

# Les externalités sociales permettent-elles de résoudre la controverse théorique des « petites coalitions stables » dans les accords environnementaux ?

---

Marie-Laure Cabon-Dhersin\*  
Shyama V. Ramani\*\*

*Cette note traite d'une controverse théorique concernant la formation d'accords internationaux en environnement entre pays en présence de problèmes de pollution transfrontalière. La littérature issue de la théorie des jeux non coopératifs met en avant la thèse des « petites coalitions stables » : seul un petit nombre de pays acceptent de signer un accord environnemental. Une coalition englobant tous les pays ou un grand nombre de pays, et conduisant à des bénéfices globaux conséquents, n'est pas soutenable. En effet, plus la coalition comprend de pays, plus cela accroît l'incitation à dévier de certains signataires. L'introduction d'externalités sociales nous permet de comprendre pourquoi, dans certains cas, les accords peuvent être soutenus par presque tous les pays, alors que dans d'autres cas, ils ne sont signés que par un petit nombre de pays.*

## CAN SOCIAL EXTERNALITIES SOLVE THE SMALL COALITIONS PUZZLE IN INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL AGREEMENTS ?

*A puzzle in the literature on the formation of coalitions supporting International Environmental Agreements (IEA) is that if an IEA leads to substantial gains, then it will not be supported by many countries. The non-cooperative game theoretic literature highlights the « small coalitions » puzzle by which only a small number of countries are willing to sign an environmental convention. In these models, a global coalition comprising all countries or most of the countries and generating significant global benefits is not sustainable. In effect, greater the number of countries in the coalition, higher the incentive of signatories to not respect their engagements. Introducing social externalities, we explain why in reality, some treaties can be sustained by nearly all the countries in the world, and others can be sustained by a handful of countries.*

*Classification JEL* : C72, H41, D74, Q00.

## INTRODUCTION

Cet article suggère la résolution d'une controverse théorique concernant la réalisation d'accords internationaux en environnement (IEA) entre pays

---

\* Groupe de Recherche sur le Risque, l'Information et la Décision (GRID), UMR 8534 CNRS/ENSAM-Paris, Maison de la recherche de l'ESTP, 30 avenue du Président-Wilson, 94230 Cachan, France, et École Normale Supérieure de Cachan. Courriel : cabon@grid.ensam.estp.fr

\*\* INRA-ESR, 65 boulevard de Brandebourg, 94205 Ivry-sur-Seine, France, et CECO, École polytechnique, Paris. Courriel : ramani@ivry.inra.fr

confrontés à des problèmes de pollution transfrontalière. Dès lors que les pays sont confrontés à des effets globaux en environnement, il est admis que le bien-être de chaque pays dépend de sa propre politique environnementale mais également des efforts fournis par les autres pays en vue de réduire le niveau d'émissions polluantes. Les politiques environnementales sans concertation sont alors inefficaces ; d'où l'intérêt d'une politique de coordination.

Très tôt, les contributions théoriques sur le sujet ont caractérisé le jeu environnemental entre pays comme un « dilemme du prisonnier » conduisant inévitablement à ce que l'on a l'habitude d'appeler la « tragédie des communs ». Le fait que la réduction des émissions polluantes constitue un bien public crée des incitations fortes à opter pour un comportement de type « passerager clandestin ».

Dans un même temps, depuis vingt ans, on voit se multiplier les accords internationaux : sur 194 membres des Nations-unies, 184 ont ratifié le protocole de Montréal, 146 le protocole de Kyoto. La littérature théorique, depuis les années 1990, a essayé de comprendre la logique de la formation des accords environnementaux. Ces travaux, issus de la théorie des jeux, se sont développés autour de deux approches dont le point focal est d'assimiler la coopération à la coordination des politiques environnementales. La première approche développe l'idée que la formation d'un accord est assimilable à la fourniture d'un bien public et formalise le comportement des pays dans le cadre d'un jeu coopératif. Il conduit à montrer comment un accord environnemental impliquant tous les pays concernés peut être stable (Chandler et Tulkens [1995]). La deuxième approche permet de formuler la thèse des « petites coalitions stables » (Heal [1992], Carraro et Siniscalco [1993], Barrett [1994], Perreau et Tazdaït [2001]). Elle est fondée sur un concept de stabilité des coalitions dû à d'Aspremont *et al.* [1983]. La coalition est dite *stable* si aucun pays ne cherche à rejoindre la coalition et si aucun pays n'a intérêt à la quitter. Cette thèse suggère que seul un petit nombre de pays acceptent de signer un accord (pas plus de trois pays). Une coalition englobant tous les pays ou un grand nombre de pays conduisant à des bénéfices globaux conséquents, n'est pas soutenable.

La question est donc de savoir comment la coopération observée entre pays peut être expliquée. Plusieurs éléments de réponse peuvent être avancés : *i*) la répétition des interactions entre pays (Barrett [1999]), *ii*) l'introduction de préférences pour l'équité (Lange et Vogt [2003]), *iii*) la présence de coûts non environnementaux (Hoël et Schneider [1997]), *iv*) l'émergence d'« issues liées » (Martinez [2000]). Nous proposons de fournir une autre explication théorique pour justifier l'observation empirique en introduisant une externalité positive de nature non environnementale.

Les pays peuvent être enclins à signer des accords en vue de bénéficier d'avantages de nature non environnementale en échange de leurs concessions en matière d'environnement. Contrairement à la littérature sur les « issues liées », il n'y a pas de mise en place de système de transferts<sup>1</sup>.

À l'opposé de cette littérature, notre article ne considère aucun échange explicite et négocié officiellement entre pays, mais introduit simplement un

---

1. Dans la littérature sur les « issues liées », les négociations environnementales peuvent être reliées à d'autres négociations internationales concernant la défense, la R&D, le commerce ou une dette internationale. De ce fait, deux pays peuvent signer un accord environnemental où l'un des signataires y perd sachant tout de même que leurs relations multilatérales supposent que le perdant peut tirer parti des avantages d'autres accords.

« spillover » unilatéral crédité à tout membre de la coalition. Tous les pays signant un accord environnemental sont alors bénéficiaires d'externalités positives. Par exemple, la préservation de l'environnement peut servir à « tester » des relations politiques devenant ainsi un moyen de démontrer sa bonne volonté d'œuvrer à un rapprochement diplomatique. La coopération est en effet sociale autant qu'économique (Granovetter [1985]). Les traités internationaux permettent d'entrer dans une logique d'échange et de coopération et sont souvent un moyen de gérer les conflits, d'articuler les communautés productives et sociales, de réguler les aléas et les divergences politiques. La ratification du protocole de Kyoto par la Russie a bien été interprétée comme un gage de bonne volonté de la Russie envers l'Europe qui a par la suite cherché à faciliter l'entrée de la Russie dans l'Organisation mondiale du commerce. Cette ratification a également permis de réhabiliter l'image du pouvoir russe à un moment où les réformes, mises en place par le Kremlin en vue d'un renforcement de la centralisation des pouvoirs, ont été vivement critiquées par l'occident.

L'introduction d'externalités sociales nous permet alors de comprendre pourquoi, dans certains cas, les accords peuvent être soutenus par presque tous les pays, alors que dans d'autres cas, ils ne sont signés que par un petit nombre de pays. Nous montrons également qu'un nombre élevé de signataires conduit à un accroissement du bien-être global.

## LE MODÈLE

Dans cette section, nous reprenons un modèle standard relatif aux accords environnementaux présenté par Barrett [1994]. En retenant des fonctions de bénéfices et de coûts très simples (bénéfices marginaux et coûts marginaux constants), nous montrons comment, en introduisant une externalité sociale positive, les résultats habituels se modifient. Nous considérons un monde avec  $i = 1, 2, \dots, N$  pays identiques, chacun émettant un niveau d'émissions polluantes générateur de dommages pour une ressource environnementale partagée par l'ensemble de ces pays. Chaque pays peut choisir son niveau d'abattement noté  $q_i$ . Le gain d'un pays  $i$  associé à la réduction des émissions polluantes,  $B_i(Q)$ , dépend non seulement de son propre effort d'abattement mais aussi des efforts fournis par les autres pays :

$$B_i(Q) = \omega \cdot (q_1 + \dots + q_i + \dots + q_n), \text{ où } Q = \sum_i q_i. \quad (1)$$

Le bénéfice marginal d'abattement, positif et constant, correspond donc à  $\omega$ .

Le coût d'abattement de chaque pays  $C(q_i)$  est fonction croissante de son propre effort de réduction d'émissions polluantes et correspond à :

$$C_i(q_i) = c \cdot q_i^2 / 2. \quad (2)$$

Le paramètre positif  $c$  représente le coût marginal de dépollution ici supposé constant.

Nous supposons que les  $N$  pays jouent un jeu à deux étapes. Dans la première étape, les pays décident de signer ou non l'accord. La coalition se forme et  $k$  pays signent l'accord dans cette première étape du jeu. Ceci est observé et le nombre de signataires est « connaissance commune » à la fin de la première étape. Dans la seconde étape, les signataires de l'accord se comportent de manière coopérative en choisissant un effort individuel d'abattement  $q^c$  maximisant le bien-être agrégé de la coalition. Les non-signataires se comportent de manière non coopérative en maximisant leur bien-être individuel et optent pour un effort d'abattement  $q^{nc}$ . En d'autres mots, le raisonnement des non-signataires repose sur l'habituelle conjecture à la Cournot qui permet de spécifier que tout pays choisit son niveau d'abattement pour un niveau donné des autres pays.

Par souci de simplification, nous considérons que les  $k$  premiers pays signent l'accord environnemental et que les  $k + 1$  suivants jusqu'à  $N$  sont non signataires. Les signataires de l'accord bénéficient d'une externalité sociale qui s'accroît avec la taille de la coalition, avec  $s > 0$ ,  $s$  étant le paramètre d'externalité sociale. Chaque pays  $i$ , signant un accord, obtient un gain  $\pi_i^c$  ou  $\pi^c$ . Tout pays non signataire  $i$  obtient un gain  $\pi_i^{nc}$  ou  $\pi^{nc}$ . Les gains sont définis de la façon suivante :

$$\pi_i^c = \pi^c(k) = B(k \cdot q^c + q_{k+1}^{nc} + q_{k+2}^{nc} + \dots + q_N^{nc}) - C(q^c) + s \cdot k; \quad (3)$$

$$\pi_i^{nc} = \pi^{nc}(k) = B(k \cdot q^c + q_{k+1}^{nc} + q_{k+2}^{nc} + \dots + q_i^{nc} + \dots + q_N^{nc}) - C(q_i^{nc}). \quad (4)$$

En utilisant le principe de « récurrence arrière », nous commençons par la deuxième étape du jeu et maximisons  $\pi^c(k)$  et  $\pi^{nc}(k)$  en fonction de  $q^c$  et  $q_i^{nc}$ . Nous obtenons à l'équilibre les valeurs d'efforts d'abattement suivants :

$$q^c(k) = \frac{k \cdot \omega}{c}, \quad q^{nc}(k) = \frac{\omega}{c}. \quad (5)$$

Puis, l'équilibre de première étape permettant de spécifier le nombre de signataires, est calculé en identifiant la coalition qui satisfait les conditions de stabilités internes et externes.

*Définition.* Un accord environnemental impliquant  $k$  pays est « auto-exécutoire » si et seulement si les conditions de stabilité interne et externe sont vérifiées, *i.e.* :

$$\pi^{nc}(k^* - 1) \leq \pi^c(k^*) \quad \text{et} \quad \pi^{nc}(k^*) \leq \pi^c(k^* + 1) \quad (6)$$

Étant donné cette définition, nous montrons dans la proposition suivante que la taille de la coalition à l'équilibre dépend des valeurs relatives au bénéfice net tiré de l'accord (qui est fonction de  $\omega$  et  $c$ ) et de l'externalité sociale  $s$ .

PROPOSITION 1. Pour  $N \geq 2$ , la coalition stable comporte  $k^*$  pays membres avec

$$k^* = 2 + (\tilde{s}/2 + \sqrt{1 + 2\tilde{s} + \tilde{s}^2/4}) \quad \text{et} \quad \tilde{s} = \frac{2 \cdot c}{\omega^2} \cdot s.$$

*Preuve.* En substituant les valeurs de gains et de coûts donnés par les équations (1)-(5) dans l'équation (6), les conditions de stabilités internes et externes peuvent s'écrire de la façon suivante :

$$F_{int}(k) = k^2 - k\left(4 + s \cdot \frac{2c}{\omega^2}\right) + 3 \leq 0; \text{ (condition de stabilité interne).} \quad (7)$$

$$F_{ext}(k') = k'^2 - k'\left(2 + s \cdot \frac{2c}{\omega^2}\right) - s \cdot \frac{2c}{\omega^2} \geq 0; \text{ (condition de stabilité externe).} \quad (8)$$

Soit  $\tilde{s} = \frac{2c}{\omega^2} \cdot s$ . Les entiers  $k$  vérifiant l'inégalité (7) sont compris dans l'intervalle  $[\underline{k}; \bar{k}]$  avec :

$$\underline{k} = \tilde{s}/2 + 2 - \sqrt{1 + 2\tilde{s} + \tilde{s}^2/4} \quad \text{et} \quad \bar{k} = \tilde{s}/2 + 2 + \sqrt{1 + 2\tilde{s} + \tilde{s}^2/4}.$$

Les entiers  $k'$  vérifiant l'inégalité (8) sont compris dans l'intervalle  $]-\infty; k'] \cup [k'; +\infty[$  avec

$$\underline{k}' = \tilde{s}/2 + 1 - \sqrt{1 + 2\tilde{s} + \tilde{s}^2/4} = \underline{k} - 1$$

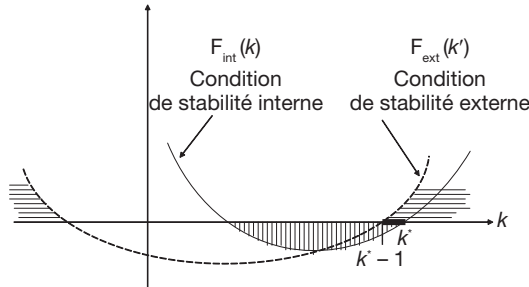
$$\text{et} \quad \bar{k}' = \tilde{s}/2 + 1 + \sqrt{1 + 2\tilde{s} + \tilde{s}^2/4} = \bar{k} - 1$$

Par conséquent, pour tout  $k \in [k^* - 1; k^*]$  avec

$$k^* = \bar{k} = \tilde{s}/2 + 2 + \sqrt{1 + 2\tilde{s} + \tilde{s}^2/4},$$

on vérifie les deux inégalités. Ceci est illustré dans la figure 1.

Figure 1. Valeurs de  $k$  satisfaisant les critères de stabilité de la coalition



À l'équilibre, les bénéfices globaux sont fonction croissante du nombre de signataires. En supposant à l'équilibre  $k^*$  membres de la coalition, le bénéfice net global est donné par  $\Pi(k^*) = \Pi^c(k^*) + \Pi^{nc}(k^*) = k^* \cdot \pi^c(k^*) + (N - k^*) \cdot \pi^{nc}(k^*)$ . Ceci peut être réécrit de la manière suivante :

$$\Pi(k^*) = \frac{\omega^2}{2c} [k^* \cdot (k^* - 1) \cdot (2N - k^* - 1) + N \cdot (2N - 1) + \tilde{s} \cdot (k^*)^2].$$

Alors :

$$\frac{\partial \Pi(k^*)}{\partial k} > 0 \quad \text{et} \quad \frac{\partial^2 \Pi(k^*)}{\partial k^2} > 0.$$

L'abattement global avec accord s'écrit :

$$Q(k^*) = k^{*2} \frac{\omega}{c} + (N - k^*) \frac{\omega}{c}, \text{ avec } \frac{\partial Q(k^*)}{\partial k} > 0 \text{ et } \frac{\partial^2 Q(k^*)}{\partial k^2} > 0.$$

Les propriétés précédentes précisent clairement les avantages de la grande coalition ; plus le nombre de signataires est élevé, plus les bénéfices globaux sont grands. De fait, le nombre de signataires,  $k^*$ , dépend positivement de  $\tilde{s}$  (voir proposition).

On peut donc voir que la différence entre les bénéfices globaux, lorsque tous les pays signent, et les bénéfices globaux, lorsqu'il n'y a aucune coopération, est bien une fonction croissante de  $\tilde{s}$  :

$$\frac{\Pi^c(N) - \Pi^{nc}(0)}{\Pi^{nc}(0)} = \frac{(N-1)^2 + N \cdot \tilde{s}}{(2N-1)},$$

où 
$$\Pi^{nc}(0) = \sum_{i=1}^N \pi_i^{nc}(0) = \frac{\omega^2}{2c} N(2N-1),$$

et 
$$\Pi^c(N) = \sum_{i=1}^N \pi_i^c(N) = \frac{\omega^2}{2c} N^3 + N^2 \cdot s.$$

Par conséquent, l'incitation à rejoindre un accord, la taille de la coalition à l'équilibre et les bénéfices globaux sont tous fonction croissante de  $\tilde{s} = \frac{2 \cdot c}{\omega^2} \cdot s$ .

## UNE ILLUSTRATION

Nous présentons dans cette section une simulation mettant en avant que la coalition peut être soutenue à l'équilibre du jeu soit par l'ensemble des pays concernés (avec  $N = 100$ ) soit par un petit nombre de pays. Le tableau 1 donne les valeurs de  $\tilde{s}$  et de  $k^*$  en fonction des paramètres de bénéfices environnementaux associés à l'accord ( $c, \omega$ ), et de la valeur du paramètre « externalité sociale »  $s$ .

Le tableau 1 révèle que l'accord environnemental peut être supporté par un petit ou un grand nombre de signataires. Plus  $\tilde{s} = \frac{2c}{\omega^2} s$  est élevé, plus il est facile de soutenir des accords internationaux de grande taille. De manière évidente,  $\tilde{s}$  est d'autant plus élevé que l'externalité sociale est importante. Bien entendu, lorsque l'externalité est nulle, on retrouve le résultat standard avec  $k^* = 3$ . Il est également intéressant de voir que le nombre de signataires est fonction croissante du rapport  $\frac{c}{\omega}$ . Or, les bénéfices globaux associés aux efforts de dépollution ainsi que le niveau global d'abattement sont également fonction croissante de ce même rapport. Par conséquent, davantage de signataires implique davantage d'efforts de dépollution mais également plus de bénéfices globaux. De ce fait, pour un faible niveau d'externalité, il existe des valeurs de  $c$  et  $\omega$  qui permettent d'assurer la grande coalition. Si l'on retient  $s = 0,5$ ,  $c = 0,01$  et  $\omega = 0,01$ ,

Tableau 1. Nombre de signataires  $k^*$  et valeurs de  $\tilde{s}$  (pour  $N = 100$ ).

| $c/\omega^2$ | 0                            | .1                             | .5                               | 1                                | 5                                 | 10                                | 100                                |
|--------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| .05          | $\tilde{s} = 0$<br>$k^* = 3$ | $\tilde{s} = .01$<br>$k^* = 3$ | $\tilde{s} = .02$<br>$k^* = 3$   | $\tilde{s} = .1$<br>$k^* = 3$    | $\tilde{s} = .5$<br>$k^* = 3$     | $s = 1$<br>$k^* = 4$              | $\tilde{s} = 10$<br>$k^* = 13$     |
| .25          | $\tilde{s} = 0$<br>$k^* = 3$ | $\tilde{s} = .05$<br>$k^* = 3$ | $\tilde{s} = .25$<br>$k^* = 3$   | $\tilde{s} = .5$<br>$k^* = 4$    | $\tilde{s} = 2.5$<br>$k^* = 5$    | $\tilde{s} = 5$<br>$k^* = 8$      | $\tilde{s} = 50$<br>$k^* = 53$     |
| .5           | $\tilde{s} = 0$<br>$k^* = 3$ | $\tilde{s} = .1$<br>$k^* = 3$  | $s = .5$<br>$k^* = 3$            | $s = 1$<br>$k^* = 5$             | $\tilde{s} = 5$<br>$k^* = 8$      | $\tilde{s} = 10$<br>$k^* = 13$    | $\tilde{s} = 100$<br>$k^* = 100$   |
| 5            | $\tilde{s} = 0$<br>$k^* = 3$ | $\tilde{s} = 1$<br>$k^* = 4$   | $s = 5$<br>$k^* = 8$             | $\tilde{s} = 10$<br>$k^* = 23$   | $\tilde{s} = 50$<br>$k^* = 53$    | $\tilde{s} = 100$<br>$k^* = 100$  | $\tilde{s} = 1000$<br>$k^* = 100$  |
| 25           | $\tilde{s} = 0$<br>$k^* = 3$ | $\tilde{s} = 5$<br>$k^* = 8$   | $\tilde{s} = 25$<br>$k^* = 28$   | $\tilde{s} = 50$<br>$k^* = 100$  | $\tilde{s} = 250$<br>$k^* = 100$  | $\tilde{s} = 500$<br>$k^* = 100$  | $\tilde{s} = 5000$<br>$k^* = 100$  |
| 50           | $\tilde{s} = 0$<br>$k^* = 3$ | $\tilde{s} = 10$<br>$k^* = 13$ | $\tilde{s} = 50$<br>$k^* = 53$   | $\tilde{s} = 100$<br>$k^* = 100$ | $\tilde{s} = 500$<br>$k^* = 100$  | $\tilde{s} = 1000$<br>$k^* = 100$ | $\tilde{s} = 10000$<br>$k^* = 100$ |
| 100          | $\tilde{s} = 0$<br>$k^* = 3$ | $\tilde{s} = 20$<br>$k^* = 23$ | $\tilde{s} = 100$<br>$k^* = 100$ | $\tilde{s} = 200$<br>$k^* = 100$ | $\tilde{s} = 1000$<br>$k^* = 100$ | $\tilde{s} = 2000$<br>$k^* = 100$ | $\tilde{s} = 20000$<br>$k^* = 100$ |

alors le nombre de signataires est maximal et égal à 100. Cette « grande » coalition permet d'accroître les niveaux d'abattement tout en assurant un bénéfice maximum aux signataires. Ceci contredit les résultats de Barrett [1994] qui obtient, sous certaines conditions, la « grande » coalition bien que générant des gains de coopération très faibles voire nuls.

## CONCLUSION

La présence d'une externalité sociale accroît le nombre de signataires de l'accord ; ce qui conduit à améliorer le niveau global d'abattement de la pollution par rapport au niveau de non-coopération ainsi que les bénéfices nets des pays. Un nombre élevé de signataires conduit donc à améliorer le bien-être global. Bien que la modélisation proposée ne permette pas d'appréhender correctement les processus de négociations internationales et, bien que l'on suppose que tous les pays soient homogènes en matière de bénéfices et de coûts d'abattement des émissions polluantes, notre modèle fournit une possible résolution à la controverse des « petites coalitions stables ».

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- D'ASPROMONT C.A., JACQUEMIN A., GABSZEWICZ J.-J. et WEYMARK J. [1983], « On the stability of collusive price leadership », *Canadian Journal of Economics*, 16, p. 17-25.  
 BARRETT S. [1994], « Self-enforcing International Environmental Agreements », *Oxford Economic Papers*, 46, p. 878-894.

- BARRETT S. [1999], « A Theory of full international cooperation », *Journal of Theoretical Politics*, 11, p. 519-541.
- CARRARO C. et SINISCALCO D. [1993], « Strategies for the International Protection of the environment », *Journal of Public Economics*, 52, p. 309-328.
- CHANDLER P. et TULKENS H. [1995], « A Core-Theoretic Solution for the Design of Cooperative Agreements on Transfrontier Pollution », *International Tax and Public Finance*, 2, p. 279-293.
- GRANOVETTER M. [1985], « Economic Action and Social Structure : The Problem of Embeddedness », *American Journal of Sociology*, 91, p. 481-510.
- HEAL G. [1992], « International Negotiations on Emission Control », *Structural Change and Economic Dynamics*, 3, p. 223-240.
- HOEL M. et SCHNEIDER K. [1997], « Incentives to Participate in an International Environmental Agreement », *Environmental and Resource Economics*, 9, p. 153-170.
- LANGE A. et VOGT C. [2003], « Cooperation in international environmental negotiations due to a preference for equity », *Journal of Public Economics*, 87, p. 2049-2067.
- MARTINEZ [2000], *L'analyse économique des négociations internationales sur le changement climatique à partir de la théorie des jeux à structure de coalitions*, thèse de doctorat, Université de Montpellier I.
- PEREAU J-C. et TAZDAIT T. [2001], « Cooperation and Unilateral Commitment in the presence of Global Environmental Problems », *Environmental and Resource Economics*, 20, p. 225-239.