

**La vente aux enchères des engagements de diminuer la pollution
en Grande-Bretagne**

Isabelle Thijs

Assistante aux Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix
Faculté des Sciences économiques, sociales et de gestion

Lauréate de Prix 2005 de l'Institut Belge de Finances Publiques

Abstract

In order to meet its international obligations under the Kyoto Protocol and reduce greenhouse gas emissions at least-cost, Great Britain set up an emission-trading scheme: "UKETS". The British Government provided a financial incentive for firms that agreed to take on voluntary targets of emissions reduction, using a descending clock auction to allocate this money. The objectives of this paper are double. First we will present the U.K. emissions trading scheme and analyze the auction that contributed to implement this system. Then, we will try to understand the reasons why the British government decided to adopt this auction, i.e. to establish if this auction brings an optimal budget repartition, which maximizes emission reductions.

Keywords : tradable permits, environment

JEL Classification : D44, Q58

1 Introduction

De nos jours, le réchauffement climatique est une des menaces les plus sérieuses envers l'environnement mondial et, à ce titre, se situe plus que jamais au centre des débats, tant au plan national qu'international. D'importantes réductions de pollution seront nécessaires au cours de ce siècle pour éviter les dommages dus au changement climatique. Afin de remédier à cet épineux problème, les pays développés se sont engagés, dans le cadre du Protocole de Kyoto, à réduire leurs émissions de gaz à effets de serre.

Cet article aborde le cas particulier de la Grande-Bretagne : ce pays, très préoccupé par cette problématique, a désiré restreindre fortement ses émissions de gaz à effets de serre, tout en limitant le coût d'une telle dépollution. Afin d'effectuer ces réductions d'émissions de la manière la plus efficace possible, le gouvernement britannique a décidé d'élaborer un système d'échange de droits d'émissions, l'« *UK emissions trading scheme* ». Dans le cadre de l'UK ETS, le gouvernement britannique a distribué des incitatifs financiers à certaines firmes en échange de réduction d'émissions. Dans le but d'obtenir une dépollution maximale et optimale, celui-ci a choisi d'organiser une vente aux enchères pour allouer ces incitatifs.

Après avoir présenté l'*UK emissions trading scheme* et analysé l'enchère « *descending clock* », qui a contribué à la mise en œuvre de ce système, nous tenterons de comprendre les raisons qui ont poussé le gouvernement britannique à adopter ce mécanisme d'enchère et expliquerons en quoi l'enchère « *descending clock* » était la plus adaptée, selon lui, au problème de l'*UK emissions trading scheme*.

2 Présentation du système britannique d'échange de droits d'émission

L'*UK emissions trading scheme* est le nom qui a été donné par la Grande-Bretagne à son système national d'échange d'émissions de gaz à effets de serre. L'UK ETS est le premier système de ce genre à être lancé à une échelle nationale. Cette section présente brièvement le contexte général, le fonctionnement et les objectifs de ce système. Les informations concernant l'*UK emissions trading scheme* qui seront exposées dans cette section proviennent principalement des publications de l'agence gouvernementale britannique DEFRA – « *Department for Environment, Food and Rural Affairs* », et du site Internet de celle-ci (<http://www.defra.gov.uk>).

2.1. Contexte international et objectifs de la Grande-Bretagne en matière d'émissions de gaz à effets de serre

Afin de lutter contre le réchauffement climatique, les pays industrialisés ont signé un accord à Kyoto en décembre 1997. Les pays signataires du protocole de Kyoto se sont engagés à réduire, sur une période de 4 ans (2008-2012), leurs émissions des six principaux gaz à effets de serre à raison de 5,2%.¹ La Communauté internationale,

1) United Nations, 2002 [24].

pour permettre aux Etats signataires d'atteindre ces objectifs de dépollution dans les meilleures conditions, a proposé l'usage de mécanismes tels que les systèmes d'échange d'émissions. Un système international d'échange d'émissions de gaz à effets de serre devrait être mis en place en 2008. Ce système rendra possible l'échange « d'unités de quantité de pollution attribuée » entre ces pays qui se sont engagés à respecter des objectifs de réduction d'émission, dans le but de réaliser celles-ci là où elles sont les moins chères. Parallèlement, la Commission Européenne a préconisé la mise en place d'un système communautaire d'échange d'émissions. Ce dernier débutera en 2005 et sera relié au système international quand celui-ci commencera.

Dans le cadre du protocole, l'Union Européenne a consenti à une réduction globale de 8%. Cet effort a été réparti entre les différents Etats membres, en tenant compte de leur situation financière et des besoins liés à leur croissance économique. Il a été décidé que la Grande-Bretagne y contribuerait en diminuant ses émissions de 12,5% par rapport au niveau de 1990.² Parallèlement, le Gouvernement britannique, persuadé que son pays devait aller plus loin, s'est fixé un objectif domestique plus ambitieux : il désire réduire pour 2010 les émissions de dioxyde de carbone de 20% par rapport aux émissions de 1990.³

En vue d'atteindre ces deux objectifs, la Grande-Bretagne a publié, en novembre 2000, le « UK Climate Change Programme », un vaste programme regroupant de nombreuses réglementations qui permettront de lutter contre le réchauffement climatique. Ce programme englobe un grand nombre de mesures qui permettront d'engendrer des réductions d'émissions à travers tous les secteurs de l'économie. Il vise également à préparer le pays aux importantes baisses d'émissions qui seront nécessaires dans le futur. Le système d'échange d'émissions de gaz à effets de serre, le « UK emissions trading scheme », représente une part importante des dispositions du « UK Climate Change Programme ».⁴

2.2. Pourquoi avoir recours à un système d'échange des droits d'émissions

Afin de respecter ses engagements en matière de dépollution, le gouvernement britannique a choisi de mettre en place un système d'échange d'émissions. L'UK emissions trading scheme a été élaboré par l'organisme gouvernemental DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs), en collaboration avec la compagnie privée « UK Emissions Trading Group » (ETG). Dans ses publications, DEFRA invoque plusieurs raisons justifiant l'usage d'un tel système d'échange⁵. Nous exposons ici une synthèse de ces arguments.

2) www.europa.eu.int.

3) DEFRA (2000) - <http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/index.htm> [28].

4) Une présentation complète de ce programme est disponible sur le site Internet du département britannique DEFRA, à l'adresse suivante : <http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/index.htm>.

5) DEFRA (2001) [5].

Voir également <http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/trading/uk/index.htm> [30] et DETR (2001) [11].

L'échange de droits d'émissions est un instrument politique qui s'écarte de l'approche traditionnelle adoptée par les gouvernements en matière de réglementation sur la pollution (limite absolue que chaque firme doit respecter individuellement). Au sein d'un plan d'échange, on retrouve des limitations de pollution, mais avec possibilité d'échange - achat ou vente - de permis de polluer. Cet instrument politique basé sur le marché est particulièrement adapté au problème des gaz à effets de serre, responsables du réchauffement climatique, car ces gaz ont le même impact environnemental quel que soit l'endroit où ils entrent dans l'atmosphère. Il en découle que si on donne une limite globale d'émissions à un ensemble de compagnies, la quantité émise par chaque compagnie prise individuellement importe peu, tant que la somme des émissions de toutes les compagnies ne dépasse pas la limite globale imposée.

Un système d'échange d'émissions permet d'imposer une limite globale de pollution à un groupe d'émetteurs, tout en laissant chaque firme décider de manière flexible comment atteindre son objectif individuel. Les participants d'un tel système adoptent des objectifs qui leur demandent de réduire leurs émissions à un niveau limité. Ils reçoivent alors des permis de polluer pour un niveau égal à cette limite. A partir de là, plusieurs solutions s'offrent à eux. Premièrement, ils peuvent choisir de respecter la limitation en réduisant leurs propres émissions afin que leur quantité d'émissions devienne égale à cette limite. Ils peuvent aussi réduire leurs émissions à un niveau inférieur et, s'ils le désirent, vendre ou « épargner » les permis de polluer excédentaires qu'ils détiendront. Enfin, il leur est possible de dépasser la limite d'émissions et d'acheter en compensation des permis à d'autres participants au sein du système d'échange. Tout ce qui compte, c'est qu'au moment où les firmes devront montrer qu'elles ont respecté leurs obligations, chaque participant détienne des permis de polluer pour une valeur au moins égale à sa quantité d'émissions. Il en résulte que la quantité totale d'émissions sera réduite à la somme des niveaux de pollution limite des firmes participantes.

Il va de soi que la décision d'un participant d'acheter ou de vendre des permis de polluer dépendra de la comparaison entre son coût de dépollution et celui des autres participants du plan. La meilleure stratégie dépendra donc du prix des permis de polluer sur le marché. Au travers de tout le système d'échange, ceux qui ont les opportunités de coûts les plus bas auront tendance à vendre des permis à ceux qui ont des coûts plus élevés. La mise en place d'un marché d'échange permettra à toutes ces décisions individuelles d'aboutir à la formation d'un prix d'équilibre pour les permis de polluer. Ce prix d'équilibre reflétera le coût marginal global de dépollution des firmes participantes, ce qui enverra une information claire sur le coût supporté par celles-ci pour respecter les objectifs. A son tour, cette information donnera à tous les participants une incitation directe à innover et investir dans de nouvelles technologies afin de réduire le coût lié à l'achèvement de leurs objectifs. Et un participant qui réduit ses coûts par rapport aux autres participants ouvre une possibilité de gains venant de l'échange. En conséquence, l'échange va apporter un bénéfice, car l'existence d'un marché permettra d'égaliser les coûts marginaux des firmes à dépolluer et garantira que l'ensemble des réductions requises sera délivré au coût le plus bas possible ⁶. Au plus le taux de participation au système d'échange sera élevé, plus ces réductions de coûts risquent d'être élevées.

6) cfr. DEFRA, 2001 c [7], page 4.

Le raisonnement justifiant l'échange d'émissions est donc simple : un tel système garantit que les diminutions d'émissions seront effectuées là où le coût de réduction est le plus faible. Il en découle que le coût global engendré par la lutte contre le réchauffement climatique sera plus faible que dans le cadre d'une législation classique. Ce système permet au gouvernement de réguler la quantité totale d'émissions produites en établissant une limite globale de pollution pour les participants au système d'échange, mais tout en donnant aux entreprises la flexibilité de déterminer où et comment les réductions d'émissions seront réalisées.

2.3. Fonctionnement de l'UK ETS

Le système d'échange d'émissions britannique se déroulera sur une période de cinq ans : lancé en avril 2002, il continuera jusque fin 2006. Il s'agit d'un système non contraignant : les entreprises participantes doivent y entrer de manière volontaire. Il existe quatre façons de prendre part au « *UK emissions trading scheme* »⁷ :

1. Le gouvernement britannique a distribué des incitatifs financiers aux entreprises qui ont accepté d'adopter volontairement des objectifs de réduction d'émission. Afin d'allouer au mieux cette somme, des enchères ont eu lieu en mars 2002. Les firmes qui ont reçu ces incitatifs sont appelées les « **participants directs** ». Elles devront réaliser des réductions absolues d'émissions par rapport à leur niveau de 1998-2000.
2. Les **participants CCA** sont des firmes qui doivent respecter des objectifs d'émission ou d'utilisation d'énergie imposés par les « *Climate Change Agreements* », c'est-à-dire des accords conclus dans le cadre du « *Climate Change Programme* », et qui sont capables d'utiliser le système d'échange pour atteindre leur objectif ou pour vendre un surplus de dépollution.
3. Il sera possible pour certaines entreprises d'entreprendre des **projets de réduction d'émissions** afin de vendre les permis qui en résulteront dans le cadre du système d'échange d'émissions.
4. Quiconque est libre d'entrer sur le marché des émissions et d'y échanger des titres dans un **but purement spéculatif**.

Les participants directs ont une limite d'émissions à respecter. Cette limite est calculée à partir d'un niveau de base (leurs émissions moyennes sur la période 1998-2000). Chaque année, ils reçoivent des permis de polluer d'une valeur égale au niveau maximum d'émission qu'ils peuvent atteindre. En fonction de ses coûts de dépollution, le participant choisira de réduire lui-même ses émissions ou d'acheter des permis supplémentaires sur le marché d'échange. En fin d'année, chaque participant doit se soumettre à une vérification concernant ses émissions annuelles et démontrer au gouvernement qu'il détient des permis en nombre suffisant pour couvrir toutes ses émissions. Cette forme d'échange d'émissions est communément appelée « *cap and trade* ».

7) DEFRA (2002 a) [8].

Les participants CCA, quant à eux, ne reçoivent pas dès le départ des permis de polluer. Tous les deux ans, ils subissent une vérification d'émissions qui établit s'ils sont en conformité avec leur objectif de dépollution. S'il s'avère qu'ils ont diminué leurs émissions à un niveau inférieur à cet objectif, ils recevront des permis de polluer. Comme les participants directs, ils ont à tout moment le droit d'acheter des permis additionnels pour couvrir des émissions supérieures à la limite. On appelle cette forme d'échange d'émissions « *baseline and crédit* ».

Toute détention de permis de polluer est enregistrée dans un registre informatique. Tous les participants directs et CCA disposent d'un « compte de conformité » dans ce registre, dans lequel sont enregistrés toute attribution et tout retrait de permis. En fin d'année, le gouvernement débite de ce compte tous les permis requis pour couvrir les émissions du participant au cours de l'année précédente. Tous les permis qui restent peuvent être « stockés » pour un usage futur ou être vendus sur le marché. L'échange des crédits d'émissions se déroule de la même manière que pour n'importe quel autre produit : toute personne qui possède un compte dans le registre peut acheter et vendre des permis de polluer.

3 Choix du mécanisme d'enchère pour l'allocation des incitatifs financiers de l'UK Emission Trading Scheme

L'attribution d'incitatifs financiers aux firmes en échange de réduction d'émissions constitue l'élément fondamental de l'*UK emissions trading scheme*. En effet, ces incitatifs ont permis de réaliser d'importantes réductions d'émissions, mais ils ont surtout fortement contribué à encourager le développement d'un marché d'échange liquide avec un nombre suffisant d'entreprises. Afin d'obtenir une réduction maximale et optimale des émissions de gaz à effets de serre, le gouvernement britannique a utilisé un mécanisme d'enchère pour distribuer son budget. L'analyse du problème posé par le choix du meilleur mécanisme d'offre a été dirigée par deux experts en conception d'enchères : le Professeur Eric Maskin et le Professeur Peter Cramton. Cette étude a permis d'identifier trois mécanismes d'offre envisageables dans le cadre de l'UK ETS, puis d'évaluer ceux-ci en fonction des critères du gouvernement britannique.⁸

Pour chacune de ces enchères, le principe de base est le même : la firme offre une quantité de réduction d'émissions en tonnes de CO₂ (tCO₂e), pour un certain prix, exprimé en £/tCO₂e. Les trois choix possibles étaient les suivants⁹ :

- une enchère statique à prix uniforme (statique) : Au début de l'enchère, chaque firme soumet un « plan d'offre » c'est-à-dire qu'elle donne, pour chaque prix possible, la quantité de réduction d'émissions de gaz à effets de serre qu'elle est prête à réaliser. A partir de ces offres, le commissaire-priseur détermine le prix d'équilibre (p*), pour lequel la quantité d'émissions cumulées multiplié par p* épuise le budget. Dans ce type d'enchère, chaque participant reçoit le même prix – le prix d'équilibre – pour chaque tonne de réduction d'émission qu'il a offert pour p*.

8) Source : DEFRA. Voir notamment : DEFRA (2001 b) [6], disponible en ligne (<http://www.defra.gov.uk>).

9) DEFRA (2001 b).

- une enchère inversée dynamique (en plusieurs rounds d'offre) : Au début de l'enchère, les firmes doivent soumettre un plan d'offre indiquant des quantités de réduction d'émissions pour chaque prix possible. Le commissaire-priseur agrège alors les plans d'offres de toutes les firmes et détermine le prix d'équilibre du round. Les participants sont informés de ce prix d'équilibre temporaire et des quantités qu'ils gagneraient à ce prix. Les firmes ont alors la possibilité de modifier leur offre en fonction de l'information reçue, et soumettent leur nouveau plan d'offre pour le round suivant. L'enchère prend fin lorsque plus aucune firme ne veut améliorer son offre. Chaque firme reçoit le prix d'équilibre p^* par tonne de réduction d'émissions offerte à ce prix.
- une enchère dynamique de type « descending clock »¹⁰ (en plusieurs rounds d'offre) : Le commissaire-priseur fixe un prix par tonne de réduction d'émissions, et les participants offrent une quantité, qui correspond à la réduction d'émissions qu'ils sont prêts à réaliser pour ce prix. Le commissaire-priseur diminue ce prix au cours des rounds suivants, jusqu'à ce que la valeur des quantités offertes devienne inférieure ou égale au budget. Entre chaque round, il fournit l'information sur la quantité offerte et le nombre de firmes participantes. C'est cette enchère qui a été choisie dans le cadre de l'UK ETS.

3.1. Critères d'évaluation des mécanisme d'enchère proposés¹¹

Afin d'évaluer les performances de ces trois alternatives, le gouvernement britannique a procédé à une analyse basée sur de nombreux éléments. Les critères utilisés pour comparer entre elles ces différentes propositions de mécanisme d'enchère sont les suivants :

- l'efficacité économique : obtenir le maximum de réduction d'émissions possible avec le budget, et un prix d'équilibre de l'enchère aussi proche que possible du coût marginal de dépollution,

- l'efficacité environnementale : réduire les émissions de gaz à effets de serre durant la période visée par le protocole de Kyoto (2008-2012), attirer des firmes qui ont l'intention de réduire leurs émissions davantage qu'elles ne l'auraient fait sans l'incitatif financier,

- une dépense annuelle d'incitatifs financiers pour une valeur de £43 millions (ce qui correspond à un total de £215 millions sur la période 2002-2006),

- la liquidité du marché d'échange : pour que l'UK ETS ait du succès, il est important d'accroître le nombre de firmes participantes qui s'engagent à atteindre des objectifs absolus et de toucher des firmes provenant de secteurs variés de l'économie,

- la simplicité : le système choisi doit être facilement compréhensible et doit être simple pour le gouvernement et les firmes d'un point de vue administratif,

- l'équité : être accessible à un large assortiment de firmes,

- la faisabilité politique,

- favoriser l'entrée dès la première année du système (en 2002).

10) DEFRA (2001 b), pages 18-29.

11) DEFRA (2001 b), pages 30-34.

Parmi les critères de comparaison utilisés, les plus importants sont la simplicité et l'efficacité : la solution sélectionnée devrait impérativement fournir une solution efficace et être suffisamment simple d'usage pour les firmes.

Notons par ailleurs que le gouvernement britannique a choisi de poser certaines contraintes sur l'offre. Tout d'abord, une limite sur la proportion des £215 millions d'incitatifs monétaires qu'une firme pourrait obtenir, dans le but d'augmenter le nombre de participants, et ainsi d'assurer un bon fonctionnement du marché des permis de polluer. Le gouvernement a également décidé d'imposer aux firmes une réduction d'émissions minimale, afin de renforcer la crédibilité du système d'échange. Les conséquences de ces contraintes sur le choix du système d'enchère devraient toutefois être minimales, dans la mesure où elles devraient agir de la même façon sur l'offre, quel que soit le mécanisme utilisé.

3.2. Evaluation selon les critères d'efficacité économique et d'efficience environnementale¹²

Dans le contexte de l'*UK emissions trading scheme*, l'efficacité et l'efficience environnementale sont très liées. Pour que l'enchère soit efficace, il faut qu'elle aboutisse à un prix d'équilibre qui soit égal au coût marginal de réduction des émissions et qui maximise les diminutions d'émissions obtenues en échange du budget. Cette deuxième exigence est la condition requise pour que l'enchère soit efficiente d'un point de vue environnemental.

S'il y a assez de participants, aucune firme ne devrait avoir un effet sensible sur le prix d'équilibre et les seuls éléments pris en compte par chaque firme sont son propre coût de dépollution et le montant qu'elle recevra pour effectuer la réduction d'émission offerte. La stratégie optimale pour les firmes sera alors de soumettre leur vrai plan d'offre de réduction d'émissions (élaboré en fonction de leur courbe de coût marginal).

Les systèmes d'enchères dynamiques procurent un cadre de concurrence parfaite, où chaque offreur est un price-taker parfaitement informé. En effet, l'enchère organisée pour l'UK ETS est un événement unique, donc chaque firme va tenir compte de la stratégie d'offre des autres participants. Les enchères dynamiques permettent aux firmes de tirer des conclusions à partir des offres des autres participants sur des variables futures. Elles réduisent le risque de déformation de la stratégie d'offre, lié à des attentes incorrectes à propos du comportement des autres participants.

Pour assurer une certaine crédibilité environnementale, le gouvernement britannique a imposé une contrainte sur la réduction minimale d'émissions qu'une firme doit offrir pour participer à l'enchère. Cette contrainte pourrait quelque peu limiter l'efficacité économique du mécanisme d'offre. En effet, si les coûts de réduction d'émissions d'une firme sont élevés, un mécanisme d'allocation efficace pourrait attribuer à celle-ci une quantité de réduction des émissions inférieur un niveau de réduction minimum. Néanmoins, dans le cas de réduction d'émissions trop faibles,

12) DEFRA (2001 b), p. 31.

la vérification des niveaux réels d'émissions deviendrait assez laborieuse. Il existe également une contrainte qui impose une part de budget maximum par firme, qui pourrait diminuer l'efficacité environnementale. En effet, si une firme possédait un coût de réduction des émissions très inférieur à celui des autres, il serait plus efficace de lui confier une part importante des efforts de réduction d'émissions. La raison d'être de cette contrainte résulte d'un autre objectif, la liquidité, qui demande qu'un nombre assez important de firmes prennent des engagements de réduction d'émissions en échange des paiements incitatifs.

3.3. Evaluation selon le critère de simplicité¹³

D'un point de vue administratif, les enchères statiques sont plus simples que les enchères dynamiques, car elles ne comportent qu'un seul round d'offre. Il est certain qu'une enchère inversée est bien plus compliquée à administrer pour le gouvernement que l'enchère à prix uniforme. Parmi les enchères dynamiques, le système « *descending clock* » est le plus simple, car le commissaire-priseur n'est pas obligé de traiter des plans entiers d'offre.

Du point de vue des participants, principalement pour les petits offreurs, les enchères dynamiques sont plus simples qu'une enchère à prix uniforme. En effet, la stratégie optimale d'offre d'une firme dépend en partie du comportement des autres firmes et des informations qu'elles détiennent. Dans une enchère statique, les firmes soumettent un plan d'offre au commencement, et sont incapables d'y apporter des modifications en fonction de l'offre des autres participants. De ce fait, il existe un risque de déformation de leur stratégie d'offre, lié à des prévisions incorrectes. Elles doivent donc fournir des efforts non négligeables afin de formuler des attentes à propos du comportement des autres firmes, de leur stratégie d'offre et de leurs coûts. Dans une enchère dynamique, les participants sont informés, après chaque round, de la quantité offerte pour chaque prix. Les firmes ne doivent donc en aucun cas recourir aux prévisions nécessaires pour l'enchère statique, puisqu'il est possible de tirer des conclusions à partir des offres des autres firmes et de réagir.

L'enchère « *descending clock* » est fondamentalement la même que l'enchère inversée, excepté que c'est le commissaire-priseur qui diminue le prix, plutôt que les firmes elles-mêmes. Les enchères « *descending clock* » sont donc un peu plus simples pour les offreurs et pour le commissaire-priseur que les enchères inversées, car les participants ne doivent pas soumettre un plan d'offre complet à chaque round, mais seulement une quantité.

Le désavantage majeur des mécanismes dynamiques tient au fait que l'offreur doit suivre l'enchère sur une période de temps assez longue. Toutefois, cet inconvénient peut être contourné car, si elles le souhaitent, les firmes peuvent tout simplement soumettre un plan d'offre au début des enchères et s'abstenir de le modifier au cours des rounds suivants, c'est-à-dire qu'il est permis d'utiliser l'enchère dynamique comme si elle était statique. Il est évident que cette façon de procéder n'est pas conseillée pour une firme, surtout s'il existe une certaine incertitude sur le

13) DEFRA (2001 b), pages 32-33.

degré de concurrence durant l'enchère, ou si sa stratégie d'offre dépend dans une certaine mesure de paramètres tels que les attentes des autres firmes à propos du prix futur des permis de polluer.

3.4. Evaluation selon les autres critères¹⁴

Toutes les alternatives de mécanisme d'offre ont été définies de manière à épuiser le budget annuel et donc s'équivalent du point de vue de ce critère. Cependant, les dépenses engendrées par l'enchère dépendent directement du nombre d'offres. Ce nombre dépend à son tour de la simplicité du processus d'enchère et d'autres éléments, comme par exemple la contrainte de réduction d'émissions minimum.

La simplicité du système « descending clock » devrait permettre d'attirer un nombre de participants plus élevé. La contrainte imposée par le gouvernement concernant la proportion maximale du budget qu'une firme peut obtenir devrait également favoriser la participation d'un nombre élevé de firmes.

Les enchères dynamiques sont plus équitables pour les firmes que les enchères statiques. En effet, dans une enchère dynamique, il n'est pas nécessaire d'anticiper de manière précise le comportement et le coût des autres firmes, puisque le commissaire-priseur fournit des informations sur l'offre entre chaque round. Les firmes encourrent donc moins de dépenses pour formuler leurs attentes sur les autres offres que dans une enchère statique. De ce fait, cette méthode est favorable aux petites firmes, car elle leur évite des dépenses qui seraient probablement trop élevées pour elles dans le cadre d'une enchère statique. Un mécanisme dynamique assure donc une certaine équité, en évitant des coûts d'anticipation de l'offre, que seules les grosses firmes pourraient se permettre.

Afin de favoriser l'entrée des firmes dans le système d'échange dès 2002, un mécanisme d'enchères dynamique semble le plus approprié. En effet, dans le cadre d'une enchère statique, les firmes de petite taille devraient être peu enclines à participer, car elles pourraient effectuer leurs offres en se trompant. Avec une enchère dynamique, il est possible pour ces firmes d'observer l'évolution du prix du marché, ce qui leur permet d'offrir d'abord de manière prudente, puis d'améliorer leurs offres à la lumière de l'information du marché. Grâce à cette information, elles devraient être moins réticentes à participer au système d'échange des droits d'émission dès sa première année.

4 Organisation des enchères de l'UK emissions trading scheme

SOURCE : (DEFRA, <http://www.defra.gov.uk>)

Chacune des alternatives d'enchères que nous avons décrites ci-dessus était parfaitement adaptée au problème d'allocation des incitatifs de l'UK ETS. Après analyse de ces trois possibilités, il s'est avéré que le système « *descending clock* » était non seulement simple et efficace d'un point de vue économique, mais aussi le plus loyal par rapport aux participants. Par conséquent, c'est celui-ci que le gouvernement

14) DEFRA (2001 b), pages 30-34.

britannique a choisi afin d'allouer son budget et de fixer les objectifs de réduction d'émission dans le cadre de l'*UK emissions trading scheme*. L'enchère s'est déroulée les 11 et 12 mars 2002. Il s'agissait de la première enchère au monde pour la réduction des gaz à effets de serre.

4.1. Mécanisme de l'enchère « *descending clock* »

Une enchère de type « *descending clock* » se déroule en plusieurs phases (appelées « *rounds* »). Au début de chaque round, le commissaire-priseur annonce un prix de départ et un prix final par tonne de dioxyde de carbone (tCO₂e). Chaque participant soumet alors ses offres (au maximum cinq). Une offre exprime la quantité de réduction d'émissions, en tCO₂e, que le participant accepte de réaliser en échange d'un certain prix par tCO₂e, compris entre les prix de début et de fin de round. Ce processus est appelé « offre intra-round ». A la fin de chaque round, le commissaire-priseur communique la quantité agrégée de tCO₂e offerte en échange de ces prix. Si le prix multiplié par la quantité offerte est inférieur ou égal au budget de £215 millions, l'enchère prend fin. Si, au contraire, l'offre de réductions d'émissions est excédentaire, le commissaire-priseur commence un autre round avec un prix final plus bas et demande aux participants de soumettre d'autres offres. L'enchère se termine quand on atteint un prix d'équilibre pour lequel il n'y a pas d'offre excédentaire de réduction d'émissions. Les participants recevront une somme égale au prix d'équilibre pour chaque tonne de CO₂e offerte au cours du dernier round de l'enchère, à condition bien sûr qu'ils respectent leurs objectifs de dépollution.

➤ *Exemple :*

Supposons une enchère à quatre participants. A chaque round, on fixe un prix par tCO₂e. Les participants soumettent leurs offres. L'enchère se termine dès que la somme des paiements devient inférieure à £215 millions, c'est-à-dire au cinquième round.

Round	Prix (£/tCO ₂ e)	Offres des participants (en milliers de tonnes de CO ₂ e)				Offres totales (en milliers de tCO ₂ e)	Paiements totaux (en milliers de £)
		A	B	C	D		
1	45	2500	800	1700	3400	8400	378000
2	40	2300	800	1500	3000	7600	304000
3	35	2150	750	1350	2850	7100	248500
4	32	2100	750	1300	2850	7000	224000
5	30	2100	725	1300	2825	6950	208500
Incitatif total (en milliers de £)		63000	21750	39000	84750		
Objectif annuel (en milliers de tCO ₂ e)		420	145	260	565		
Incitatif annuel (en milliers de £)		12600	4350	7800	16950		
<i>Source</i> : DETR (2001) [11], pages 19-20.							

Signalons que les participants ne sont pas en mesure de déterminer à quel moment les enchères se termineront, puisque l'offre agrégée ne décroît pas de manière stable au cours des différents rounds. Si une firme soumet une offre lors du round qui s'avère être le dernier, elle ne pourra pas retirer cette offre ultérieurement. L'offre finale engagera le participant à effectuer les réductions d'émissions offertes au cours de la période 2002-2006.

L'incertitude entourant le prix d'équilibre a joué un rôle particulièrement important dans l'enchère de l'UK ETS : nul ne pouvait prédire avec exactitude le coût économique réel de la réduction des gaz à effets de serre. C'est précisément dans une telle situation, où il existe une incertitude considérable en ce qui concerne la valeur des biens, que la méthode des enchères dynamiques (en plusieurs rounds) présente un avantage considérable par rapport à une enchère statique. En effet, lorsqu'à la fin de chaque round, le commissaire-priseur divulgue la quantité agrégée de tCO₂e qui a été offerte et annonce s'il y aura un autre round, les participants ont la possibilité d'utiliser l'information agrégée pour réévaluer leur position et revoir leur intention d'offre pour le prochain round.

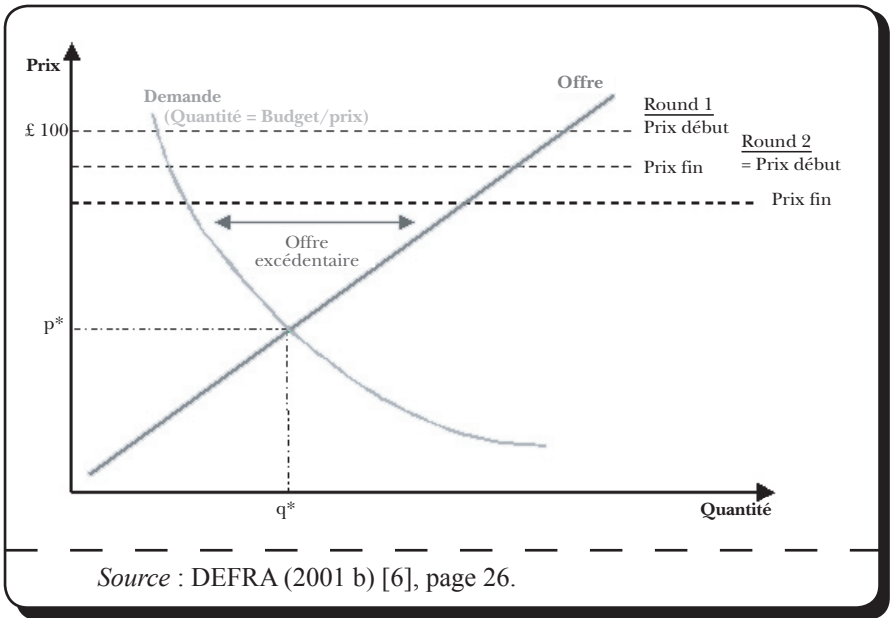
Afin de ne pas fixer un budget trop élevé par rapport aux quantités de réduction de gaz à effets de serre obtenues, celui-ci a été fixé de manière définitive seulement après le premier round de l'enchère. Ce budget a été choisi en fonction du niveau d'intérêt des participants, c'est-à-dire de la quantité totale de dépollution offerte du-

rant ce premier round. Il avait été décidé qu'il ne dépasserait pas la barre des £215 millions. Cette mesure devrait stimuler la concurrence entre firmes, car elle assure que le budget ne sera pas disproportionné par rapport aux quantités de dépollution offertes.

4.2. Processus d'enchère

Le processus de l'enchère « descending clock » est représenté à la figure (3.2). L'enchère commence à un prix élevé (£100 par tCO₂e), pour lequel il est très probable d'avoir une offre excédentaire. A chaque round, le prix proposé chute, ce qui réduit l'offre excédentaire. En effet, avec un prix plus bas, le commissaire-priseur pourra acheter davantage de réductions d'émissions (la demande augmente), tandis que les participants offriront moins de réduction d'émissions (l'offre diminue). Au prix d'équilibre p*, il n'y a plus d'offre excédentaire et les enchères prennent fin. Les participants se voient attribuer les quantités qu'ils avaient offertes pour le prix p*, et sont payés p* pour chaque tonne de réduction.

Figure 3.2: Processus d'une enchère de type « descending clock »



4.3. Objectifs et incitatifs financiers

A la fin des enchères, les participants gagnants se voient attribuer la quantité qu'ils ont offert de réduire pour le prix p^* . Cette quantité de dépollution devient leur objectif total de réduction d'émissions de gaz à effets de serre. Elle correspond à la réduction que chaque firme devra effectuer de 2002 à 2006. Cette quantité est divisée en cinq afin d'obtenir cinq objectifs annuels identiques. Chaque participant recevra un montant égal au prix d'équilibre p^* par tonne de réduction, pourvu qu'il ait accompli chacun de ses objectifs annuels de réductions. Par exemple, si un participant gagne une quantité égale à 5000 tCO₂e au prix d'équilibre de £50 par tCO₂e, son objectif total de réduction sera de 5000 tCO₂e, il devra donc effectuer des réductions annuelles de 1000 tCO₂e et, s'il y parvient, il sera payé £50/tCO₂e, c'est-à-dire £50000 par an, de 2002 à 2006.

4.4. Analyse du prix d'équilibre de l'enchère

Le prix d'équilibre de l'enchère peut être employé pour calculer le prix approximatif payé par le gouvernement par tonne de réduction d'émission de gaz à effets de serre. Cependant, ce prix n'est pas lié au prix d'échange actuel des permis de polluer sur le marché.

Si on suppose que le niveau d'activité des firmes est stable (flat business), les réductions réalisées par rapport au niveau d'émissions de base représentent en réalité trois fois la quantité offerte dans l'enchère, à cause de l'effet cumulé d'année en année des réductions d'émissions sur cinq ans.

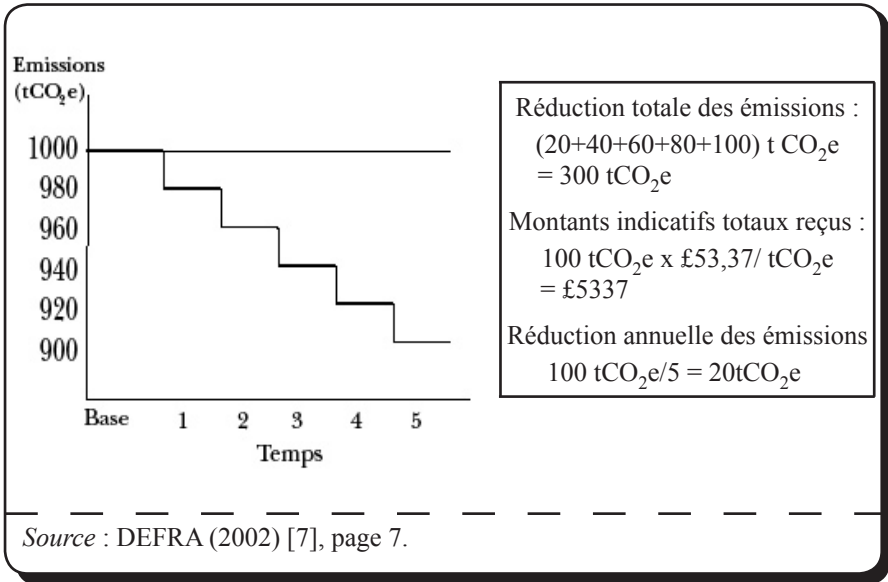
➤ Exemple :

Le participant A est un participant direct du plan. Il a une ligne de base de 1000 tCO₂e, et sa quantité offerte finale durant l'enchère est de 100 tCO₂e. Il doit donc réduire son niveau annuel d'émissions de gaz de 100 tCO₂e avant 2006. On considère que son niveau d'activité reste stable au cours des 5 années durant lesquelles il s'est engagé à baisser ses émissions.

Le participant A va devoir atteindre chaque année un objectif de réduction d'émissions. Cet objectif annuel est égal à la quantité offerte (100 tCO₂e) divisée par 5, c'est-à-dire 20 tCO₂e. Par conséquent, le participant A doit réduire son niveau annuel d'émissions de 20 tCO₂e tous les ans. Le participant A a donc les limites d'émissions suivantes : 980 tCO₂e en 2002, 960 tCO₂e en 2003, 940 tCO₂e en 2004, 920 tCO₂e en 2005, et 900 tCO₂e en 2006. Si l'on compare ces émissions par rapport aux émissions normales de la firme (1000 tCO₂e chaque année), on obtient une réduction cumulée d'émissions égale à 300 tCO₂e (=20+40+60+80+100).

Au prix d'équilibre final de £53,37/tCO₂e, le participant A recevra £1067,40 pour réaliser chaque objectif annuel, au total £5337 durant les cinq années. Cependant, quand nous divisons ce total par les réductions accumulées d'émission le montant payé par tonne d'émissions est $£53,37/3 = £17,79$.

Figure 3.2: Exemple de dépollution



Il faut signaler que l'incitatif financier reçu par les firmes est assujéti à l'impôt sur les sociétés. L'impôt sur les sociétés varie selon le niveau du revenu imposable ou du bénéfice de la société. Si le revenu imposable du participant est sujet au taux le plus élevé (30%), le prix payé par tonne de réduction d'émission est au minimum de £12,45 ($£17,79 \cdot (1-0,3)$). De même, si le revenu imposable du participant est sujet à un taux inférieur, le prix payé par tonne de réduction d'émission est au maximum de £17.79. Le prix payé par tonne de réduction varie donc entre £12.45 et £17.79.

De plus, on s'attend à ce que le prix d'équilibre de l'enchère comprenne une certaine prime de risque, que les organismes ont incluse dans leur stratégie d'offre lors de l'enchère. Cette prime couvre le risque lié au fait d'accéder volontairement à un nouveau marché et d'accepter une limitation obligatoire absolue sur ses émissions.

Pendant, même en tenant compte de ces facteurs, on constate que le but du gouvernement dans cette enchère n'était pas de faire baisser au maximum le prix d'équilibre. Trois objectifs différents ont dû être pris en compte : réaliser d'importantes réductions d'émissions, encourager le développement d'un marché d'échange liquide avec un nombre suffisant d'entreprises et utiliser au mieux le budget disponible. Un prix d'équilibre trop bas aurait généré moins de réductions d'émissions (les firmes ne se seraient pas engagées à respecter des objectifs aussi exigeants) et seul un nombre beaucoup plus faible d'entreprises auraient participé au marché. Ces conclusions ont été confirmées par les résultats du questionnaire des participants directs.

Enfin, dans l'analyse qui précède, on prend pour hypothèse qu'en l'absence de plan d'échange, les participants auraient eu un niveau d'activité stable au cours de la période 2002-2006. Si ce n'était pas le cas, c'est-à-dire si ces émissions avaient augmenté/diminué, la quantité de réductions d'émission réalisées aurait été sur/sous-évaluée, ce qui modifie le calcul du prix réel payé par le gouvernement par tonne de réduction.

4.5. Déroulement pratique de l'enchère

Les enchères du gouvernement britannique ont eu lieu sur Internet. Les participants ont pris part à l'enchère à partir de leur lieu de travail, en utilisant leurs propres ordinateurs pour accéder au logiciel d'enchère. Ce nouveau système a été préféré à l'usage de fax, une pratique plus courante mais peu fiable. Les participants ont jugé de manière positive ce logiciel d'enchère, décrit comme simple à comprendre et à employer.

Lors de l'enchère, la majorité des firmes semblent ne pas avoir employé une stratégie d'offre sophistiquée - par exemple, en élaborant des projets particuliers permettant une quantité spécifique de réductions d'émissions, estimant de cette manière le coût moyen de chaque tonne de réduction d'émission, donc le prix auquel elles abandonneraient l'enchère. En conséquence, ces firmes n'ont pas ajusté leur offre en fonction du prix. D'autre part, quatre firmes ont utilisé des programmes d'offre relativement sophistiqués, et ont adopté une stratégie de réduction progressive de la quantité de réductions offerte en fonction du niveau du prix d'enchère. Quatre autres entreprises ont effectué un seul ajustement dans leur offre. Ces constatations relatives aux stratégies d'offre suggèrent qu'un grand nombre de participants directs n'avaient pas encore réalisé une analyse complète de leurs coûts de réduction, et ne disposaient pas d'une estimation de leur courbe marginale du coût de réduction.

4.6. Résultat de l'enchère

Trente-huit firmes ont pris part à l'enchère, avec un prix de départ de £100/tCO₂e. À ce prix, les participants ont exprimé une offre agrégée se montant à 4,9 millions tCO₂e. Une telle offre de dépollution aurait demandé un incitatif financier de £490 millions. Le budget a été fixé à £215 millions. L'enchère a pris fin quand le montant égal à la quantité offerte totale multipliée par le prix est devenu égal au budget, au cours du neuvième round d'offre, au prix d'équilibre de £53,37/tCO₂e. A ce prix, les participants se sont engagés à réaliser une réduction de 4 millions de tonnes de CO₂e (ce qui équivaut à 1,1 million de tonnes de carbone). Cette diminution représente plus de 5% de la diminution totale prévue entre 1990 et 2010.

Avant que l'enchère de l'UK ETS n'ait lieu, le gouvernement britannique avait prévu que celle-ci contribuerait à réduire les émissions à raison de 0,8 million de tonnes de carbone. L'enchère a donc surpassé les attentes initiales du gouvernement, car la quantité de dépollution offerte par les participants en échange des incitatifs financiers a dépassé toutes les prévisions. Il s'est avéré que le gouvernement ne disposait que d'estimations très floues du coût de dépollution des firmes. Ce seul élément fait ressortir toute l'utilité d'un tel système d'enchère.

Seulement quatre firmes parmi les trente-huit participantes se sont retirées de l'enchère. La plupart d'entre elles ont attribué cette sortie à une trop forte baisse du prix d'équilibre, qui est devenu inférieur au coût auquel elles auraient été capables de faire toutes les réductions d'émissions. En revanche, certains des 16 participants directs interrogés après l'enchère ont indiqué qu'ils auraient abandonné à environ

£50, tandis que d'autres étaient prêts à descendre jusqu'à des prix inférieurs. Certaines réductions d'émissions auraient donc pu être effectuées à un prix d'équilibre inférieur.

Etant donné que les firmes sont devenues plus expérimentées en ce qui concerne le contrôle de leurs émissions et le coût de réduction des émissions, leur comportement sur le marché d'échange révélera une information assez précise sur les coûts de réduction.

5 Approche théorique des enchères de l'« UK emissions trading scheme »

Dans la première partie de cet article, nous avons vu que le gouvernement britannique a choisi un mécanisme d'enchère pour distribuer ses incitatifs financiers dans le cadre de l'*UK emissions trading scheme*. Nous allons maintenant décrire en quoi un tel mécanisme est optimal, d'un point de vue théorique.

Dans le cadre de l'*UK emissions trading scheme*, le gouvernement britannique désire distribuer aux firmes émettrices de gaz à effets de serre un budget B, en contrepartie d'un maximum de réductions d'émissions. Or, il ignore le coût de dépollution de ces firmes. En effet, le coût de dépollution est une information privée : chaque firme connaît son propre coût, mais celui-ci est ignoré des autres firmes et du gouvernement. Afin d'inciter les firmes à dévoiler leur coût réel, le gouvernement a mis en place une enchère, au cours de laquelle les firmes devront soumettre des offres de dépollution qui seront confrontées entre elles de manière à maximiser la réduction d'émissions. Grâce à l'enchère, la concurrence entre firmes permettra au gouvernement de mieux connaître le vrai coût des firmes. En effet, celles-ci ne pourront pas annoncer un coût supérieur à leur coût réel, car si elles annoncent un coût trop élevé par rapport à celui des autres firmes, elles n'obtiendront pas d'incitatif financier. A l'inverse, elles ne prétendront jamais avoir un coût inférieur au coût réel, faute de quoi elles subiraient une perte, car les incitatifs reçus seraient insuffisants pour couvrir le coût de la réduction de pollution à laquelle elles s'engagent. Lors de l'enchère, chaque firme est donc contrainte de divulguer ses coûts réels de dépollution.

5.1. Présentation du modèle d'enchères de Maskin

Dans un de ses travaux, « *Notes on auctions for pollution reduction* »¹⁵, le Professeur Eric Maskin modélise une enchère et établit qu'il existe un mécanisme optimal, c'est-à-dire un mécanisme d'allocation des incitatifs financiers qui maximise la quantité de dépollution en fonction d'un budget. Dans « *Notes on auctions for pollution reduction* », Maskin décrit un modèle dont l'objectif est de déterminer la règle d'allocation du budget compatible avec les incitatifs et individuellement rationnelle qui va provoquer la plus grande réduction attendue de la pollution, sachant que le gouvernement dispose d'un budget donné afin d'inciter les firmes à diminuer volontairement la pollution. Pour ce faire, il utilise trois variables :

15) MASKIN, E. (2004) [18].

- le coût, c_a et c_b sont les coûts respectifs de la firme A et de la firme B pour une unité de diminution de la pollution (jusqu'à un maximum de réduction possible) ;
- la quantité de réduction d'émissions obtenues, q_a et q_b symbolisent la quantité de dépollution respectivement effectuée par la firme A et la firme B ;
- les incitatifs monétaires reçus : t_a et t_b sont les paiements respectivement reçus par ces deux firmes, en échange de q_a et q_b .

On suppose que c_a et c_b sont compris dans l'intervalle $[0,1]$ et qu'il s'agit d'une information privée des firmes A et B . Si la firme A dépollue d'une quantité q_a et qu'elle reçoit en contrepartie un paiement monétaire égal à t_a , son profit total est égal à $t_a - c_a q_a$, et réciproquement pour la firme B .

Afin d'apporter une solution à ce problème, Maskin pose trois hypothèses :

- (1) On se trouve dans une situation d'« ex post IR ». Le terme « IR » (Individual Rationality - rationalité individuelle) signifie que si une firme fait une offre sincèrement (sans mentir), son profit est non négatif, c'est-à-dire que $t_a - c_a q_a \geq 0$ et $t_b - c_b q_b \geq 0$ pour toutes les réalisations possibles de t_a , t_b , q_a et q_b .
- (2) Il existe un maximum possible de réduction de la pollution, qui est un nombre fini. Nous supposons que chaque firme peut dépolluer d'une unité au maximum, c'est-à-dire que $q \leq 1$.
- (3) Le gouvernement dispose d'un budget limité égal à B . Cela signifie que la somme des incitatifs accordés aux firmes doit être inférieure à B , c'est-à-dire que $t_a + t_b \leq B$.

Notons que si $B \geq 2$, on n'aurait pas besoin d'une vente aux enchères : l'auctioneer pourrait simplement offrir de payer à chaque firme un taux de 1 par unité de dépollution. Etant donné que tous les coûts de l'ensemble de probabilité sont inférieurs à 1, chaque firme va vouloir réduire jusqu'à sa capacité, et de cette manière l'auctioneer va respecter son budget même avec la diminution de pollution maximale. On suppose donc que $B < 1$, de manière à ce que le budget soit beaucoup plus faible que ce qui serait nécessaire pour que les deux firmes obtiennent une quantité importante si elles ont des coûts élevés.

Le raisonnement utilisé par Maskin est très complexe. Il est cependant possible d'en exposer une version simplifiée, dans laquelle on suppose que seules deux firmes participent à l'enchère (la firme A et la firme B), qu'il n'existe que trois coûts de dépollution possibles, et que chacun de ces coûts est équiprobable. Cela revient à dire que $c_a = i$, avec $i \in \{0, \frac{1}{2}, 1\}$ et que $c_b = j$ avec $j \in \{0, \frac{1}{2}, 1\}$.¹⁶

L'objectif est de maximiser l'espérance de la dépollution, c'est-à-dire la somme des quantités de réduction de pollution de la firme A et de la firme B , multipliée par leur probabilité.

$$\text{Max} \sum_i \sum_j (q(i,j) + q(j,i)) \pi(i)\pi(j)$$

16) Thijs, I. (2004) [23].

où $q(i,j)$ et $t(i,j)$ sont, respectivement, la réduction de pollution effectuée et le paiement reçu par la firme A au coût i si le coût de l'autre firme est j (à cause de la symétrie, les fonctions q et t sont les mêmes pour les deux firmes). Etant donné l'hypothèse d'équiprobabilité des coûts, ce problème de maximisation se réduit à maximiser la somme des quantités de dépollution, $\Sigma q(i,j)+q(j,i)$.

Cette maximisation est soumise à plusieurs contraintes. Premièrement, nous avons la contrainte incitative. Le bénéfice reçu par la firme A doit être plus grand si elle dit la vérité sur ses coûts (c'est-à-dire si elle annonce son vrai coût i) que si elle ment et annonce un autre coût k . Il en va de même pour la firme B . L'utilité de cet agent ne sera jamais plus grande s'il ment que s'il dit la vérité. L'agent n'a donc aucun intérêt à mentir. Cette hypothèse découle du fait que si la firme exagère ses coûts, elle n'obtiendra pas – ou peu- d'incitatifs financiers, tandis que si elle annonce des coûts inférieures à la réalité, les incitatifs reçus ne suffiront pas à couvrir les frais de dépollution.

La deuxième contrainte reprend l'hypothèse de l'IR ex post. Si la firme A fait une offre sans mentir, son profit sera toujours positif, c'est-à-dire $t(i,j)-i.q(i,j) \geq 0$, pour tout i et j .

Il existe enfin des contraintes sur la quantité et le budget. La quantité de dépollution de chacune des firmes doit être inférieure ou égale à l'unité, sans toutefois être négative. La somme des paiements effectués ne peut dépasser le budget B .

$$0 \leq q(i,j) \leq 1, \text{ pour tout } i \text{ et } j,$$

$$t(i,j) + t(j,i) \leq B$$

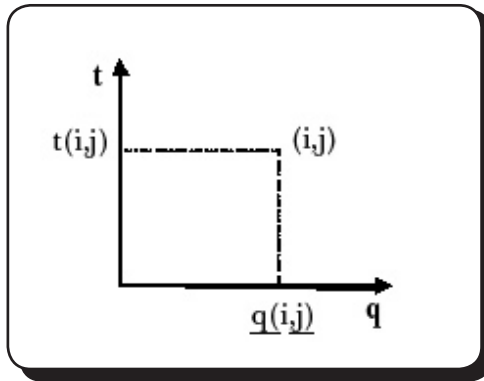
A partir de ces hypothèses, il est possible de trouver un mécanisme optimal de répartition du budget entre les firmes¹⁷. Cependant, ce mécanisme diffère de celui de l'enchère « *descending clock* ». Par exemple, le mécanisme décrit par Maskin suppose que les firmes doivent dévoiler l'entièreté de leur fonction de coût au début de l'enchère, c'est-à-dire indiquer à l'avance, pour chaque prix possible, quelle quantité de dépollution elle seraient prêtes à effectuer. Avec un tel mécanisme, il est possible que les firmes se voient attribuer des quantités de dépollution à des prix différents, ce qui n'est pas le cas pour l'enchère « *descending clock* », où tous les participants reçoivent le même prix d'équilibre. De telles divergences révèlent que cette dernière n'est pas toujours efficace d'un point de vue économique. Dans la section suivante, nous analyserons cette enchère d'un point de vue plus théorique, afin de comprendre les raisons qui ont poussé le gouvernement britannique à la choisir.

5.2. Représentation graphique d'une enchère

Il est possible de représenter graphiquement les résultats d'une enchère. La figure (5.1) représente un espace composé de points (i,j) caractérisés par une abscisse q et une ordonnée t . Nous allons raisonner du point de vue de la firme A : chaque point (i,j) symbolisera donc la situation de la firme A lorsque son coût est de i et que le coût de l'autre firme est j , c'est-à-dire qu'elle devra dépolluer $q(i,j)$ et elle recevra $t(i,j)$.

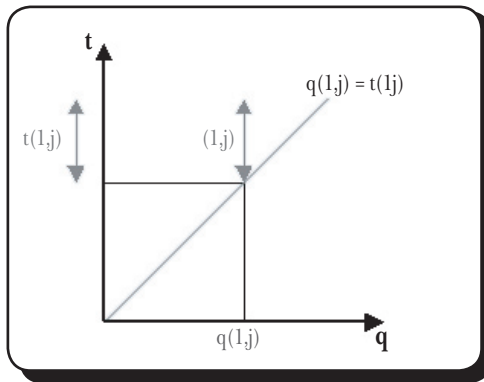
17) Maskin, E. (2004) [18] et Thijs, I. [23].

Figure (5.1)



Traçons dans ce graphe la droite $q(1,j)=t(1,j)$. C'est l'équation d'une droite de pente 1, ayant une ordonnée nulle à l'origine. Elle représente la courbe d'indifférence d'utilité zéro de la firme A lorsque son coût de dépollution i est égal à 1. En effet, si $i=1$, le profit de la firme A, $t(i,j)-i.q(i,j)$, est nul. Celle-ci sera alors indifférente entre tous les points de cette droite. En dessous de la courbe d'indifférence $q(i,j)=t(i,j)$, le profit de la firme A sera négatif ; au-dessus, il sera positif.

Figure (5.2) Positionnement d'un point (1,j) dans le plan



5.3. Le mécanisme d'enchère « descending clock » et son incidence sur le comportement des firmes

Afin d'analyser le processus d'enchère « descending clock », nous emploierons les mêmes variables et notations que celles utilisées à la section 5.1.

Supposons qu'il n'y ait que deux firmes, A et B , qui participent à l'enchère. Comme nous l'avons vu, l'enchère « descending clock » se déroule en plusieurs rounds. Au cours de ces rounds successifs, le commissaire-priseur annonce des prix de plus en plus bas, pour lesquels les participants doivent soumettre leur offre de dépollution, c'est-à-dire la quantité de réduction d'émissions qu'ils sont prêts à effectuer en échange de ce prix. Les firmes doivent obligatoirement soumettre des quantités inférieures ou égales à celles offertes durant les rounds précédents.

L'enchère « descending clock » va engendrer une stratégie d'offre spécifique de la part des firmes. L'offre de dépollution d'une firme dépendra non seulement de son coût de réduction des émissions et du prix proposé par le commissaire-priseur, mais également du coût de l'autre participant. Cette stratégie est due à la concurrence engendrée par un tel mécanisme d'enchère. En effet, les participants ne peuvent pas annoncer un coût trop élevé par rapport à celui des autres firmes, sans quoi ils n'obtiendront pas d'incitatif financier. À l'inverse, ils ne formuleront pas d'offre si le prix proposé est inférieur à leur coût réel de dépollution, sans quoi ils subiraient une perte, car les incitatifs reçus seraient insuffisants pour couvrir les frais engendrés par la réduction de pollution à laquelle ils s'engagent.

Le montant d'incitatifs monétaire reçu par une firme sera également fonction de ces deux coûts. Le paiement $t(i,j)$ reçu par la firme A si elle annonce un coût i et que la firme B annonce un coût j , est égal à la quantité de réduction qui lui est attribuée, $q(i,j)$, multipliée par le prix offert par unité de dépollution (p) :

$$t(i,j) = p \cdot q(i,j)$$

Le profit réalisé par la firme A sera égal à $t(i,j) - i \cdot q(i,j) = p \cdot q(i,j) - i \cdot q(i,j) = (p-i) \cdot q(i,j)$, et dépendra donc en grande partie de la différence entre son coût de réduction et le prix.

Il va de soi que la recherche du profit sera le principal déterminant du comportement de la firme : à partir des informations qu'elle possède, la firme formulera ses offres de manière à maximiser son profit $(p-i) \cdot q(i,j)$. Ainsi, tant que son coût de réduction d'émissions sera inférieur au prix proposé par le commissaire-priseur, la firme A va offrir une quantité de dépollution $q=1$, car c'est cette quantité qui rend son profit maximal. Si son coût est supérieur à ce prix, elle se retirera de l'enchère, car toute quantité offerte rendrait son profit négatif. Si son coût est égal au prix d'enchère, le profit de la firme A est nul quelle que soit la quantité offerte. Dans ce cas, nous allons supposer que la firme A offrira une quantité $q=1$. En effet, à profit égal, elle devrait préférer obtenir une plus grande quantité de réduction (qui, rappelons-le, correspondent à des droits d'émissions négociables sur le marché). Dans le cas où la firme B quitte l'enchère avant elle, la firme A deviendra le seul offreur à pouvoir prétendre aux incitatifs financiers. Dans ce cas, elle formulera son offre de manière à maximiser son profit, en proposant la quantité $q(i,j)$ qui permet d'épuiser le budget au prix le plus élevé possible (le prix du round suivant la sortie de B).

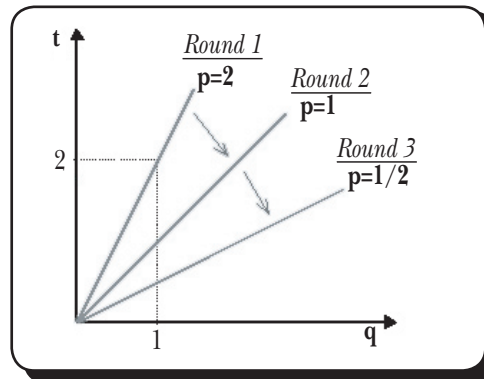
Il s'ensuit que chaque quantité offerte peut se traduire en terme de « coût annoncé » par le participant, puisqu'il est possible de déduire le coût des firmes à partir de leur offre. Si une firme offre une quantité $q=1$, elle annonce par là que son coût est inférieur ou égal au prix proposé. Si elle se retire de l'enchère, elle révèle que son coût est supérieur à ce prix (et probablement égal au prix du round précédent, pour lequel son offre était positive). De ce fait, puisque chaque firme connaît la quantité offerte par son concurrent lors du round précédent, elle peut déduire le « coût annoncé » de celui-ci, qui représente la limite supérieure de ce coût réel.

- *Par exemple* : Si, au cours du round 1, la firme B a offert une quantité $q=1$ pour un prix $p=1$, la firme A pourra déduire que le coût de B est inférieur ou égal à 1, mais ne connaît pas ce coût avec exactitude.

5.4. Représentation graphique du processus d'enchère « descending clock »

Afin de représenter le processus d'enchère, nous utiliserons des droites passant par l'origine, et dont les pentes sont égales aux prix proposés par le commissaire-priseur. Comme nous le montre l'exemple présenté à la figure (5.3), nous commencerons notre raisonnement avec un prix élevé (ici, $p=2$), pour lequel la somme des quantités offertes, $q(i,j)+q(j,i)$, est trop importante pour le budget B . Nous diminuerons ensuite progressivement ce prix, comme c'est le cas lors des rounds successifs de l'enchère, jusqu'à ce que la contrainte budgétaire soit respectée, c'est-à-dire $t(i,j)+t(j,i) \leq B$.

Figure (5.3) : Représentation des rounds d'une enchère « descending clock »



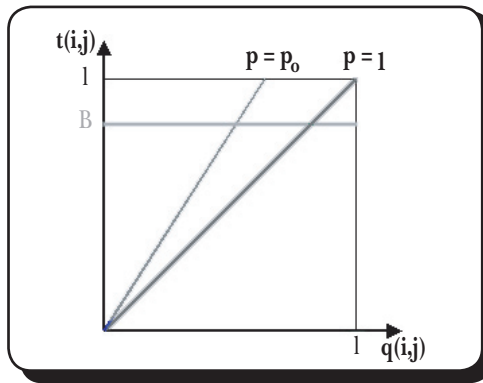
A chaque round, les firmes devront formuler une offre de quantité de réduction pour le prix p annoncé. L'offre d'une firme sera représentée par un point situé sur la droite de prix correspondante. Par exemple, lorsque le commissaire-priseur propose un prix égal à 2, si la firme propose une quantité $q=1$, cette offre correspondra au point d'abscisse $q=1$ et d'ordonnée $t = p \cdot q = 2$, c'est-à-dire le point $(1,2)$, situé sur la droite $p=2$.

5.5. Comportement des firmes lors de l'enchère

Afin de comprendre le comportement des firmes, nous allons partir du point de vue de la firme *A* et utiliser un raisonnement graphique, dans lequel chaque point (i,j) symbolise la situation de la firme *A* lorsque son coût de dépollution est égal à i et que le coût de l'autre firme est j , c'est-à-dire qu'elle devra dépolluer $q(i,j)$ et elle recevra $t(i,j)=p \cdot q(i,j)$. Supposons que le budget B soit légèrement inférieur à 1. Nous allons examiner le résultat auquel le mécanisme d'enchères permet d'aboutir et, par la suite, nous déterminerons dans quelle mesure il est similaire à l'optimum.

Afin de représenter le premier round de l'enchère, nous allons tracer dans le graphique (5.4) une droite dont la pente est égale au prix P_0 , auquel débute l'enchère. Nous devons choisir P_0 de manière à ce que l'offre de dépollution pour ce prix de départ soit excédentaire par rapport au budget. Il suffit pour cela que P_0 soit supérieur à l'unité. En effet, le coût maximal de réduction d'émissions est égal à 1.

Figure (5.4)



Etant donné que le profit réalisé par la firme *A* est égal à $t(i,j) - i \cdot q(i,j) = (p - i) \cdot q(i,j)$, si le prix de l'enchère est supérieur à son coût de dépollution ($i \leq 1 < P_0$), le profit de *A* sera positif. Afin de maximiser son utilité, la firme *A* va offrir la quantité maximale de réduction, $q(i,j)=1$. Il en va de même pour la firme *B*. En conséquence, au prix $p = P_0$, les firmes offriront une quantité agrégée $q(i,j)+q(j,i)=2$, ce qui induirait un paiement total de $t(i,j)+t(j,i) = P_0[q(i,j)+q(j,i)] = 2 > B$.

A partir de ce graphique, nous pouvons développer une analyse graphique du processus d'enchère. Pour ce faire, nous allons considérer chaque combinaison (i,j) de coût possible et déterminer le comportement adopté par les firmes lorsqu'elles se retrouvent dans une telle situation. Pour chaque situation, nous partirons de la droite $P=P_0$, puis nous diminuerons progressivement le niveau de cette droite de prix, comme lors des multiples rounds de l'enchère. La figure (5.5) illustre ces différents rounds d'offre. Comme nous l'avons fait préalablement, nous prendrons le point de vue de la firme *A*, mais il est évident que le même raisonnement peut être tenu pour la firme *B*.

a) Le coût de la firme A est égal à 1

• $i = j = 1$

Si les deux firmes ont un coût de dépollution égal à 1, elles accepteront de dépolluer tant que le prix offert est supérieur ou égal à leur coût, et formuleront donc des offres représentées par des points situés au-dessus ou sur la droite $q(1,j)=t(1,j)$, et pour lesquelles leur profit est positif ou nul. Tant que le prix proposé par le commissaire-priseur est supérieur à 1, les deux firmes offriront la quantité $q(1,1)=1$. Cela impliquerait un paiement total à $2t(1,1)=2 > B$. L'enchère va donc se poursuivre, à un prix plus bas. Lorsque $p=1$, la courbe d'indifférence de chaque firme se confond avec la droite des prix. Les firmes vont donc faire des offres le long de cette courbe d'indifférence, où leur profit est nul (nous supposons qu'elles offrent $q=1$). Lorsque $p < 1$, l'offre des deux firmes est nulle. Le prix d'équilibre sera donc $p^*=1$. La quantité totale offerte par chaque firme à ce prix d'équilibre est trop importante pour le budget. Celui-ci sera réparti équitablement entre les deux firmes. La firme *A* recevra donc un paiement égal à $B/2$, et devra dépolluer une quantité $B/2$. Cette situation d'équilibre est représenté au graphique (5.5) par le point (1,1).

• $i = 1$ et $j = 1/2$ ou 0

Tant que $p > 1$, les firmes offriront toutes deux $q=1$, ce qui impliquerait un paiement total supérieur au budget. Quand $p=1$, le profit de la firme *A* s'annule. A ce prix, elle fera des offres le long de sa courbe d'indifférence, $q(1,j)=t(1,j)$. Supposons qu'elle offre $q=1$. La firme *B*, qui a un coût de dépollution nul, offrira une quantité $q=1$. La quantité offerte totale est excédentaire, et l'enchère va continuer à un prix plus bas. La firme *A* va donc se retirer de l'enchère. Son offre sera donc nulle : $q(i,j)=0$, et elle ne recevra aucun incitatif monétaire. Ce cas de figure est représenté par les points (1,0) et (1,1/2).

b) Le coût de la firme A est égal à 1/2

• $i = 1/2$ et $j = 1$

Tant que $p \geq 1$, les deux firmes offrent une quantité $q=1$, et le budget est dépassé ($t \geq 2$). Dès que le prix devient inférieur à l'unité, la firme *B* quitte l'enchère et la firme *A* devient le seul offreur. Tant que son coût est inférieur au prix, *A* va offrir une quantité $q=1$, qui maximise son profit. L'enchère va continuer jusqu'à ce que le budget soit respecté. Au prix $p=B$, le budget est tout juste épuisé. Il s'agit donc du prix d'équilibre : pour $p^*=B$, la firme *A* va offrir une quantité $q(i,j)=1$ et recevra un montant $t(i,j)=B$, comme l'illustre le point (1/2,1).

• $i = j = 1/2$

Lorsque $p > 1/2$, les deux firmes participantes vont offrir une quantité $q=1$: le total de ces offres dépasse le budget, et l'enchère se poursuit. Quand $p = 1/2$, le coût de dépollution des firmes est égal au prix offert. A ce prix, elles offrent $q=1$. Si p était inférieur à $1/2$, leur offre serait nulle. Le prix d'équilibre sera donc $p^*=1/2$. Puisque la quantité totale offerte est trop importante pour le budget, ce dernier sera réparti entre les deux firmes. Chacune d'elles recevra un paiement égal à $B/2$, et devra dépolluer une quantité B (point (1/2,1/2)).

- $i = \frac{1}{2}$ et $j = 0$

Tant que $p > \frac{1}{2}$, la firme A offrira une quantité $q=1$. Lorsque $p = \frac{1}{2}$, son profit sera nul et elle va offrir $q=1$. Puisque le coût de la firme B est nul, celle-ci offrira également $q=1$, et l'offre de dépollution sera excédentaire. L'enchère va donc se poursuivre à un prix inférieur à $\frac{1}{2}$, et la firme A sera contrainte de quitter celle-ci. Elle offrira donc $q(i,j)=0$ et recevra $t(i,j)=0$, comme le montre le point $(\frac{1}{2}, 0)$.

c) Le coût de la firme A est égal à $\frac{1}{2}$

- $i = 0$ et $j = 1$

Lorsque $p \geq 1$, les deux firmes offrent une quantité $q=1$, ce qui impliquerait des paiements supérieurs au budget ($t \geq 2$). Lorsque le commissaire-priseur annonce un prix inférieur à 1, la firme B va se retirer de l'enchère, car son profit deviendrait négatif si elle offrait de dépolluer. La firme A , qui a un coût nul, va offrir de dépolluer pour une quantité $q=1$ quel que soit le prix proposé, afin de maximiser son profit. L'enchère va s'arrêter dès que la contrainte budgétaire est respectée, c'est-à-dire lorsque le prix est égal à B . Au prix d'équilibre $p^*=B$, la firme A offre une quantité $q=1$ et reçoit en contrepartie un paiement $t(i,j)$ égal à B (point $(0, 1)$).

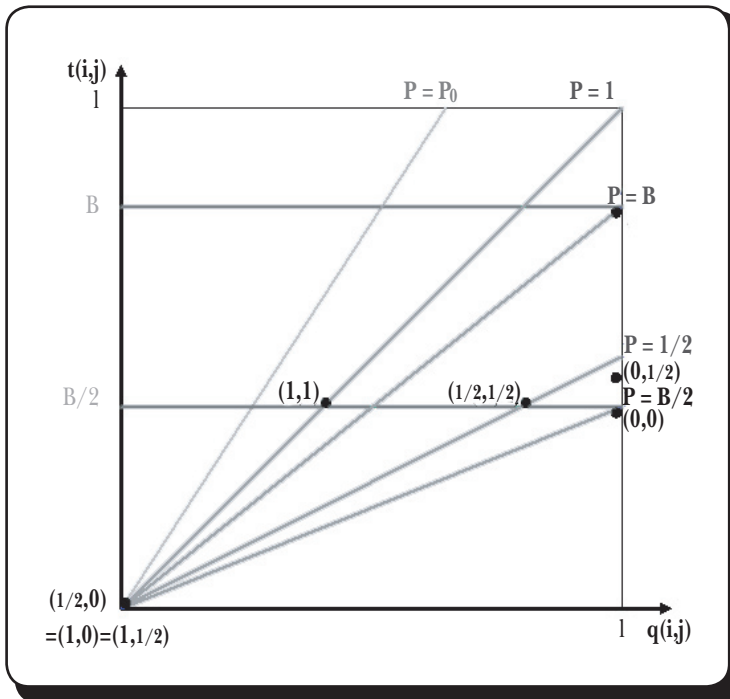
- $i = 0$ et $j = \frac{1}{2}$

Tant que $p > \frac{1}{2}$, l'offre de dépollution sera excédentaire, car les deux firmes offriront une quantité $q=1$. Lorsque $p = \frac{1}{2}$, le profit de la firme B devient nul. Celle-ci ignore le coût de A (elle sait seulement que celui-ci est inférieur ou égal à $\frac{1}{2}$), et va formuler une offre $q=1$. Le budget est dépassé et l'enchère doit continuer. Dès que le prix devient inférieur à $\frac{1}{2}$, la firme B va quitter l'enchère, et la firme A deviendra la seule participante à continuer de formuler des offres. Puisque son coût est nul, elle offrira $q=1$ quel que soit le prix proposé. L'enchère s'arrêtera au round suivant, avec un prix d'équilibre $p=\frac{1}{2}-\epsilon$ (point $(0, \frac{1}{2})$).

- $i = j = 0$

Si les deux firmes ont un coût de réduction nul, chacune d'entre elles offrira de dépolluer pour une quantité $q=1$, quel que soit le prix proposé. L'enchère prendra fin dès que l'offre des firmes respectera le budget : au prix d'équilibre $p^*=B/2$, avec $q(i,j)=q(j,i)=1$ (point $(0, 0)$).

Figure (5.5) : Allocation du budget obtenue avec l'enchère



Les quantités et paiements obtenus dans chacune de ces situations constituent une nouvelle règle d'allocation du budget. Cette distribution des incitatifs monétaires est celle que notre processus d'enchère permet d'obtenir en réalité. Le graphique (5.5) représente cette nouvelle répartition du budget. Chaque point est représenté sur sa droite de prix respective.

6 Divergences entre le modèle théorique optimal de Maskin et le modèle « descending clock »

Lorsque l'on confronte l'optimum théorique de Maskin au mécanisme d'enchère « descending clock », il s'avère qu'il existe dans certaines situations des différences entre les deux mécanismes : l'enchère « descending clock » ne permet pas dans tous les cas d'aboutir à une allocation optimale des incitatifs financiers. Ces divergences révèlent que, bien que le système d'enchère « descending clock » se rapproche de l'optimum, celui-ci n'est pas toujours parfaitement efficace d'un point de vue économique. Il existe plusieurs éléments qui expliquent ces divergences.

6.1. Différences entre représentation modélisée et réalité

Le modèle d'enchère « descending clock » présenté précédemment est une représentation considérablement simplifiée de la réalité, qui permet de comprendre le fonctionnement de l'enchère, mais qui est parfois réductrice. De plus, certains éléments ne sont pas pris en compte.

Dans notre modèle, nous supposons qu'il existe seulement deux firmes émettrices de gaz à effets de serre, qui participent aux enchères. En réalité, l'enchère de l'*UK emissions trading scheme* a attiré un nombre bien plus important de participants : 38 firmes ont pris part à l'enchère, et 34 ont terminé l'enchère avec succès. Or, le nombre de firmes a une importance considérable, il influe directement sur le niveau de concurrence auquel celles-ci doivent faire face. Au cours de l'enchère, il est impossible qu'une firme se trouve, comme dans le modèle d'enchère, être le seul participant restant. Une telle situation est liée aux hypothèses de notre modèle, qui envisage le cas d'une enchère à deux participants. En pratique, il est impossible qu'un seul participant remporte tous les incitatifs monétaires. Tout participant sera donc, jusqu'à la fin de l'enchère, confronté à la concurrence des autres firmes.

L'hypothèse selon laquelle il n'existe que deux firmes participant à l'enchère ne modifie toutefois en rien les conclusions que nous pouvons tirer du modèle. En effet, dans la pratique comme en théorie, une firme peut gagner, c'est-à-dire obtenir un prix supérieur à son coût marginal de dépollution.

Dans notre modèle, nous supposons également que le coût de réduction d'émissions d'une firme est fixe quelle que soit la quantité de dépollution à effectuer. Cela implique que la quantité offerte sera soit maximale, soit nulle, souvent sans situation intermédiaire. Dans la réalité, le coût de la firme varie avec la quantité de dépollution : il est généralement admis que plus la quantité de réduction à réaliser est importante, plus le coût marginal de dépollution de la firme est élevé (et donc plus le coût est bas lorsque la quantité de dépollution est faible). En conséquence, à mesure que le prix d'enchère diminue, les firmes offriront des quantités de plus en plus faibles. L'offre se réduira de manière progressive. Cela tend à adoucir les conséquences d'une inefficience telle que celle illustrée à la figure (5.5) par le point $(\frac{1}{2}, 0)$, où la firme *A* quitte l'enchère brusquement, à partir du moment où le prix devient inférieur à $\frac{1}{2}$. Dans la réalité, les firmes diminueront progressivement la quantité offerte et, de cette manière, elles contribueront à l'objectif de dépollution maximale, et obtiendront une petite part du budget. Le fait de supposer que le coût marginal est constant plutôt que croissant n'influence cependant pas fondamentalement les résultats de notre modèle.

Signalons également que notre modèle ne prend en compte que le critère d'efficacité économique et environnementale. Rappelons qu'en pratique, il existe d'autres critères d'évaluation, comme la simplicité, l'équité ou la liquidité du marché d'échange, qui ont également une importance non négligeable.

6.2. Différences entre la solution optimale et la solution apportée par l'enchère « descending clock » utilisée

Dans certains cas, l'enchère « *descending clock* » ne permet pas d'obtenir un résultat optimum, puisque certains agents auraient pu accepter de dépolluer une même quantité à un prix inférieur, mais n'y sont pas obligés, car l'enchère se termine bien avant ce prix.

Reprenons la figure (5.5), qui illustre l'allocation du budget obtenue avec l'enchère « *descending clock* ». Nous pouvons constater que l'enchère n'apporte pas une solution efficiente. Par exemple, il existe certaines situations où il ne reste qu'un seul offreur dans l'enchère, qui peut alors choisir son prix et sa quantité d'équilibre de manière à maximiser son profit. C'est le cas aux points $(0, \frac{1}{2})$, $(\frac{1}{2}, 1)$ et $(0, 1)$. La firme obtient alors un prix bien plus élevé que son coût de dépollution.

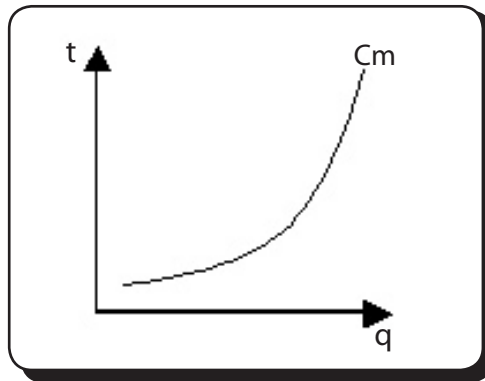
De plus, ce mécanisme ne permet pas d'octroyer aux participants des quantités de réduction à des prix différents. Prenons par exemple le point $(\frac{1}{2}, 0)$. Avec l'enchère « *descending clock* », la firme *A* est contrainte de quitter l'enchère. La firme *B* obtient une quantité $q(j, i) = 1$, au prix d'équilibre $B/2$. Pourtant, il serait possible que la firme *A*, dont le coût est égal à $\frac{1}{2}$, se voie également attribuer une quantité de dépollution avec la part restante du budget : c'est-à-dire $q(i, j) = B$, en échange de $t(i, j) = B/2$, au prix $p = \frac{1}{2}$. La quantité totale de dépollution est égale à $B + 1$. Dans certains cas, on remarque donc que l'on obtiendrait une quantité de réduction d'émissions plus importante si, comme dans la solution optimale de Maskin, les participants pouvaient recevoir des prix différents en échange de leur dépollution.

6.3. Justification de l'utilisation de l'enchère « descending clock »

Il est évident que l'enchère « *descending clock* » comporte certaines faiblesses au niveau de l'efficacité économique. Néanmoins, c'est ce mécanisme qui a été choisi, au détriment de la solution optimale. Ce choix est essentiellement lié au désir du gouvernement britannique de respecter d'autres critères, comme nous l'avons décrit au cours de la première partie de ce travail. Ce système d'enchère a notamment été retenu en raison de la simplicité de son mécanisme pour les participants.

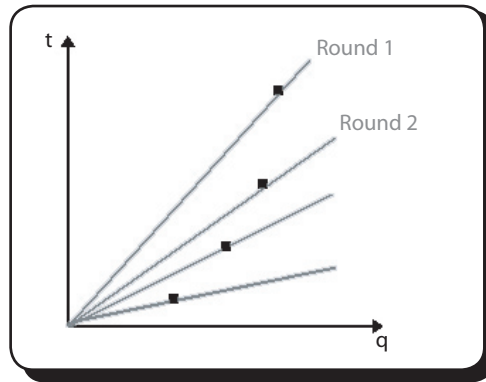
Le système d'enchère optimal de Maskin suppose que chaque participant doit, au début de l'enchère, annoncer ses coûts, c'est-à-dire révéler sa courbe de coût marginal. En pratique, cela impliquerait, pour la firme, de calculer entièrement sa courbe de coûts, préalablement à l'enchère. Pour chaque quantité de réduction possible, la firme devra déterminer le coût de celle-ci. Une telle prévision serait très laborieuse à réaliser, en raison du grand nombre de calculs à effectuer. De plus, la firme serait soumise à un risque d'erreur élevé. En effet, si elle sous-estime sa courbe de coûts, elle sera contrainte d'effectuer des réductions d'émissions dont le coût ne sera pas totalement couvert par les incitatifs financiers reçus, et subira une perte.

Figure (6.1) Courbe de coût marginal



L'enchère « *descending clock* » est moins exigeante en prévisions que la solution optimale de Maskin. Avec ce mécanisme, les firmes ne doivent pas estimer l'entièreté de leur courbe de coût, mais uniquement certains points de celle-ci, comme le montre la figure (6.2). En effet, les participants connaissent le prix de départ de l'enchère. Lors du premier round, ils devront simplement évaluer la quantité de dépollution qu'il leur est possible de réaliser au prix de départ de l'enchère. Pour chaque round suivant, elles devront réaliser une seule prévision. Ces calculs pourront être effectués sur une plus grande période de temps (l'enchère se déroulant en plusieurs jours), et pourront être revus à tout moment. Ce système limite également les risques d'erreur de prévision, car il permet aux participants de comparer leur coût à celui des autres. Par exemple, si, au cours de l'enchère, une firme s'aperçoit que son coût est fortement inférieur à celui des autres participants, et que cette différence pourrait être due à une erreur de calcul de sa part, elle aura la possibilité de rectifier le tir au round suivant. De plus, puisque la firme a la possibilité d'effectuer ses prévisions à mesure que l'enchère progresse, celle-ci ne devra réaliser aucun calcul pour tous les prix situés en dessous du prix d'équilibre, ce qui devrait en limiter fortement le nombre.

Figure (6.2)



Il est incontestable que le système d'enchère « *descending clock* » est beaucoup plus simple pour les firmes, puisque celui-ci nécessite moins d'efforts de leur part pour déterminer leur coût et qu'il réduit le risque d'erreur de prévision.

En raison de sa simplicité, l'enchère « *descending clock* » est également plus équitable. En effet, il est probable que les frais engendrés par l'évaluation complète de la courbe des coûts auraient été trop importants pour les petites firmes. De plus, celles-ci auraient pu être effrayées par le risque d'erreur d'estimation, qui engendrerait une perte considérable. En général, les firmes de taille réduite ne disposent pas d'un budget suffisant pour essayer de telles dépenses. L'enchère « *descending clock* » assure donc une certaine équité, en évitant aux firmes ces charges que seules des firmes importantes pourraient se permettre.

En conséquence, grâce à sa simplicité et à son équité, l'enchère « *descending clock* » devrait attirer un plus grand nombre de firmes, et assurer une certaine liquidité du marché d'échange.

L'enchère « *descending clock* » s'est donc avérée être la plus adaptée dans le cadre de l'*UK emissions trading scheme*, même si elle comporte certaines faiblesses du point de vue de l'efficacité économique et environnementale. En effet, non seulement ce système permet d'inciter les firmes à avouer leur coût de dépollution, permettant ainsi d'arriver à une répartition relativement proche de l'optimum, mais il est également plus simple, donc plus équitable pour les firmes, et devrait donc permettre d'attirer un plus grand nombre de participants et de cette manière assurer une certaine liquidité sur le marché d'échange des droits d'émission.

BIBLIOGRAPHIE

✧ OUVRAGES, ARTICLES ET BROCHURES

1. Boemare, C., Quirion, P. and Sorrell, S. (2003), *The evolution of emissions trading in the EU: tensions between national trading schemes and the proposed EU directive*, Climate Policy, Volume 3, Supplement 2, December 2003, Pages S105-S124.
2. Bourn, John (2004), *The UK Emissions Trading Scheme -A New Way to Combat Climate Change*, Report by the Comptroller and Auditor General, National Audit Office, London.
3. Clarkson, R. and Deyes, K. (2000), *Estimating the social cost of carbon*, Government Economic Service Working Paper 140, Environment Protection Economics Division, Department of Environment, Food and Rural Affairs, London.
4. Dasgupta, P. et Maskin, E. (2000), *Efficient Auctions*, The Quarterly Journal of Economics, Vol. CXV Issue 2 - May 2000.
5. DEFRA (2001 a), *A summary guide to the UK Emissions Trading Scheme*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
6. DEFRA (2001 b), *Incentives Bidding Mechanism: Options for a mechanism to allocate incentives funding and set emission reduction targets in the UK Emissions Trading Scheme*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
7. DEFRA (2001 c), *The UK Emissions Trading Scheme: Regulatory and Environmental Impact Assessment*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
8. DEFRA (2002 a), *The UK Emissions Trading Scheme : Auction Analysis and Progress Report*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
9. DEFRA (2002 b), *UK Emissions Trading Scheme Auction Guidance*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
10. DEFRA (2003), *Guidelines for the Measurement and Reporting of Emissions by Direct Participants in the UK Emissions Trading Scheme*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
11. DETR (2000), *A Greenhouse Gas Emissions Trading Scheme for the United Kingdom - Consultation Document*, Department of the Environment, Transport and the Regions, London.
12. DETR (2001), *Draft Framework Document for the UK Emissions Trading Scheme*, Department of the Environment, Transport and the Regions, London.

13. EYRE, N et al. (1999): ,*Global Warming Damages*, Final Report of the Externe Global Warming Sub-Task (Sept.98), DGXII, European Commission, Brussels.
14. HASSELKNIPPE, Henrik (2003), *Systems for carbon trading: an overview*, *Climate Policy*, Volume 3, Supplement 2, December 2003, Pages S43-S57.
15. KLEMPERER, Paul (2000), *What really matters in auction design*, Centre for economic policy research, Discussion paper series 2581, Centre for economic policy research London.
16. KLEMPERER, Paul (2004), *Auctions: theory and practice*, The Toulouse lectures in economics, Princeton university press Princeton (N.J.).
17. KOUSNETZOFF, Nina (2000), *De Kyoto à La Haye : le choix d'instruments économiques pour limiter les émissions de gaz à effet de serre*, *Dossiers Stratégiques*, p. 80-95.
18. MAVRAKIS, Dimitrios - KONIDARI, Popi (2003), *Classification of emissions trading scheme design characteristics*, *European Environment*, Volume 13, Issue 1, Page 48-66.
19. MASKIN, Eric (2004), *Notes on auctions for pollution reduction*, Unpublished.
20. NERA ECONOMIC CONSULTING (2004), *Review of the first and second years of the UK emissions trading scheme*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
21. THE NATIONAL AUDIT OFFICE (2004), "*The UK Emissions Trading Scheme - A New Way to Combat Climate Change*", UK National Audit Office, London.
22. SHIPWORTH, David (2003), *Hitting emissions targets with (statistical) confidence in multi-instrument Emissions Trading Schemes*, *Climate Policy*, Volume 3, Supplement 2, December 2003, Pages S75-S87.
23. UNITED NATIONS (2002), *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn (Germany).
24. THIJS, Isabelle (2004), *La vente aux enchères des engagements de diminuer la pollution en Grande-Bretagne*, Mémoire de Maîtrise en Sciences de Gestion, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur.
25. VARMA, Adarsh (2003), *UK's climate change levy: cost effectiveness, competitiveness and environmental impacts*, *Energy Policy*, Volume 31, Issue 1, January 2003, Pages 51-61.

❖ **SITES INTERNET**

29. DEFRA (2000), *Climate Change: Action to tackle Global Warming*, Department for Environment, Food and Rural Affairs (<http://www.defra.gov.uk>), London :
<http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/index.htm>
30. DEFRA (2001), *Climate Change, The UK Programme*, Department for Environment, Food & Rural Affairs (<http://www.defra.gov.uk>), London :
<http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/cm4913/index.htm>
31. DEFRA (2001), *UK Emissions Trading Scheme*, Department for Environment, Food & Rural Affairs (<http://www.defra.gov.uk>), London :
<http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/trading/uk/index.htm>
32. European Commission (2004), *European Climate Change Programme (ECCP)*, European Commissions (<http://europa.eu.int>), Brussels :
<http://europa.eu.int/comm/environment/climat/eccp.htm>

Certaines publications référencées dans cette bibliographie se trouvent également sur les sites officiels des institutions qui les ont publiées. Voici une liste de ces sites officiels consultés lors de la rédaction de ce mémoire :

- Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) :
<http://www.defra.gov.uk>

De nombreux rapports sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/trading/uk/reports.htm>

- Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR) :
<http://www.detr.gov.uk>

- National Audit Office : <http://www.nao.org.uk>

- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) :
<http://unfccc.int>

Kyoto protocol (version française) : <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf>
(version anglaise) : <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>