0023 | -0,0264 ** | 0,0048 | -0,0445 ** | 0,0055 | -0,0187 ** | 0,0018 |
| CT substitut 1 | | | 0,0247 ** | 0,0013 | | | 0,0323 ** | 0,0037 | | |
| CT substitut 2 | | | -0,0041 ** | 0,0010 | | | -0,0053 * | 0,0030 | | |
| Revenu (milliers €) | 0,0999 ** | 0,0124 | 0,0227 * | 0,0131 | 0,1129 ** | 0,0408 | 0,0241 | 0,0433 | 0,0999 ** | 0,0124 |
| Homme | 0,1533 ** | 0,0202 | 0,1106 ** | 0,0205 | 0,1848 ** | 0,0637 | 0,1213 * | 0,0622 | 0,1528 ** | 0,0202 |
| Nombre d'enfants | 0,3191 ** | 0,0088 | 0,0822 ** | 0,0091 | 0,0570 ** | 0,0287 | 0,1066 ** | 0,0284 | 0,0414 ** | 0,0088 |
| Connaissance intérêts | 0,3191 ** | 0,0288 | 0,2791 ** | 0,0292 | 0,5367 ** | 0,0769 | 0,4617 ** | 0,0747 | 0,3158 ** | 0,0286 |
| Observation oiseaux | 0,2083 ** | 0,0264 | 0,2066 ** | 0,0267 | 0,3402 ** | 0,0934 | 0,2903 ** | 0,0911 | 0,2080 ** | 0,0264 |
| Dispersion | | | | | 1,1802 ** | 0,0622 | 1,0902 ** | 0,0567 | | |
| Participation | | | | | | | | | | |
| Constante | -0,8235 ** | 0,1700 | -0,8205 ** | 0,1755 | 0,3027 | 0,7225 | 0,3529 | 0,7260 | 0,5429 ** | 0,0964 |
| Revenu (milliers □) | -0,2152 ** | 0,0851 | -0,2464 ** | 0,0903 | -2,3024 ** | 0,7045 | -2,4711 ** | 0,7044 | 0,1155 ** | 0,0466 |
| Plus de 50 ans | 0,3139 ** | 0,1432 | 0,3323 ** | 0,1463 | 0,5737 | 0,4963 | 0,6244 | 0,5135 | -0,1868 ** | 0,0828 |
| Nombre d'enfants | -0,2872 ** | 0,0758 | -0,2836 ** | 0,0781 | -1,7631 ** | 0,5762 | -1,8301 ** | 0,5794 | 0,1462 ** | 0,0408 |
| | | | | | | | | | | |
| Log vraisemblance | | | | | | | | | | |
| Probit | | | | | | | | | | -726,95 |
| Poisson | | | | | | | | | | -6123,78 |
| Globale | -6848,76 | | -6614,06 | | -4300,19 | | -4251,03 | | | - |
| Test de Vuong | 12,54 | | 11,04 | | 3,39 | | 3,36 | | | |

Lecture : ** (resp *) signifie significatif au seuil de 5 % (resp 10 %).

Note : Pour les modèles ZIP et ZINB, l'équation de participation modélise la probabilité de ne pas effectuer de visites. Pour le modèle de Cragg, elle modélise la probabilité d'effectuer un nombre positif de visites.

Les paramètres estimés pour les variables relatives aux coûts de transport ont le même signe que dans les modèles présentés dans le paragraphe précédent.

Le revenu a un effet significativement positif sur la probabilité de se rendre sur le lac du Der quand les sites substitués ne sont pas pris en compte. Par ailleurs, le revenu a aussi un effet positif sur le nombre de visites effectuées, conditionnellement au fait de se rendre sur le site. De même, les ménages avec enfants ont une probabilité plus élevée de se rendre sur le site. En revanche, l'âge réduit cette probabilité.

Conditionnellement au fait de se rendre sur le site, les hommes ont une probabilité plus élevée de se rendre souvent sur le lac du Der, de même que les personnes qui ont connaissance des intérêts du lac et celles qui viennent principalement sur le site pour observer les oiseaux.

De façon remarquable, les coefficients estimés pour le modèle de Cragg (dans lequel les modèles Probit et Poisson sont estimés séparément) et pour les modèles ZIP et ZINB sont peu différents en ce qui concerne la demande de fréquentation.

La statistique du test de Vuong indique que les modèles ZIP et ZINB sont préférés respectivement aux modèles de Poisson et aux modèles binomiaux négatifs correspondants. Par ailleurs, un test du rapport de vraisemblance indique que les modèles avec sites substitués sont préférés aux modèles sans site substitué. Enfin, un test du rapport de vraisemblance indique que le modèle ZINB (8) est préféré au modèle ZIP (6), avec prise en compte des sites substitués.

Estimation des modèles avec stratification endogène

Pour l'enquête sur place, deux modèles intégrant la stratification endogène ont été estimés : un modèle de Poisson et un modèle binomial négatif. Le *tableau 5* présente les résultats du modèle de Poisson. Un test du rapport de vraisemblance conduit à préférer le modèle de Poisson, au détriment du modèle binomial négatif, dont l'estimation n'est pas présentée.

Tableau 5 : Estimation du modèle de Poisson avec stratification endogène pour l'enquête sur place

| | (10) | |
|-------------------------|--------------------------------------|------------|
| | Poisson avec stratification endogène | |
| | Coefficient | Ecart-type |
| Constante | 3,0471 ** | 1,1193 |
| Coût de transport | -0,0490 ** | 0,0215 |
| Revenu (milliers □) | 0,2278 | 0,3057 |
| Homme | -0,2884 | 0,3384 |
| Plus de 50 ans | -0,3701 | 0,2368 |
| Artisan/commerçant | 0,9362 | 1,4258 |
| Prof libérale/cadre sup | -1,4201 ** | 0,6469 |
| Prof intermédiaire | -0,2088 | 0,4111 |
| Employé | -0,1495 | 0,4489 |
| Ouvrier | | Ref |
| Retraité | 0,3099 | 0,4210 |
| Autre inactif | 0,0494 | 0,8623 |
| Observation oiseaux | 0,0354 | 0,3205 |
| Connaissance intérêts | 0,5925 | 0,5968 |
| Log-vraisemblance | -1387,1837 | |

Lecture : Les écarts-types sont des écarts-types robustes au sens de White [14].
 ** (resp *) signifie significatif au seuil de 5 % (resp 10 %).

Comme dans les autres modèles présentés, le coût de transport a le signe négatif attendu. Pour l'enquête sur place, le revenu, le sexe et l'âge n'ont pas d'impact significatif sur le nombre de visites effectuées. Il peut sembler surprenant que le revenu ne soit pas une variable significative ; il s'agit néanmoins d'un résultat relativement fréquent dans les études utilisant la méthode des coûts de transport (voir par exemple [1], [3] et [7]).

La variable "catégorie socio-professionnelle" de la personne interrogée n'a pas d'effet significatif sur le niveau de fréquentation. Seules les professions intellectuelles se différencient des ouvriers en ayant toutes choses étant égales par ailleurs une probabilité plus faible de se rendre fréquemment sur le lac du Der.

La pratique de l'observation des oiseaux ne se distingue pas des autres activités pratiquées en termes de fréquence de visites.

L'estimation des différentes fonctions des demandes permet, dans une seconde étape, d'estimer la valeur d'usage du lac du Der.

Le bien-être des visiteurs

La complémentarité faible

Le concept de "complémentarité faible" introduit par Mäler [9] est la pierre angulaire de la méthode des coûts de transport. Il permet de déterminer la demande marshallienne pour un bien public (en l'espèce une aménité environnementale) à partir de la demande pour un bien privé non essentiel dont on suppose qu'il est un complément faible du bien public. De façon intuitive, la complémentarité faible signifie qu'une personne ne retire d'utilité d'un bien public que si elle consomme ce bien privé, faiblement complémentaire.

De façon plus formelle, supposons que chaque personne interrogée consomme un bien privé x (de prix p_x) et un bien public q , et dispose d'un revenu R . La fonction d'utilité indirecte $V(\cdot)$ est définie par : $V = V(R, P_x, q)$. Si le bien privé x est non essentiel, alors la complémentarité faible implique qu'une amélioration de la qualité du bien public q n'aura aucune valeur pour le consommateur quand le prix du bien privé x est tel que la consommation de ce bien est nulle. On note p_x^c le prix du bien privé qui entraîne une consommation nulle de ce bien (solution en coin qui définit un *choke price*). L'équation suivante permet de décrire les implications de la complémentarité faible :

$$\left. \frac{\partial V}{\partial q} \right|_{p_x^c} = \frac{\partial}{\partial q} (V(R, P_x^c, q)) = 0 \quad 17$$

La complémentarité faible implique que la valeur d'un changement dans le bien public est égal à la valeur de l'accès au bien privé.

Comment calculer le bien-être des visiteurs (et non-visiteurs) ?

Le surplus du consommateur par visite (SC^v) et le surplus du consommateur par an (SC^a) pour l'individu i peuvent être calculés au moyen des formules suivantes (voir [6]), où β_{CT} est le coefficient correspondant au coût de transport :

$$SC_i^v = -\frac{1}{\beta_{CT}} \quad \text{et} \quad SC_i^a = -\frac{\lambda_i}{\beta_{CT}} \quad 18$$

Il est aussi possible de calculer la variation équivalente (VE) et la variation compensatrice (VC) pour l'individu i (voir [6]), en notant β_R le coefficient associé au revenu :

$$VC_i = \frac{1}{\beta_R} \ln \left(1 + \lambda_i \frac{\beta_R}{\beta_{CT}} \right) \quad \text{et} \quad VE_i = -\frac{1}{\beta_R} \ln \left(1 - \lambda_i \frac{\beta_R}{\beta_{CT}} \right) \quad 19$$

Ces deux mesures correspondent à une période d'une année. Pour estimer le bien-être retiré par les visiteurs pour chaque visite, il suffit de diviser VE et VC par λ_i .

Pour les modèles ZIP et ZINB (voir [5]), le surplus du consommateur annuel est estimé par :

$$SC_i^a = -(1 - \pi_i) \frac{\lambda_i}{\beta_{CT}} \quad 20$$

Le surplus par visite SC^v est défini par l'équation (18).

Pour l'enquête sur place, puisque les paramètres de la fonction de demande g (voir équation (9)) sont les paramètres pour la population générale, les formules de calcul du surplus du consommateur et des variations équivalente et compensatrice s'appliquent aussi pour la population générale. Ces estimations du bien-être pour la population générale sont calculées en remplaçant les valeurs des variables explicatives par les moyennes observées sur la population générale. Elles s'appliqueront pour une personne "moyenne" de la population, et non pour l'utilisateur "moyen".

Le surplus du consommateur, les variations équivalente et compensatrice mesurent le bien-être des visiteurs lié à l'existence du site³.

Estimation du bien-être des visiteurs

Le *tableau 6* présente les estimations du surplus du consommateur et, le cas échéant, de la variation équivalente et de la variation compensatrice pour les différents modèles présentés dans la section précédente.

Tableau 6 : Valeur d'usage estimée du lac de Der

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (10) | (10) bis |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | P | P+S | NB | NB+S | ZIP | ZIP+S | ZINB | ZINB+S | P | P |
| | T | T | T | T | T | T | T | T | FaF | FaF/Tel |
| Valeur annuelle (€) | | | | | | | | | | |
| Surplus du consommateur | 238,07 (53,52) | 132,72 (18,69) | 263,70 (53,74) | 149,68 (22,06) | 360,87 (35,50) | 176,66 (11,26) | 261,97 (47,74) | 155,25 (19,05) | 317,23 (125,2) | 497,25 (167,5) |
| Variation compensatrice | 233,36 (51,91) | 132,42 (18,60) | 257,36 (51,78) | 148,83 (21,85) | | | | | 300,54 (121,4) | 463,47 (174,8) |
| Variation équivalente | 243,09 (55,31) | 133,00 (18,79) | 270,55 (56,00) | 150,56 (22,32) | | | | | 338,06 (136,7) | 543,10 (169,5) |
| | | | | | | | | | | |
| Valeur par visite (€) | | | | | | | | | | |
| Surplus du consommateur | 34,38 (7,59) | 19,16 (2,66) | 37,88 (7,59) | 21,33 (3,08) | 53,38 (5,15) | 26,63 (1,63) | 37,91 (6,95) | 22,49 (2,77) | 20,40 (8,94) | 20,40 (8,94) |
| Variation compensatrice | 33,80 (7,59) | 19,13 (2,65) | 37,11 (7,35) | 21,24 (3,06) | | | | | 19,71 (8,59) | 19,35 (8,59) |
| Variation équivalente | 35,00 (7,81) | 19,20 (2,67) | 38,70 (7,86) | 21,43 (3,10) | | | | | 21,20 (9,46) | 21,70 (9,49) |

Notes : - P désigne un modèle de Poisson, NB un modèle négatif binomial ; S désigne un modèle qui intègre les sites substitués. T désigne l'enquête téléphonique et FaF l'enquête en face à face.

- Les écarts-types figurent entre parenthèses et sont calculés par la méthode du delta à partir de la matrice de variance-covariance (robuste pour les modèles (1) à (4) et (10)).

Conformément à la théorie (voir [15]), les mesures du bien-être du visiteur issues des demandes hicksiennes (variation équivalente et variation compensatrice) encadrent le surplus du consommateur, calculé à partir de la demande marshallienne. Les différences entre les trois mesures sont très faibles, surtout pour les modèles avec sites substitués dans lesquels le revenu n'est pas significatif (effet-revenu négligeable).

³ Ils correspondent à l'intégrale de la fonction de demande entre le prix d'entrée actuel (coûts de transport subis par les personnes interrogées) et le prix d'entrée qui annule la demande.

Pour les modèles comparables (1), (3) et (7) d'une part et (2), (4) et (8) d'autre part, les estimations sont très proches, ce qui montre la fiabilité des résultats obtenus⁴.

Pour l'enquête téléphonique, quand les sites substitués ne sont pas pris en compte, la valeur du site est de 38 € par visite et par personne (modèle 3) ou 264 € par an et par personne quand participation et non participation ne sont pas distinguées. En tenant compte des personnes qui ne se rendent pas sur le lac du Der, le modèle (7, ZINB) fournit une estimation de la valeur annuelle du site relativement proche, à 262 €

Quand les sites substitués sont pris en compte, l'estimation du bien-être du visiteur diminue d'environ 75 % et est comprise entre 19 € et 22 € par visite. La valeur annuelle du site est voisine de 150 € (150 € pour le modèle simple et 155 € pour le modèle avec prise en compte de la distinction entre décision de participation et niveau de fréquentation. Omettre les sites substitués surestime donc la valeur d'usage totale du site.

Pour l'enquête sur place, on peut calculer la valeur du site pour la population des usagers (colonne (10) et pour la population générale (à partir des données de l'enquête téléphonique, (10) bis). En tenant compte de la stratification endogène, la valeur du site est de 20 € par visite et par visiteur, soit 300 € par an et par visiteur. Si on estime la valeur totale du site pour la population générale, le surplus par visite reste de 20 € mais la valeur annuelle du site pour une personne de la population générale est de 465 € (variation compensatrice). Les valeurs obtenues pour le modèle (10) bis peuvent être comparées à celles obtenues pour le modèle (1). La différence entre ces deux séries de valeurs provient du fait que le nombre de visites prévu par le modèle estimé sur l'échantillon "face-à-face" pour les personnes de la population générale (ici, échantillon téléphonique) est plus élevée que le nombre de visites observé pour l'échantillon téléphonique.

Conclusions et perspectives

Les résultats présentés dans cette note révèlent au moins deux éléments fondamentaux pour les études ultérieures. D'abord, il est nécessaire de modéliser l'existence de sites substitués et de prévoir leur prise en compte dès la conception de l'enquête. Ignorer les sites substitués conduit, dans le cas du lac du Der, à surestimer la valeur du site de 75 %. Ensuite, pour l'enquête téléphonique, les résultats obtenus montrent que la distinction entre la décision de participation et la détermination du nombre de visites conditionnellement à la participation s'impose. Quant à l'enquête en face-à-face, les éléments théoriques présentés justifient pleinement le recours à des modèles de comptage intégrant la stratification endogène.

Par ailleurs, les enquêtes téléphoniques et en face-à-face fournissent, à spécification similaire, une estimation du supplément de bien-être annuel retiré par une personne suite à la fréquentation du lac du Der relativement proche, ce qui témoigne de la fiabilité des résultats.

Sur le plan de la politique environnementale, l'étape suivante de ce travail sera d'estimer la valeur d'usage totale d'usage de la zone humide intérieure du lac du Der.

D'un point de vue méthodologique, les pistes de travail sont doubles. Il s'agit d'une part examiner la possibilité d'utiliser, dans une pratique courante, les modèles semi-paramétriques de comptage. D'autre part, les modèles à utilité aléatoire pourraient être utilisés pour modéliser la demande pour divers sites naturels (avec prise en compte des sites substitués), permettant ainsi de mettre en évidence les déterminants des choix de fréquentation de sites naturels différents (voire substitués).

⁴ Les estimations de la valeur d'usage pour le modèle ZIP sont relativement différentes de celles fournies par les autres modèles.

Références

- [1] Chakraborty K., Keith J.E., "Estimating the Recreation Demand and Economic Value of Mountain Biking in Moab, Utah: An Application of Count Data Models", *Journal of Environmental Planning and Management*, 43(4), pp. 461-469, 2000.
- [2] Cragg J.G., "Some Statistical Models for Limited Dependent Variables with Applications to the Demand for Durable Goods", *Econometrica*, 39, pp. 829-844, 1971.
- [3] Curtis J.A., "Estimating the Demand for Salmon Angling in Ireland", *The Economic and Social Review*, 33(3), pp. 319-332, 2002.
- [4] Desaigues B., Point P., *Economie du patrimoine naturel*. Paris : Economica, 1993.
- [5] Englin J.E., Holmes, T.P., Sills E.O., "Estimating Forest Recreation Demand Using Count Data Models", In Sills et Abt (eds), *Forests in a Market Economy*, Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [6] Englin J.E., Shonkwiler J.S., "Estimating Social Welfare Using Count Data Models: An Application to Long-Run Recreation Demand Under Conditions of Endogenous Stratification and Truncation", *The Review of Economics and Statistics*, 77, pp. 104-112, 1995.
- [7] Grogger J.T., Carson R.T., "Models for Truncated Counts", *Journal of Applied Econometrics*, 6, pp. 225-238, 1991.
- [8] Haab T.C., McConnell K.E., *Valuing Environmental and Natural Resources: The Econometrics of Non-Market Valuation*. Cheltenham : Edward Elgar, 2002.
- [9] Mäler K.G., *Environmental Economics: A Theoretical Inquiry*. Baltimore : John Hopkins University Press for Resources for the Future, 1974.
- [10] Parsons G.R., "The travel Cost Model", In Boyle K. et Peterson G. (eds), *A Primer for Non-Market Valuation*, Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [11] Scherrer S., *Evaluation économique des aménités récréatives d'une zone humide intérieure : le cas du Lac du Der*, MEDD, Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale, document de travail n°03-E05, 2003.
- [12] Scherrer S., *Comment évaluer les biens et services environnementaux ?* Paris : La documentation Française, 2004.
- [13] Shaw D.G., "On-Site Samples' Regression: Problems of Non-negative Integers, Truncation and Endogenous Stratification", *Journal of Econometrics*, 37, pp. 211-223, 1988.
- [14] White H., "Maximum Likelihood Estimation of Misspecified Models", *Econometrica*, 50, pp. 1-25, 1982.
- [15] Willig R.D., "Consumer's Surplus Without Apology", *The American Economic Review*, 66(4), pp. 589-597, 1976.

Annexe – Questionnaire utilisé pour l'enquête en face-à-face

Bonjour Monsieur, Madame. Je suis _____ de l'Ifop (Institut Français d'Opinion Publique). Nous réalisons actuellement une étude pour le Ministère de l'Environnement.

Nous désirons connaître votre opinion sur le Lac du Der. Cela prendra une dizaine de minutes. Nous interrogeons des personnes âgées de 18 ans et plus, est-ce votre cas ?

| | | |
|-----|---|------------------|
| Oui | 1 | → F0 |
| Non | 2 | → STOP INTERVIEW |

A POSER A UNE PERSONNE DE 18 ANS ET PLUS

F0 Age de l'interviewé :

Je vous remercie, pour mes statistiques, je vais vous demander votre année de naissance, s'il vous plaît.

| | |
|----------------|---|
| De 18 à 24 ans | 1 |
| De 25 à 34 ans | 2 |
| De 35 à 49 ans | 3 |
| De 50 à 64 ans | 4 |
| Plus de 65 ans | 5 |

F1 ENQUETEUR : CODER LE SEXE DE LA PERSONNE INTERROGEE

| | |
|-------|---|
| Homme | 1 |
| Femme | 2 |

F2A Où résidez-vous de façon permanente ? Ville

F2B Numéro de département

F2C Pays

CONSIGNE ENQUETEUR : SI DEPARTEMENTS DE L'AUBE (10), de la MARNE (51), de la HAUTE-MARNE (52) ou de la MEUSE (55), POSEZ F3, SINON ALLEZ EN F4

F3 Allez-vous faire l'aller-retour depuis votre résidence principale dans la journée ?

| | | |
|-----|---|------|
| Oui | 1 | → Q1 |
| Non | 2 | → F4 |

F4 Combien de nuits passez-vous dans la région ?

F5 Dans quelle ville/commune étiez-vous logé la nuit dernière ?

F6 Etait-ce ...

| | |
|---------------------------------|---|
| En hôtel | 1 |
| En camping | 2 |
| En location | 3 |
| Dans la famille | 4 |
| Chez des amis | 5 |
| Dans votre résidence principale | 6 |
| Dans votre résidence secondaire | 7 |
| Autres (à préciser) /===== / | 8 |

A TOUS

Q1/ Est-ce la première fois que vous venez au lac du Der ?

| | | |
|-----|---|------|
| Oui | 1 | → Q3 |
| Non | 2 | → Q2 |

Q2/ Au cours des 12 derniers mois, combien de fois êtes-vous venu au lac du Der ?

A TOUS

Q3/ Aujourd'hui, vous êtes venu au lac du Der...

| | |
|------------|---|
| Seul | 1 |
| En couple | 2 |
| En famille | 3 |
| Entre amis | 4 |
| En groupe | 5 |

Q4/ Par quel moyen de transport êtes-vous venu aujourd'hui au lac du Der ?

ENQUETEUR : CITER – UNE SEULE REPONSE POSSIBLE

| | | |
|--|---|------|
| En voiture particulière | 1 | → Q5 |
| En voiture de location | 2 | → Q5 |
| A pied | 3 | → Q7 |
| En vélo | 4 | → Q7 |
| En moto/scooter | 5 | → Q7 |
| En bus, dans le cadre d'un voyage organisé | 6 | → Q7 |
| Autres | 7 | → Q7 |

Q5/ Combien de personnes ont fait le trajet avec vous aujourd'hui en voiture (y compris vous-même)?

Q6/ Quel est le nombre de chevaux fiscaux de cette voiture ?

| | |
|--------------------------|---|
| Inférieur ou égal à 4 CV | 1 |
| Entre 5 et 6 CV | 2 |
| Entre 7 et 9 CV | 3 |
| 10 CV et plus | 4 |
| Nsp | 5 |

Q7/ Quel a été votre temps de trajet aujourd'hui en minutes de votre point de départ jusqu'au Lac du Der ?

Q8/ Quelle distance en kilomètres cela représente-t-il ?

Q9/ Aujourd'hui, combien d'heures allez-vous/êtes-vous rester (é) au Lac du Der (y compris repas) ?

Q10/ Quelle activité avez-vous/allez-vous pratiqué(ér) principalement aujourd'hui au Lac du Der ?

| | |
|--|----|
| Observation des oiseaux | 1 |
| Promenade/randonnée | 2 |
| Baignade | 3 |
| Pêche | 4 |
| Promenade en bateau | 5 |
| VTT/vélo | 6 |
| Equitation | 7 |
| Sports nautiques (voile, aviron, motonautisme ...) | 8 |
| Visite de fermes, musées | 9 |
| Autres (à préciser) /=====/ | 10 |

Q11A/Q11B/ Combien allez-vous/ avez-vous dépensé(er) aujourd'hui sur place sous forme d'achat ou de consommation (souvenirs, cartes postales, locations de matériel, boissons, restaurants, ...)?

CONSIGNE ENQUETEUR : Pour les personnes qui ne font pas l'aller/retour dans la journée depuis leur résidence principale (ceux qui ont répondu non à F3 OU pour ceux qui n'habitent pas dans les départements 10, 51, 52 et 55) :

Q12/ Au total, à combien évaluez-vous le coût de votre séjour sur le lac du Der ? (tout compris : hôtel, restaurants, coût du voyage, dépenses diverses sur place, ...)

A TOUS

Q13/ Le site du Lac du Der présente de nombreux intérêts, notamment biologique, écologique et récréatif. Afin de protéger la nature et de rendre possible la pratique d'activités récréatives et en respect avec l'environnement, il a été nécessaire d'effectuer d'importants aménagements sur le Lac du Der, comme la construction de parkings, le tracé de sentiers, l'organisation de visites guidées ...

Le saviez-vous ?

| | |
|-----|---|
| Oui | 1 |
| Non | 2 |

Ces aménagements ont des coûts importants qui se justifient par leur intérêt pour l'environnement, mais aussi par la satisfaction supplémentaire qu'ils procurent aux visiteurs. Pour connaître la valeur de l'attachement que vous-même avez pour ce site tel qu'il est actuellement, je vais vous décrire des scénarios fictifs dont le but est de vous aider à estimer cette valeur.

Q14/ Voici la première proposition A

Supposons, de façon totalement imaginaire, que les visiteurs soient sollicités lors de leurs visites sur place, pour effectuer un don à un fonds spécifique destiné à aider à entretenir et protéger le Lac du Der, et cela de façon totalement volontaire.

Personnellement, dans ce cas fictif, combien seriez-vous prêt à donner à ce fonds, en une fois, pour contribuer à la préservation du site du Lac du Der ?

CONSIGNE ENQUETEUR : Si 0, POSER Q15, sinon ALLER en Q16

Q15/ Pour quelle raison ?

ENQUETEUR : NE RIEN SUGGERER ET RECODER – UNE SEULE REPOSE POSSIBLE

| | |
|---|---|
| Ce n'est pas à vous de payer | 1 |
| Il n'est pas nécessaire de payer pour maintenir ce site | 2 |
| Vos moyens financiers ne vous le permettent pas | 3 |
| Vous n'avez pas assez d'informations pour vous décider | 4 |
| Vous avez peur de payer pour les autres | 5 |
| Vous payez déjà pour pratiquer une activité de loisir | 6 |
| Autres raisons (à préciser) /===== / | 7 |

Q16/ Voici la deuxième proposition B

Je vais maintenant vous demander d'imaginer que, de façon totalement fictive encore, l'on demande aux visiteurs sur place de contribuer financièrement aux travaux de protection et d'entretien du site du Lac du Der par le biais d'un droit de stationnement.

Personnellement, dans ce cas imaginaire, quel est le montant maximal du droit de parking que vous accepteriez de payer, sans que cela ne modifie la fréquence de vos visites ?

CONSIGNE ENQUETEUR : Si 0, POSER Q17, sinon ALLER en Q18

RS3 Quel est le nombre de personnes vivant dans votre foyer, y compris vous-même ?

| | |
|---------------------|---|
| 1 personne | 1 |
| 2 personnes | 2 |
| 3 personnes | 3 |
| 4 personnes | 4 |
| 5 personnes | 5 |
| 6 personnes | 6 |
| 7 personnes | 7 |
| 8 personnes | 8 |
| 9 personnes et plus | 9 |

RS4 Quel est le nombre d'enfants de moins de 15 ans vivant dans votre foyer ?

| | |
|-------------------|----|
| Pas d'enfant | 1 |
| 1 enfant | 2 |
| 2 enfants | 3 |
| 3 enfants | 4 |
| 4 enfants | 5 |
| 5 enfants | 6 |
| 6 enfants | 7 |
| 7 enfants | 8 |
| 8 enfants | 9 |
| 9 enfants et plus | 10 |

RS5 Nous désirons analyser les résultats de cette étude en fonction des revenus familiaux des personnes que nous avons interrogées. Nous désirons savoir à quel niveau vous vous situez en comptant toutes les rentrées d'argent de votre foyer, telles que : salaires, allocations familiales, pensions et revenus ...Je vais vous citer une échelle de revenus MENSUELS, vous me direz dans quelle tranche vous vous situez. Je vous parle bien des revenus de toute la famille. Pouvez-vous me citer la lettre qui correspond ?

| | | |
|---|---|----|
| A | Moins de 3 000 Francs par mois / moins de 457 euros par mois | 1 |
| B | De 3 000 à moins de 4 000 F par mois / de 457 à moins de 610 euros par mois | 2 |
| C | De 4 000 à moins de 5 000 F par mois / de 610 à moins de 762 euros par mois | 3 |
| D | De 5 000 à moins de 6 500 F par mois / de 762 à moins de 991 euros par mois | 4 |
| E | De 6 500 à moins de 8 000 F par mois / de 991 à moins de 1 220 euros par mois | 5 |
| F | De 8 000 à moins de 9 500 F par mois / de 1 220 à moins de 1 448 euros par mois | 6 |
| G | De 9 500 à moins de 11 000 F par mois / de 1 448 à moins de 1 677 euros par mois | 7 |
| H | De 11 000 à moins de 12 500 F par mois / de 1 677 à moins de 1 906 euros par mois | 8 |
| I | De 12 500 à moins de 14 000 F par mois / de 1 906 à moins de 2 134 euros par mois | 9 |
| J | De 14 000 à moins de 15 000 F par mois / de 2 134 à moins de 2 287 euros par mois | 10 |
| K | De 15 000 à moins de 16 000 F par mois / de 2 287 à moins de 2 439 euros par mois | 11 |
| L | De 16 000 à moins de 18 000 F par mois / de 2 439 à moins de 2 744 euros par mois | 12 |
| M | De 18 000 à moins de 20 000 F par mois / de 2 744 à moins de 3 049 euros par mois | 13 |
| N | De 20 000 à moins de 22 000 F par mois / de 3 049 à moins de 3 354 euros par mois | 14 |
| O | De 22 000 à moins de 25 000 F par mois / de 3 354 à moins de 3 811 euros par mois | 15 |
| P | 25 000 francs et plus / 3 811 euros et plus | 16 |
| Q | NSP/Refus de réponse | 17 |

