

## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES DE GESTION À FINALITÉ SPÉCIALISÉE

Quels facteurs d'hétérogénéité influencent la décision d'investir dans les vaccins ?

DENIS, Loïc

*Award date:*  
2022

*Awarding institution:*  
Universite de Namur

[Link to publication](#)

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



# Quels facteurs d'hétérogénéité influencent la décision d'investir dans les vaccins ?

Loïc DENIS

Directeur: Prof. C. Keidaisch

Mémoire présenté  
en vue de l'obtention du titre de  
Master 120 en sciences de gestion

**ANNEE ACADEMIQUE 2021-2022**

### Abstract

Ce document a pour but d'étudier la décision des industriels pharmaceutiques d'investir dans la recherche et le développement de vaccins. Il s'inscrit dans le contexte de crise sanitaire de la COVID-19. À travers le regard de différents auteurs, il propose un modèle économique relatif aux incitations à développer ou non un vaccin. Nous observons l'influence de l'hétérogénéité du risque de tomber malade ainsi que celle du préjudice de la maladie, et de l'influence des coûts de production d'un vaccin ou d'une intervention financière gouvernementale sur la décision d'investir. De ce fait, ce modèle tente aussi de déterminer quelles situations profitent ou non au développement d'un vaccin pour une firme en situation de monopole.

### Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier, mon directeur de mémoire Dr. Christian Kiedaisch, pour sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui m'ont guidé dans mon travail et m'ont aidé à trouver des solutions pour avancer.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'Unamur et les intervenants professionnels responsables de ma formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :

Ma charmante femme Alice Fohal pour sa patience et son soutien moral. En supportant les charges familiales, elle m'a offert l'opportunité de me concentrer sur mon mémoire.

Madame Caroline Duchêne et Monsieur Olivier Collin qui m'ont accordé du temps et partagé leurs connaissances et expériences dans ce milieu.

Monsieur Luc Fohal et Madame Christiane Vandenberg, pour avoir relu et corrigé mon mémoire. Leurs conseils de rédaction ont été très précieux.

Tous mes proches, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Table des matières

Abstract ..... 1

Mise en contexte ..... 5

    La crise sanitaire ..... 5

    La crise économique ..... 6

    Le passé et le présent des vaccins contre la COVID-19 ..... 6

    Avant la COVID-19 ..... 7

        Le présent : vaccin basé sur l'ARNm ..... 7

La décision d'investir ..... 9

    Comment les entreprises vont décider d'investir ..... 9

    Les incitations à faire de la recherche et du développement ..... 9

Hypothèses ..... 11

    Hypothèses émises par Kremer et Snyder (Preventives Versus Treatments, 2015) ..... 11

        Hypothèse 1 ..... 11

        Hypothèse 2 ..... 11

        Hypothèse 3 ..... 11

    Hypothèses émises par Nuscheler et al. (Monopoly Pricing with Negative Network Effects: the Case of Vaccines, 2003) ..... 11

        Hypothèse 4 ..... 11

        Hypothèse 5 ..... 11

    Hypothèse personnelle ..... 11

        Hypothèse 6 ..... 11

Analyse des hypothèses à travers la littérature scientifique ..... 12

    Preventives Versus Treatments (Kremer & Snyder, 2015) ..... 12

        Modèle de référence (Benchmark Model) ..... 12

        Analyse du modèle de référence ..... 13

        Perte sèche DWL et SDWL ..... 13

        La STRZ Distribution ..... 15

        Achats par un tiers ..... 16

        Autres sources d'hétérogénéité ..... 16

        Conclusion ..... 17

    Monopoly pricing with negative network effects : the case of vaccines (Nuscheler, Sebastian, Kessing, & Robert, 2003) ..... 18

        Modélisation ..... 18

        Fixation des prix par le monopoleur ..... 18

        Discrimination parfaite des prix ..... 19

Politique publique : subvention sous forme de prix. ....	20
Politique publique : Vaccination obligatoire .....	21
Conclusions.....	21
Modélisation.....	22
Modèle général .....	22
Analyse du modèle .....	23
Définitions .....	23
Comportement du monopoleur .....	24
Le monopoleur pratique un prix faible pour le vendre auprès de toute la population $N$ . ....	24
Le monopoleur charge un prix élevé et vend son bien à la population $\alpha N$ . ....	24
Quel est le lien entre $X$ , $x_j$ et $x_s$ et quelle stratégie est la plus profitable pour la firme monopoliste ? .....	24
Comparaison de l'incitation à développer un traitement ou un vaccin.....	25
Un vaccin et un traitement coûtent respectivement $c$ à produire .....	26
Hétérogénéité de $X$ dans la vente d'un vaccin ou d'un traitement .....	27
Hétérogénéité de $H$ .....	27
Si un monopoleur vend un vaccin à toute la population, il devra s'ajuster aux personnes à faible préjudice.....	28
Si un monopoleur vend au segment pour qui les préjudices sont les plus élevés.....	28
La comparaison du vaccin et du traitement lorsqu'il y a de l'hétérogénéité dans $H$ et $X$ .....	29
La subvention favorise le développement d'un vaccin mais est socialement inefficace.....	30
On accorde une subvention $Sv$ du montant le plus faible.....	30
L'achat de doses par le gouvernement .....	31
Extensions et discussion du modèle.....	32
Le comportement des individus : les effets des vaccins .....	32
Nouveau variant de la maladie.....	32
Discrimination par les prix.....	32
Quel est l'impact des firmes dans un marché global ?.....	33
Calibration aux données liées au coronavirus en Belgique.....	34
Synthèse, conclusions et perspectives .....	35
Bibliographie.....	37
Lexique .....	39

### Mise en contexte

La maladie COVID-19 a pris naissance en Chine pour rapidement s'étendre à travers le monde. Elle a entraîné une pandémie mondiale ayant entre autres pour conséquences une crise sanitaire et économique. Malgré les mesures gouvernementales, comme des confinements, des quarantaines, des restrictions diverses, etc. le nombre de malades a crû au point de saturer la plupart des hôpitaux. De plus, ces décisions ont entraîné des conséquences sur l'offre et la demande de biens intermédiaires des pays à travers le monde.

La COVID-19 est définie par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS ou WHO en anglais) comme « la maladie causée par un nouveau coronavirus, le SARS-CoV-2. », elle était responsable de 6,4 millions de morts à travers le monde en date du 04/08/22<sup>1</sup>.

La mise sur le marché des vaccins contre la COVID-19 a été accélérée dans le but d'endiguer la propagation du virus. D'après le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) du 29 juin 2021<sup>2</sup>, sur les 289 vaccins contre la COVID-19 en phase de développement, dont 105 en développement clinique (sur l'humain), seuls six d'entre eux ont fait l'objet de commandes par l'Europe. Aujourd'hui, c'est plus de 12,4 milliards de doses distribuées à travers le monde<sup>3</sup>.

C'est dans ce contexte que nous nous sommes interrogés sur les enjeux économiques liés à l'impact de l'hétérogénéité du risque de contracter la COVID-19 et du préjudice de cette infection sur l'incitation à développer un vaccin du point de vue d'une firme monopolistique<sup>4</sup>. Il était donc important de rappeler le contexte sanitaire et économique de la COVID-19.

### La crise sanitaire

Comme souvent rapporté par les médias, les hôpitaux étaient en première ligne de cette crise. Pourtant, leur capacité à faire face à la COVID-19 aurait pu être différente s'ils n'avaient pas fait l'objet de réformes successives (Conti, Baudet-Michel, & Le, 2021). Des études ont d'ailleurs montré que pour désengorger les centres hospitaliers, les échanges de patients entre les nations comme l'arbitrage dans l'admission des malades avaient joué un rôle important (Roupie, 2001).

De plus, le monde globalisé dans lequel nous vivons implique l'existence d'un risque d'infection lié, notamment, aux relations internationales (Nuscheler, Sebastian, Kessing, & Robert, 2003). La COVID-19 en est une preuve puisque sur les 577 millions de personnes infectées, seulement 5,68 millions étaient localisées en Chine, initialement foyer mondial de l'épidémie<sup>5</sup>.

En quelques mois seulement, plusieurs vaccins ont été mis sur le marché dont AstraZenica, EU-CureVac et EU-Moderna. Malheureusement leur production ne suffisait pas pour couvrir l'entièreté

---

<sup>1</sup> <https://fr.statista.com/statistiques/1101324/morts-coronavirus-monde/>, consulté le 10/08/2022

<sup>2</sup> <https://www.who.int/publications/m/item/draft-landscape-of-covid-19-candidate-vaccines>

<sup>3</sup> Statista 2022, source : <https://www.statista.com/statistics/1194934/number-of-covid-vaccine-doses-administered-by-county-worldwide/>

<sup>4</sup> Le terme « monopolistique » est défini par le dictionnaire comme : « *Adj.* Qui instaure ou qui exerce un monopole ». La définition la plus commune du monopole est celle du producteur unique vendant un bien unique à de nombreux acheteurs.

<sup>5</sup> Maxime Gautier, 04/08/2022, <https://fr.statista.com/statistiques/1101324/morts-coronavirus-monde/>, consulté le 10/08/2022

de la demande mondiale. Alors que 10 milliards de doses étaient attendues en 2021, la COVAX<sup>6</sup> n'en délivrait que 49 millions<sup>7</sup>.

### La crise économique

Les mesures prises par les gouvernements, les entreprises et les consommateurs ont entraîné un ralentissement dans les économies nationales alors que ces dernières se remettaient seulement des cicatrices laissées par la crise des *subprimes* en 2008<sup>8</sup>.

Pourtant, les mesures prises avaient initialement pour but d'endiguer la propagation de la maladie, de désengorger les hôpitaux et relancer l'économie mais les confinements, les quarantaines, les fermetures d'écoles/d'entreprises et les restrictions diverses ont eu des conséquences sur la demande et l'offre de biens intermédiaires des pays à travers le monde.

Les perturbations au sein des secteurs économiques ont entraîné une forte récession économique mondiale. La COVID-19 représente le choc le plus néfaste pour l'économie mondiale, en temps de paix, depuis un siècle (World Bank, 2020). La COVID-19 n'a donc pas uniquement impacté notre santé mais également notre économie.

On dénote également une rupture de l'approvisionnement liée à la fermeture des secteurs non essentiels mais également une augmentation des coûts des biens intermédiaires pour beaucoup d'entreprises dont les revenus ne bénéficiaient d'aucune augmentation.

Dans l'espoir de relancer l'économie et de stabiliser un système en surchauffe, il était capital pour nos institutions et gouvernements de trouver une solution. C'est dans ce contexte qu'une course aux vaccins anti-Covid a commencé.

### Le passé et le présent des vaccins contre la COVID-19

De manière générale, un manque de financement est constaté dans le milieu risqué de la recherche et du développement pharmaceutique. Par rapport aux traitements ou aux médicaments, le développement des vaccins est caractérisé par un sous-investissement encore plus marqué (Kremer, Snyder, & Drozdoff, 2016).

Dans cette section, nous allons discuter du passé et du présent de la recherche et du développement (R&D) des vaccins pour les maladies infectieuses émergentes (EID's) et particulièrement de l'acide ribonucléique messager (ARNm - mRNA en anglais) dans le cadre de la COVID-19.

Nous nous pencherons rapidement sur l'intérêt financier des portefeuilles de projets pour les industries pharmaceutiques (Barberio, et al., 2022). Et nous finirons par le rôle des institutions dans le développement de telles technologies.

---

<sup>6</sup> COVAX est le pilier vaccinal du Dispositif pour accélérer l'accès aux outils de lutte contre la COVID-19, ou l'Accélérateur ACT, une collaboration mondiale novatrice visant à accélérer la production et l'égalité d'accès aux produits de diagnostic, aux traitements et aux vaccins contre la COVID-19, y inclus pour les pays les plus pauvres. Source : <https://unric.org/fr/covax-quest-ce-que-cest/>, consulté le 05/05/2022

<sup>7</sup> « Faut-il lever les brevets sur les vaccins ? », C à vous, 06/05/2021, [https://www.youtube.com/watch?v=sp0ucUz93SQ&list=PLFnaNgwZOFDQqiNkm0FWMZYHQIQ\\_gUp6j&index=1](https://www.youtube.com/watch?v=sp0ucUz93SQ&list=PLFnaNgwZOFDQqiNkm0FWMZYHQIQ_gUp6j&index=1), consulté le 05/06/2022

<sup>8</sup> Déclenchée aux États-Unis en 2007-2008, la crise des subprimes trouve son origine dans un excès d'endettement des particuliers. Du fait de l'interdépendance économique et financière entre les pays, elle s'est rapidement propagée au monde entier. Source : <https://www.lafinancepourtous.com/juniors/lyceens/les-crisis/la-crise-des-subprimes-2007-2008/>, consulté le 05/05/2022



Cette section nous permettra de mieux comprendre les enjeux dans la décision d'investir dans la recherche et le développement d'un vaccin.

« Les extraordinaires pertes sociales, humaines et économiques causées par la pandémie COVID-19, ont élargi l'impératif global de se préparer contre la prochaine pandémie » (traduit de l'anglais, (Barberio, et al., 2022, p. 1).

Pour lutter contre une future pandémie, la stratégie actuelle des institutions mondiales est de développer un stock de vaccins avant qu'une nouvelle pandémie ne se produise (Jarrett, et al., 2021). C'est pourquoi il existe une liste des potentielles pandémies liées à des maladies infectieuses émergentes. Par exemple, la CEPI (Coalition for Epidemic Preparedness Innovations) dispose d'un portefeuille de 32 vaccins ayant pour cible la COVID-19 et six autres visant des EID's. Ce portefeuille est, en plus, diversifié à travers 13 mécanismes thérapeutiques différents et ont des maturités de développement précliniques différentes (Jarrett, et al., 2021).

La commercialisation d'un vaccin est, pour une entreprise privée, un processus long, risqué et onéreux. Ce processus, entre la conceptualisation préclinique et l'approbation réglementaire, est considéré comme la « vallée de la mort » de la médecine translationnelle (Butler, 2008).

Aujourd'hui, le retour sur investissement d'un portfolio de vaccins est de -6% par an et a une valeur négative nette de -9.5 milliards. De plus, les essais précliniques d'un portfolio de vaccins représentent 94% des coûts pour l'élaborer, contre 6% pour la fabrication de ces mêmes vaccins (Barberio, et al., 2022).

C'est pourquoi, on peut observer un glissement de la R&D vers des domaines plus lucratifs ou dont les retombées économiques sont moins incertaines.

#### Avant la COVID-19

Avant la Covid-19, la R&D des vaccins visant des EID's diminuait. Les industries pharmaceutiques, jugeant le développement de ces produits trop peu lucratif, délaissaient, par exemple, la mise au point des vaccins contre les virus hautement létaux comme l'Ebola (Kelland, 2019). La raison de cet exode s'explique par plusieurs facteurs, premièrement les hauts coûts de R&D, ensuite la faible chance de réussite (PoS – Probability of Success) de la conceptualisation à la mise sur le marché, des prix de vente trop faibles ou encore une demande et des revenus incertains et pour finir, le manque de financement public, rendant la recherche non viable (en l'absence de pandémie) (Barberio, et al., 2022).

Par conséquent, les industries pharmaceutiques préfèrent se tourner vers des maladies saisonnières plus prévisibles et dont le marché est moins incertain (Douglas, 2018).

#### *Le présent : vaccin basé sur l'ARNm*

Le vaccin contre la COVID-19 est « à base d'acides nucléiques » et « fournit un ensemble spécifique d'instructions à nos cellules, que ce soit sous forme d'ADN ou d'ARNm<sup>9</sup>, pour que celles-ci fabriquent la protéine spécifique que nous souhaitons que notre système immunitaire puisse reconnaître et combattre » (OMS, 2021).

---

<sup>9</sup> L'ADN et l'ARN sont les instructions que nos cellules utilisent pour fabriquer des protéines. Dans nos cellules, l'ADN est d'abord transformé en ARN messager, qui est ensuite utilisé comme modèle pour fabriquer des protéines spécifiques (OMS, 2021).

C'est une révolution scientifique qui permet des résultats plus robustes, avec moins d'effets secondaires et une vitesse sans précédent dans le développement clinique de vaccins (Barberio, et al., 2022). Elle réduit non seulement les coûts mais aussi la durée de la R&D.

L'ARNm semble être un candidat idéal pour la mise sur le marché de vaccins. Pour illustrer ce propos, prenons l'exemple de la compagnie Moderna qui a élaboré en 2 jours le design du vaccin, réalisé les premiers tests sur les êtres humains au bout du 63<sup>e</sup> jour et obtenu, après 11 mois seulement, l'approbation EUA<sup>10</sup> délivrée par la FDA<sup>11</sup>. Moderna n'est pas le seul vaccin à jouir de telles prouesses, en effet d'autres vaccins ont été mis sur le marché très rapidement (FDA, 2021). Certains vaccins ont bénéficié d'une autorisation d'utilisation d'urgence pour être utilisés en dehors du cadre des essais cliniques (OMS, 2021).

« Malgré les formidables percées en biomédecine au cours des dernières décennies, le développement de nouveaux médicaments est devenu plus lent, plus coûteux et moins susceptible de réussir, ce qui entraîne un déficit de financement important pour les programmes de développement de médicaments à un stade précoce. » (Barberio, et al., 2022, p. 5)

---

<sup>10</sup> EUA signifie Emergency Use Authorization

<sup>11</sup> U.S. Food and Drug Administration

### La décision d'investir

Dans cette section, nous allons discuter de la décision d'investir dans la recherche et le développement. Pour qu'une firme décide d'investir dans la recherche d'un vaccin plutôt que d'un autre produit, il faut qu'elle puisse vérifier si cela lui sera profitable ou non. Dans le cas où les coûts (quels qu'ils soient) seraient supérieurs à la valeur future anticipée, alors la firme préférera ne pas se lancer dans la recherche (Scotchmer, Innovation and incentives, 2004). L'inverse est vrai aussi.

#### Comment les entreprises vont décider d'investir

Elles répartissent librement leurs dépenses de manière à optimiser leurs investissements. Soit parce qu'elles ont un avantage dans un domaine ou un marché, soit parce que le profit potentiel est supérieur aux dépenses prévues. Inversement, elles n'investiront pas si le profit actualisé potentiel est insuffisant face aux coûts prévus de la recherche et développement ou encore si la probabilité de réussite n'est pas suffisante (Varian, 2016).

Nous en avons discuté plus haut, les investissements dans la recherche de vaccins ont progressivement diminué au fil des années (Scotchmer, Innovation and incentives, 2004). En effet, les différentes phases pour approuver un vaccin ralentissent la mise au point de ce dernier et augmentent les coûts directement imputables au projet. Autrement dit, plus la recherche est longue, plus elle coûte et plus elle risque d'échouer (Barberio, et al., 2022).

Malheureusement dans le cas d'un vaccin, il n'y a aucune garantie de trouver un marché suffisamment large et lucratif que pour couvrir les coûts de son développement. Ces coûts sont largement supérieurs aux profits, même en disposant du monopole sur 20 ans (Barberio, et al., 2022)<sup>12</sup>. Toutefois, une stratégie de portefeuille de projets permettrait d'absorber ces pertes mais l'importance de ce portefeuille dépendra de l'aversion au risque de la firme.

#### Les incitations à faire de la recherche et du développement

Il existe différents leviers pour inciter les secteurs privé et public à se lancer dans la recherche. De nombreux économistes ont cherché des mécanismes pour promouvoir la R&D parmi lesquels nous pouvons dégager quatre grands incitants : la propriété intellectuelle (PI), les *prizes*, l'approvisionnement (*procurement* en anglais) (Scotchmer & Gallini, 2002) et la subvention ou les interventions gouvernementales qui réduisent le risque financier. Nous allons les définir et décrire leurs avantages et inconvénients respectifs.

Premièrement, la propriété intellectuelle regroupe les brevets, les droits d'auteurs, etc.. Les brevets octroient un droit de propriété temporaire sur une invention, interdisant ainsi à d'autres personnes ou concurrents de commercialiser cette même invention. Elle fonctionnera moins bien comme incitant tant qu'un tiers ne pourra pas constater sa valeur et si une personne tente de violer ce droit en commercialisant une idée protégée sans en avoir le droit.

Son rôle est d'empêcher les concurrents de commercialiser un bien similaire. Les coûts de la découverte et de la protection ne sont couverts que s'il est possible de poursuivre l'éventuel contrevenant (Scotchmer & Gallini, 2002).

---

<sup>12</sup> Si au moins 25% des demandes d'approbation de vaccins réussissent, qu'il y a 10% de chance qu'une pandémie survienne pour la vaccin en question, et que la firme peut produire 10 millions de doses pour 10\$ la dose, alors pour un investissement de 2 millions, le profit potentiel actualisé pour ce marché est de 100 millions, ce qui représente une perte de 100 millions (Barberio, et al., 2022, p. 5).

Donc le détenteur d'un brevet se trouve en situation de monopole temporaire et peut exploiter ce qui a été breveté comme il le souhaite. Le nombre de brevets peut être un indicateur de santé financière pour les industries qui les détiennent.

Deuxièmement, le *prize* est un paiement fait à un chercheur en échange de la livraison d'une invention spécifique. Par exemple, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a suggéré des *prizes* pour financer le développement de vaccins qui, faute d'une distribution assez large, n'auraient pas été développés s'il n'y avait eu qu'un système de propriété intellectuelle (Scotchmer & Gallini, 2002).

Troisièmement, le *procurement* est une solution à travers laquelle une firme ou un chercheur sont remboursés progressivement de leurs dépenses. Les fonds sont libérés progressivement et ne sont pas tributaires de la livraison par la firme ou le chercheur. Dès lors, certains bénéficiaires peuvent être tentés de s'envoler avec l'argent sans produire la solution demandée. L'approvisionnement (*procurement* en anglais) n'est pas offert à tous les entrants de sorte que les contrats sont précédés de négociations et d'analyses pour mesurer l'efficacité des candidats (Scotchmer & Gallini, 2002).

Enfin, une *subvention* est une somme donnée par l'Etat pour aider financièrement une activité d'intérêt général. Dans le cadre de la course aux vaccins et de la lutte contre le Coronavirus, les États ont injecté des milliards d'euros (et dollars) pour accélérer la recherche et mettre sur le marché des produits fiables rapidement.

Le financement d'un vaccin se fait via deux types d'apports, le premier concerne les études cliniques (c'est ce qui permet d'accélérer la recherche) et le second assure des précommandes. Un État paye à l'avance des doses de vaccin ce qui partage le risque financier (Mastrandreas, 2020).

L'Union Européenne s'est concentrée sur le deuxième type d'apports. En juillet 2021, elle avait financé 870€ millions pour le vaccin EU-AstraZeneca, 1,8\$ milliards pour EU-Moderna et 483\$ millions pour le US-Moderna (Boulet, Hoen, Tan, Mara, & Perehudoff, 2021).

La subvention est perçue comme socialement inefficace selon Nuscheler et al. (2003) puisqu'elle est payée par l'intégralité de la société par la biais de taxes. Ils proposent à la place de la subvention, la vaccination obligatoire où l'État paye les vaccins pour la partie de la population la plus démunie. De telle manière que les monopoleurs puissent vendre aux plus riches tout en vaccinant ceux qui n'auraient pas pu se procurer le vaccin. Cependant la vaccination doit être suffisamment large que pour couvrir une immunisation totale et s'applique aux sociétés avec un haut niveau d'inégalité de revenus. Si les nuances de revenus sont faibles, alors le monopoleur pourra couvrir le marché entier et la vaccination obligatoire ne sera pas la meilleure stratégie (Nuscheler, Sebastian, Kessing, & Robert, 2003).

D'un autre côté, l'État peut acheter des doses pour maintenir un certain niveau de prix. Cette intervention financière d'un tiers a pour objectif de maximiser le surplus du consommateur et réduire la charge morte induite par la fixation d'un prix supérieur au prix d'équilibre. Cependant elle réduit la charge morte sans pour autant la supprimer totalement (Kremer & Snyder, 2015).

Bien sûr, il existe d'autres paramètres qui peuvent influencer la décision d'investir en R&D ou d'autres moyens pour protéger son invention, comme, par exemple, le secret d'affaire. Plus loin dans ce document nous verrons comment l'hétérogénéité de certains facteurs, comme le risque de tomber malade ou le préjudice de la maladie, influencent la décision d'investir dans, notamment, le développement d'un vaccin.

### Hypothèses

Grâce à deux articles issus de la littérature scientifique et présentés plus loin, nous avons pu dégager différentes hypothèses.

#### Hypothèses émises par Kremer et Snyder (Preventives Versus Treatments, 2015)

##### *Hypothèse 1*

Une firme monopoliste développe un produit si les profits anticipés sont supérieurs aux coûts pour le développer<sup>13</sup>

##### *Hypothèse 2*

L'hétérogénéité du risque de tomber malade X créé un biais contre les vaccins dans la décision d'investir.

##### *Hypothèse 3*

L'hétérogénéité du préjudice de la maladie H créé un biais en faveur des vaccins dans la décision d'investir.

#### Hypothèses émises par Nuscheler et al. (Monopoly Pricing with Negative Network Effects: the Case of Vaccines, 2003)

##### *Hypothèse 4*

Un monopoleur peut capter 100% du surplus du producteur, et davantage de profits, en réalisant une discrimination parfaite des prix.

##### *Hypothèse 5*

Une subvention permet de créer un biais en faveur du vaccin mais est socialement inefficace

#### Hypothèse personnelle

##### *Hypothèse 6*

Il est plus profitable de vendre un vaccin à la partie de la population disposée à payer plus qu'à l'entièreté de la population au prix de la disposition à payer la plus faible.

---

<sup>13</sup> Dans leur modèle, Kremer et Snyder (2015) font l'hypothèse que dès lors, la firme développera un vaccin si le profit à l'équilibre d'un vaccin est supérieur au maximum du profit à l'équilibre d'un traitement tel que  $\Pi_v^* \geq \max(\Pi_t^*, 0)$ . Elle développera un traitement si  $\Pi_t^* \geq \max(\Pi_v^*, 0)$  et aucun des deux si  $\max(\Pi_t^*, \Pi_v^*) < 0$  (Kremer & Snyder, 2015, p. 1179).

### Analyse des hypothèses à travers la littérature scientifique

#### Preventives Versus Treatments (Kremer & Snyder, 2015)

Dans ce document, Kremer et Snyder analysent la capacité d'un monopoleur à capter le surplus du producteur sur un marché pharmaceutique composé de deux types de biens, le vaccin et le traitement. À travers différentes propositions et suppositions, ils mettent en lumière l'intérêt que les firmes ont à développer un traitement plutôt qu'un vaccin et dans quel cas, il est plus profitable pour une firme et le planificateur social de favoriser le développement du vaccin.

Pour illustrer leur propos, un modèle de référence, nommé « Benchmark Model » en anglais, est d'abord établi. Il est ensuite étendu en utilisant des paramètres tels que l'influence de l'hétérogénéité du risque  $X$ , l'impact de la maladie  $H$ , et la disparité des revenus  $Y$ .

Pour faciliter la lecture, nous avons réuni les différents paramètres et variables dans le *Lexique* en section 0.

#### Modèle de référence (Benchmark Model)

Pour déterminer quelle stratégie de produit  $j$  est la plus profitable pour une firme monopoliste, les auteurs analysent le surplus<sup>14</sup> à travers différents aspects. Le vaccin  $j = v$  et le traitement  $j = t$  sont des biens que le monopoleur peut produire. La décision d'entrée sur un marché pour un produit  $j$  correspond à la variable  $E_j$ . Cette entrée requiert de la R&D d'un montant fixe  $k_j$ .

Le surplus du producteur est donné par la formule générale :

$$PS_j(p_j) = (p_j - c_j)Q_j(p_j)$$

Le profit, du point de vue *ex ante* (avant que les consommateurs ne soient malades) :

$$\Pi_j(p_j) = PS_j(p_j) - k_j$$

La demande pour un vaccin pour laquelle il y a un nombre de malades  $\Phi_X$ , s'écrit :

$$Q_v(p_v) = \Phi_X(p_v)$$

À la place de développer un vaccin, la firme pourrait développer un traitement pour éviter les préjudices  $H$  de la maladie et soigner les malades. Avec un risque d'être malade en l'absence de vaccin  $\mu_X$  et un prix du traitement  $p_t$ , alors la demande pour un traitement correspond à :

$$Q_t(p_t) = \begin{cases} \mu_X & p_t \leq 1 \\ 0 & p_t > 1 \end{cases}$$

Ce qui veut dire que la quantité sera déterminée par le prix et le risque d'être malade. Si le prix du traitement est supérieur à 1, les consommateurs n'en prendront pas et s'il est inférieur ou égal à 1 alors ils consommeront  $\mu_X$  qui correspond au risque d'être malade en l'absence de vaccin.

<sup>14</sup> « Le surplus du producteur représente la différence entre le prix auquel le producteur était prêt à vendre un bien et le prix obtenu (le prix d'équilibre). [...] La situation de concurrence pure et parfaite correspond habituellement à la maximisation du surplus social (i.e. somme des surplus du consommateur et du producteur) ce qui en fait un optimum de Pareto de premier rang. Effectivement, l'équilibre dans cette situation correspond à des quantités vendues supérieures pour un prix inférieur par rapport à une situation de monopole. » Wikipédia, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Surplus\\_du\\_producteur](https://fr.wikipedia.org/wiki/Surplus_du_producteur), consulté le 25/07/2022

### Analyse du modèle de référence

Pour analyser le modèle de référence, deux situations sont étudiées, celle à l'équilibre, dénotée avec un astérisque \*, et celle de la première meilleure valeur (first-best dans le document)<sup>15</sup>, écrite avec deux astérisques \*\*. Par exemple, le prix à l'équilibre d'un produit  $j$  s'écrira  $p_j^*$  et le prix first-best  $p_j^{**}$ . Cette notation est utilisée pour tous les paramètres.

**Supposition.** Si  $p_j^* = 1$ , ce qui est le cas pour un traitement, le surplus du producteur à l'équilibre correspond au nombre de malades  $\mu_X$  et est égal au surplus total first-best :

$$PS_t^* = (p_t^* - 0)\mu_X = TS^{**}$$

$$PS_t^* = \mu_X = TS^{**}$$

Puisque la firme est capable d'extraire 100% du surplus, elle n'a pas de raison de développer un vaccin en dépensant les coûts fixes de R&D  $k_j$ .

**Proposition 1.** En se basant sur la Supposition, les auteurs expliquent que la situation peut être meilleure du point de vue social en développant un vaccin. Si le bien-être social  $W$  pour le vaccin  $W_v$  est supérieur au bien-être du traitement  $W_t$  à l'équilibre et au first-best alors le bien-être social lié au vaccin sera préférable. De telle sorte que  $W_v^{**} \geq \max(W_t^{**}, 0)$  et  $W_v^* \geq \max(W_t^*, 0)$ .

**Proposition 2.** Le bien-être social peut être défini de la manière suivante :

$$W_j(p_j) = \Pi_j(p_j) - CS_j(p_j)$$

### Perte sèche DWL et SDWL

Deux surplus sont distingués pour mieux cerner la captation maximale par le monopoleur, la charge morte<sup>16</sup> DWL (*deadweight loss* en anglais) et la charge morte statique SDWL (*static deadweight loss* en anglais). Cette dernière reflète la distorsion de l'incitation à développer un produit avec un prix supérieur  $p_j \geq c_j$ . Ce qui se traduit par :

$$SDWL_j(p_j) = TS_j^{**} - TS_j^*(p_j)$$

L'équilibre pour SDWL se situe à  $SDWL_j^* = SDWL_j(p_j^*)$

De l'autre côté DWL capture toutes les marges et pas seulement la différence des surplus totaux à l'équilibre et au first-best. De plus, la proposition 2 suggère que la charge morte statique est limitée par le surplus des deux produits à l'équilibre avec une limite en  $1 - \rho_X^*$  puisque  $\rho_X^* = \frac{PS_p^*}{PS_t^*}$

<sup>15</sup> La première meilleure valeur est une valeur *a minima*. Elle est définie comme la pire valeur acceptable par le monopoleur (Kremer & Snyder, 2015).

<sup>16</sup> La charge morte est la perte de surplus social liée à la différence des quantités vendues entre le prix à l'équilibre et le prix fixé par le monopoleur. Bien que ce dernier maximise son surplus, « la charge morte est la perte du surplus social que produit la situation de monopole en raison de quantités vendues plus faibles induites par un prix plus élevé » Wikipédia, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Surplus\\_du\\_producteur](https://fr.wikipedia.org/wiki/Surplus_du_producteur), consulté le 25/07/2022

La proportion du surplus du producteur

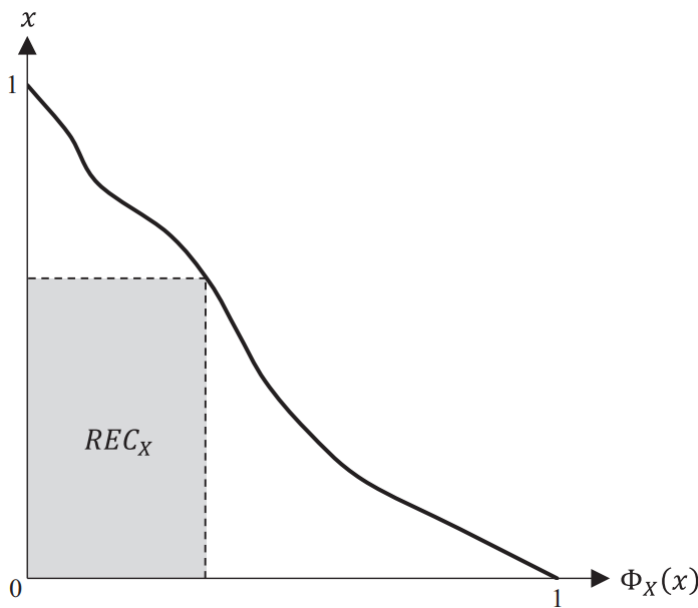


Figure 1 - Producer-surplus ratio (Kremer & Snyder, 2015)

La zone grisée  $REC_X$  de la Figure 1 correspond à la proportion du surplus sous la courbe du taux d'infection où le surplus est maximum en  $\max_{x \in [0,1]} x\Phi_X(x)$ . Ce qui implique que le poids total de la maladie  $\mu_X = \Phi_X$  et donc que tout ce qui se situe sous la courbe de  $\Phi_X$  égale le fardeau total de la maladie. Comme la zone ne peut pas dépasser la courbe, alors  $\rho_X^* \leq 1$ . La proportion de la zone  $REC_X$  par rapport au total de la maladie est exprimé par  $\frac{REC_X}{\mu_X} = \rho_X^*$

Par conséquent, s'il n'y a pas de discrimination par les prix, une hétérogénéité du risque X entraîne une incapacité du monopoleur à capter 100% du surplus.

Dès lors, si  $PS_v^* > PS_t^*$  alors  $\rho > 1$  de telle sorte qu'il est préférable de développer un vaccin, plutôt qu'un traitement. Inversement, si  $REC_X < 1$  alors  $PS_v^* < PS_t^*$  et donc il vaudra mieux développer un traitement. De plus, plus le  $p_v$  sera élevé, plus il y aura de malades.

**Proposition 3.**  $\rho_X^* = 1$  si et seulement si il existe quelques  $x' \in (0,1]$  tel que  $Pr(X = x' | X > 0) = 1$ . Autrement  $\rho_X^* < 1$ .

Si les utilisateurs sont homogènes dans le risque de tomber malade, le monopoleur peut extraire 100% du surplus total en first-best et à l'équilibre, sans provoquer de perte sèche. C'est le cas lorsque le traitement est développé. D'un autre côté, nous l'avons vu à la section précédente, n'importe quelle hétérogénéité dans le risque de la maladie X empêche le monopoleur d'extraire 100% du surplus, surtout s'il ne peut pas discriminer par les prix.

Par définition, les consommateurs, bien qu'ils aient un risque différent de contracter la maladie *ex ante*, sont homogènes lorsqu'ils sont malades *ex post*. Cela confirme que la vente du traitement permet au monopoleur de capter 100% du surplus puisqu'il est acheté *ex post*.

Pour le vérifier, il faut étudier la variance  $x$  des valeurs positives de  $X$  où  $\rho_x^*$  et  $x$  ont une relation inverse grâce à la minimisation des valeurs et de la résolution du pire cas.



**La STRZ Distribution**

En supposant que la courbe de demande arbitraire  $\Phi_X(x)$  change, chaque altération de la courbe de demande entraîne une modification de la zone  $REC_X$ , comme l'illustre la *Figure 2 - Derivation of demand that attains lower bound*.

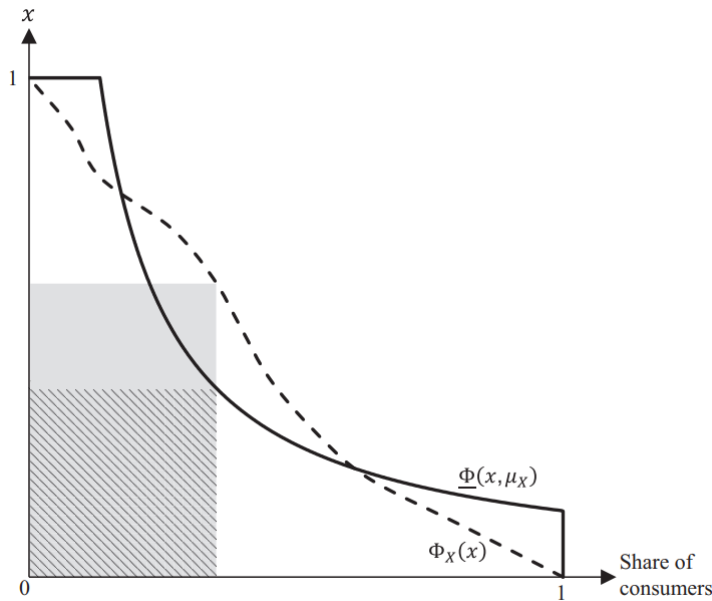


Figure 2 - Derivation of demand that attains lower bound (Kremer & Snyder, 2015, p. 1185)

Il faut donc trouver la formule où toutes les zones sous la courbe sont égales, peu importe la forme que revêti cette courbe. De telle manière que  $\underline{\Phi}_X(x, \mu_X)$  soit l'unique minimiseur de  $REC_X$  et que  $\underline{p}(\mu_X)$  soit la valeur minimale de  $p_x^*$  à travers les distributions de prévalence  $\mu_X$ .

**Proposition 5.** Par différentes substitutions au sein du modèle de référence, la proposition 5 établit une unique distribution de  $p_x^*$  sujets à une maladie de prévalence d'au moins  $\mu_X$ . Celle-ci est appelée la STRZ pour Zipf tronqué symétriquement (symmetrically truncated Zipf en anglais) (Kremer & Snyder, 2015, p. 1186) :

$$\underline{\Phi}_X(x, \mu_X) = \min \left\{ \frac{\mu_X \rho_X(\mu_X)}{x}, 1 \right\}$$

Grâce à une étude empirique intégrée à leur formule, Kremer et Snyder (Preventives Versus Treatements, 2015) démontrent que, si la maladie est commune, l'hétérogénéité du risque de la maladie n'est pas un facteur important dans la décision d'une firme dans le choix d'un traitement ou d'un vaccin. Pour que l'hétérogénéité provoque un biais suffisamment important, la maladie doit être rare.

**Propositions 6 et 7.** L'intérêt du document réside dans l'analyse de la captation du surplus par le monopoleur afin de déterminer la meilleure stratégie de produit. Avec  $Z_x$  qui dénote le zipf d'une distribution  $x$  :

$$Z_x = \frac{\mu_X - REC_X}{\mu_X - \underline{REC}_X} = \frac{1 - \rho_x^*}{1 - \underline{\rho}(\mu_X)}$$

Dès lors que  $REC_X \in [\underline{REC}(\mu_X), \mu_X]$ , il suit que  $Z_x \in [0,1]$  avec  $Z_x = 0$  lorsque les consommateurs sont homogènes et  $Z_x = 1$  pour une distribution STRZ ( et donc qu'ils sont hétérogènes).

Le ratio du surplus du producteur pour une distribution d'un risque donné s'écrira donc

$$\rho_X^* = 1 - Z_X[1 - \underline{\rho}(\mu_X)]$$

Plus la prévalence de  $\mu_X$  est faible, plus il est compliqué de capturer le surplus. Par conséquent,  $Z_X$  et  $\mu_X$  déterminent  $\rho_X^*$

### Achats par un tiers

Dans leur modèle les consommateurs directement au producteur. La réalité est toute autre puisque les institutions et gouvernements peuvent intervenir dans le marché pour, par exemple, le réguler. En supposant que l'objectif du tiers est de maximiser le surplus du consommateur et que le point de menace vient de la vente privée, alors le surplus de la négociation de Nash  $NB_j$  (*Nash-bargaining* surplus en anglais) firme pour un produit  $j$  correspond à :

$$NB_j = \frac{1}{2}(TS^{**} + PS_j^* - CS_j^*)$$

Par substitution avec l'équation du surplus total  $TS^{**} = PS_j^* + CS_j^* + SDWL_j^*$ , nous obtenons une fonction objective pour développer un produit qui tient à  $\Pi_j^* + \frac{SDWL_j^*}{2}$ . Le deuxième terme représente la partie de charge morte évitée grâce à l'intervention gouvernementale. Toutefois, bien qu'elle réduit cette charge morte, elle ne la détruit pas complètement puisqu'elle la diminue de  $\frac{SDWL_j^*}{2}$ .

### Autres sources d'hétérogénéité

Jusqu'à présent, Kremer et Snyder n'avaient considéré qu'une source d'hétérogénéité, à savoir le risque  $X$  de tomber malade. Dans cette section, ils étudient de multiple sources d'hétérogénéité et tentent de déterminer lesquelles influencent le développement d'un vaccin ou d'un traitement.

Pour y parvenir, ils analysent trois variables :  $X$ ,  $Y$  qui correspond aux données personnelles telles que les revenus, la santé, etc., et  $H$  qui représente le préjudice de la maladie.  $X$  est *ex ante* puisqu'il correspond à un risque d'attraper la maladie.  $Y$  est *ex ante* et *ex post*. Tandis que  $H$  n'apparaît que *ex post* puisqu'il faut être malade pour subir les préjudices de la maladie.

Selon les auteurs, la firme sera biaisée en faveur du traitement lorsqu'il y a de l'hétérogénéité seulement dans  $X$ , quand il y a une variation indépendante dans  $X$  et  $Y$ , et que  $Y$  augmente en fonction de  $X$ . De l'autre côté, le biais sera en faveur des vaccins lorsque  $X$  et  $Y$  sont inversement proportionnels, que seul  $H$  a de l'hétérogénéité, et qu'il y a une variation indépendante dans  $Y$  et  $H$ <sup>17</sup>.

**Volonté de payer.** Tout d'abord, deux volontés de payer sont à distinguer, la première est *ex ante* et concerne le vaccin, tandis que la seconde est *ex post* et traduit la volonté de payer pour un traitement. La première est fixée à  $xv_0$  alors que la deuxième repose sur la probabilité d'être malade ou non :

$$\begin{cases} v_1, & \text{avec la probabilité } x \\ 0, & \text{avec la probabilité } 1 - x \end{cases}$$

<sup>17</sup> Puisque notre travail s'interroge sur les facteurs qui influencent la décision d'investir dans les vaccins, nous avons fait le choix de ne détailler que le biais en faveur des vaccins décrit par Kremer et Snyder (2015). Cependant, plus de détails sur l'hétérogénéité de  $X$  et  $Y$  peuvent être trouvés dans leur document.

$v_\tau \geq 0$  est une réalisation de la variable  $V_\tau$  qui représente la temporalité dans laquelle le consommateur se situe, si  $\tau = 0$  alors il n'a pas contracté la maladie (*ex ante*) et si  $\tau = 1$  alors il est malade (*ex post*). Les auteurs placent quelques restrictions sur  $V_\tau$  :

$$E(V_1|V_0 = v_0, X = x) = v_0$$

**X et Y sont inversement proportionnels.** La seule situation incluant une hétérogénéité des variables X et Y se présente lorsque l'on considère qu'il y a une association négative et que ces deux variables sont inversement proportionnelles :  $Y = \frac{u}{X}$  pour une quelconque constante  $u$ <sup>18</sup>. Dans cette situation, la volonté de payer maximale est la même à travers tous les consommateurs et le monopoleur est capable d'extraire tout le fardeau de la maladie. Ce qui renverse les résultats précédemment trouvés et inverse la tendance contre les traitements et favorable aux vaccins.

**Seul H a de l'hétérogénéité.** Si  $H$  a une distribution différente et aléatoire de valeur  $h$  mais que les revenus  $Y$  sont constants, la volonté de payer pour les vaccins correspond aux revenus  $Y$ .  $H$  n'apparaît que *ex post* (à comprendre : lorsque nous sommes malades). Dans la proposition 14 du document les auteurs supposent que  $v_0 = y$  et  $v_1 = hy$ , nous pouvons donc réécrire que le fardeau de la maladie comme  $E(XV_0) = E(XY) = \mu_U$

L'hétérogénéité de  $H$  crée un biais inverse à l'hétérogénéité du risque de tomber malade puisque la volonté de payer pour un traitement est plus petite à cause de l'intervention de  $H$  *ex post*.

**Variation indépendante dans Y et H.** Une hétérogénéité de Y et H maintiennent les résultats obtenus dans la section précédentes. Cependant le degré d'hétérogénéité de Y ne sera pas suffisant pour renverser la tendance en faveur du vaccin mais pourra réduire le biais.

### Conclusion

En conclusion, Kremer et Snyder (Preventives Versus Treatements, 2015) nous proposent différentes analyses de leur Benchmark Model pour déterminer quelle stratégie de produit est optimale pour une industrie pharmaceutique en situation de monopole. Dans la plupart des cas, la firme monopolistique n'aura pas d'intérêt (financier) à développer un vaccin. En effet, lorsqu'il y a une homogénéité certaine dans les variables de risques de contracter la maladie, de préjudice de la maladie et des revenus, la vente du traitement lui permettra de capter 100% du surplus. Par contre, des risques hétérogènes substantiels de H et Y *ex post* motivent les firmes à développer le vaccin.

---

<sup>18</sup>  $u$  est une réalisation de  $U$  qui s'inscrit dans le problème de maximisation du profit du producteur présenté par Kremer et Snyder (2015). Par définition  $U = XY$ . Les consommateurs achètent le vaccin si  $xy = u \geq p_v$

**Monopoly pricing with negative network effects : the case of vaccines (Nuscheler, Sebastian, Kessing, & Robert, 2003)**

Dans leur document, Nuscheler et al. (2003) analysent l'hétérogénéité du côté de la demande et le pouvoir du monopoleur du côté fournisseur, l'effet d'externalité du risque sur les profits et ils mesurent les effets de revenus relatifs selon les interventions du monopoleur ou de l'État.

*Modélisation*

**La volonté de payer selon un taux d'immunisation.** Les auteurs considèrent une population de masse 1 composée d'individus qui ne diffèrent qu'en revenus mais qui sont homogènes sur les autres aspects. Les revenus sont dénotés  $a$  et sont distribués dans l'intervalle  $[a_L, a_H]$  où  $0 < a_L \leq a_H$ . La volonté de payer d'un individu dépend de ses revenus et de la part attendue d'individus qui sont vaccinés  $\theta^e \in [0,1]$  :  $p = p(\theta^e, a)$

Plus le taux d'immunisation  $\theta^e$  est élevé, plus la part attendue d'individus susceptibles d'être vaccinés est faible  $1 - \theta^e$ . Un faible risque d'infection  $\pi^e$  est associé à un taux d'immunisation élevé de sorte que  $\frac{\partial \pi^e}{\partial \theta^e} < 0$ .

Les auteurs postulent que  $\frac{\partial p}{\partial \theta^e} < 0$  capture l'effet d'externalité de la vaccination et que la volonté de payer augmente avec les revenus  $\frac{\partial p}{\partial a} < 0$ . Pour finir,  $p(1, a)$  implique l'existence d'un risque d'infection exogène.

Grâce à ces éléments, la volonté de payer peut être modélisée de la manière suivante :

$$p(\theta^e, a) = z_\theta(1 - \theta^e) + z_a a$$

Ce qui veut dire que la volonté de payer  $p(\theta^e, a)$  égale la somme de la part de la population non vaccinée  $(1 - \theta^e)$  multiplié par l'importance de l'effet d'externalité  $z_\theta$  et le produit  $z_a a$  des revenus avec la mesure de l'effet de revenu.

*Fixation des prix par le monopoleur*

Dans un premier temps, le monopoleur fixe un prix  $p_m$  pour son vaccin, Nuscheler et al. (2003) distinguent les individus en fonction de leurs revenus. De telle manière qu'ils réorganisent l'équation modèle décrite dans la section précédente par un consommateur critique  $\bar{\theta}$ , dont les revenus correspondent à la variation entre les revenus des individus  $a_H$  et  $a_L$  avec  $\Delta = a_H - a_L$ . De plus nous pouvons réécrire ses revenus en  $a(\bar{\theta}) = (a_H - \bar{\theta}\Delta)$ . Dès lors, le monopoleur fixera ses prix grâce à l'équation :

$$p_m = p(\bar{\theta}, a(\bar{\theta})) = z_\theta(1 - \bar{\theta}) + z_a(a_H - \bar{\theta}\Delta)$$

**Supposition 1.** Les individus qui payent un prix  $p_m$  attendent un taux d'immunisation de  $\bar{\theta}(p_m)$ . Puisque tous les individus, dont la volonté de payer est inférieure ou égale à celle de notre individu critique, ne pourront se faire vacciner, l'objectif d'atteindre au moins, si pas mieux, le taux d'immunité  $\bar{\theta}$  est impossible.

Car il n'est pas possible d'atteindre un taux d'immunité différent de ce que les revenus de l'agent étudié permettent. Puisque si l'individu critique souhaite une immunisation de  $\theta^e$  mais qu'il dispose de revenus  $a(\bar{\theta})$ , alors :

$$p = p(\theta^e, a(\bar{\theta})) = z_\theta(1 - \theta^e) + z_a(a_H - \bar{\theta}\Delta)$$

Comme les consommateurs dont les revenus sont inférieurs à  $a_H - \bar{\theta}\Delta$  et notre individu critique ne se feront pas vacciner, l'immunité souhaitée ne pourra pas être atteinte et sera inférieure à  $\bar{\theta}$ . Ceci est valable tant que les paramètres de la volonté de payer ne sont pas identiques.

**Supposition 2.** La demande agrégée à laquelle fait face le monopoleur :

$$\theta(p_m) = \frac{z_\theta + z_a a_H - p_m}{z_\theta + z_a \Delta}$$

Cette demande agrégée peut être obtenue en utilisant le paramètre de référence  $\bar{\theta}(p_m)$ . Nous remarquons qu'en fixant le prix, le monopoleur peut jouer sur le taux d'immunisation et donc « exploiter l'effet d'externalité associé à la vaccination » (Nuscheler, Sebastian, Kessing, & Robert, 2003, p. 8).

La fonction objective suivante permet au monopoleur d'optimiser sa stratégie de profits :

$$\Pi(\theta) = p(\theta)\theta = (z_\theta(1 - \theta) + z_a(a_H - \theta\Delta))\theta$$

En partant du principe que les coûts marginaux sont nuls, impliquant une éradication totale de la maladie  $\theta = 1$ , alors la dérivée première de cette fonction profit nous donne :

$$\theta^* = \frac{z_\theta + z_a a_H}{2(z_\theta + z_a \Delta)}$$

Il y a donc deux cas de figures, le premier où il n'y a pas d'externalité et le seconde où il y en a. Pour le premier, à l'optimal :

$$\theta^* < \frac{z_\theta + z_a a_H}{2z_a \Delta}$$

Alors que, s'il y a des externalités, le monopoleur a intérêt à réduire sa production pour augmenter la volonté de payer et donc ses profits. Pour un prix qui correspond à :

$$p_m^* = \frac{z_\theta}{2} + z_a a_H$$

Nous pouvons constater plusieurs effets des externalités sur le comportement du monopoleur. Alors que l'effet de revenu diminue l'importance de l'effet relatif de la vaccination, on observe que, moins il y a de personnes vaccinées et plus le monopoleur peut exploiter cet effet pour, in fine, réduire la quantité vendue.

### *Discrimination parfaite des prix*

Pour commencer, les auteurs définissent le point optimal qui correspond à une discrimination parfaite des prix. En proposant une grille tarifaire, le monopoleur fixe les prix mais aussi les quantités sur le marché. De telle sorte que tous les individus disposés à payer un prix adapté à leurs revenus (supérieurs ou égaux à  $\bar{a}$ ), seront vaccinés, tandis que les autres pas.

**Proposition 1.** Pour un effet externe de vaccination est supérieur à un effet de revenu alors une discrimination par les prix est socialement inefficace. Avec un taux d'immunisation en situation de parfaite discrimination par les prix  $\theta^{ppd}$

En considérant une courbe de demande décroissante pour laquelle chaque demande marginale réduit le prix marginal mais aussi la volonté de payer de tous les autres consommateurs, alors, au lieu d'obtenir un taux d'immunisation du point  $\theta^{ppd}$  de la Figure 3, le monopoleur desservira l'entièreté du marché. Par conséquent, il obtiendra un gain supplémentaire équivalent à la zone A mais perdra la zone B. En effet, puisque le taux d'immunisation est supérieur et que la

demande est décroissante, en ayant une immunisation totale, la volonté de payer et les prix s'en voient réduits. Dans ce cas de figure, le monopoliste est désavantagé.

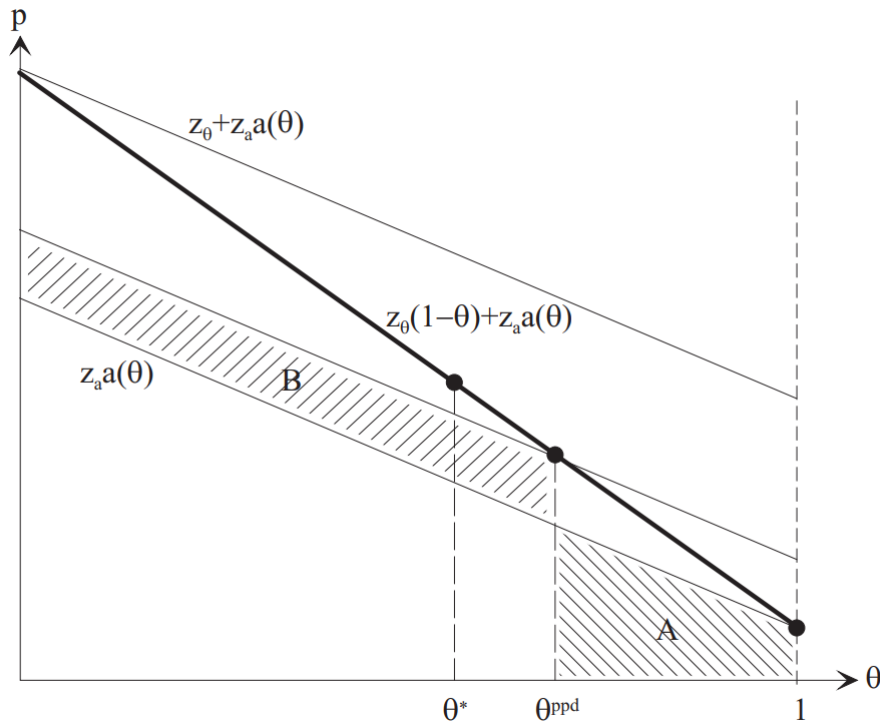


Figure 3 - The case of perfect price discrimination with vaccination externality (Nuscheler, Sebastian, Kessing, & Robert, 2003, p. 11)

En résumé,  $\theta^* < \theta^{ppd} \leq 1$ . De plus, la discrimination par les prix améliore la vaccination et est, du point de vue social, désirable mais l'est moins pour le monopoleur.

**Politique publique : subvention sous forme de prix.**

En considérant une politique selon laquelle l'État verse au monopoleur une subvention unitaire par vaccin vendu pour atténuer l'inefficacité du marché, alors la subvention publique n'est pas une réponse suffisante en ce qui concerne les vaccins.

**Proposition 2.** Si les revenus  $a$  d'une population sont distribués sur l'intervalle  $[a_L, a_H]$  où  $0 < a_L \leq a_H$ , en considérant qu'une taxe  $T$  doit être mise en place afin de payer une subvention  $s$ , les revenus deviennent alors  $a_L - T, a_H - T$ . La contrainte budgétaire du gouvernement est fixée à  $T = \theta s$  où  $\theta$  correspond à taux d'immunisation de la population souhaité.

En partant de leur modèle, basé sur la volonté de payer, modélisé de la manière suivante :

$$p(\theta^e, a) = z_\theta(1 - \theta^e) + z_a a$$

L'équation de référence est adapté avec ces nouveaux paramètres :

$$p(\theta, s) = z_\theta(1 - \theta) + z_a(a_H - \theta s - \theta \Delta)$$

Le monopoliste reçoit également  $p(\theta, s) + s$ , et choisit le prix

$$\theta^s = \frac{z_\theta + z_a a_H + s}{2(z_\theta + z_a s + z_a \Delta)}$$

Il existe un lien critique entre le problème de discrimination et l'effet de revenu. Dans leur article, les auteurs mettent en avant trois cas. Dans le premier, le problème de discrimination est

réduit par la subvention pour autant qu'aucun effet de revenu ne compense l'effet positif de la subvention. Cela se produit quand il n'y a pas de contrainte de budget gouvernemental.

Pour le second cas, où  $z_a = 1$  et  $\theta^s > \theta^*$ , le financement de la subvention cause un effet de revenu et augmentent davantage la discrimination dans le cadre des vaccins.

Enfin, dans le troisième cas, la subvention n'a aucun effet car l'effet positif est compensé par deux effets négatifs : la prévalence et le financement. Pire encore, si l'effet de revenu est suffisamment large, la subvention empire la situation.

**Politique publique : Vaccination obligatoire**

La vaccination obligatoire compense les inégalités au sein d'une population de telle manière que l'État prend en charge la partie de la population la plus démunie tandis que le monopoliste continue de vendre aux plus riches. Cependant un programme de vaccination comme celui-ci ne permet pas d'éradiquer complètement une maladie puisqu'il nécessite une parfaite connaissance des revenus de la population. Dans leur document, Nuscheler et al. (2003) considèrent que cette information est observable, afin de rendre le programme de vaccination plus efficace.

Fixons  $m \in [0,1]$  qui représente la part d'individus vaccinée grâce à l'État et qui mesure le  $m$  pourcentage des plus pauvres de la société, la volonté de payer des personnes riches correspond dorénavant à :

$$p(\theta; m) = z_\theta(1 - \theta - m) + z_a(a_H - \theta\Delta)$$

L'optimum s'obtient par différenciation

$$\theta^m = \frac{(1 - m)z_\theta + z_a a_H}{2(z_\theta + z_a \Delta)}$$

**Proposition 3.** l'immunisation totale est atteinte si le taux de participation est plus petit que 1. En résolvant l'équation avec  $m + \theta^m = 1$  alors

$$\bar{m} = \frac{z_\theta + z_a \Delta - z_a a_L}{z_\theta + 2z_a \Delta}$$

Pour finir, la discrimination par la vaccination est fortement présente lorsque qu'il y a d'importantes inégalités de revenus au sein d'une même population. À l'inverse, l'État n'a pas besoin d'intervenir lorsqu'il y a peu d'inégalité.

**Conclusions**

En conclusion, un monopoleur peut intervenir sur le taux d'immunisation et la fixation de ses prix afin de maximiser ses profits. Il n'a cependant pas intérêt à éradiquer complètement une maladie et à vacciner l'entièreté de la population puisque, en cas de demande décroissante, les prix marginaux diminuent de telle sorte que le monopoleur perd une partie des profits qu'il réalisait à un taux d'immunisation plus faible.

Une subvention financée par la taxation peut causer ou non des effets de revenus selon le cas. La vaccination obligatoire où l'État intervient pour les plus pauvres est utile s'il y a de fortes inégalités au sein de sa population.

### Modélisation

En se basant sur le modèle proposé par Kremer et al. (Preventives Versus Treatements, 2015), nous nous sommes intéressés à l'influence de l'hétérogénéité du risque de tomber malade et des préjudices de la maladie pour une population. Nous avons étudié l'influence de la variation de la volonté de payer de deux groupes distincts qui composaient cette population. Notre modèle théorique propose d'établir la meilleure stratégie à adopter pour qu'un monopoliste maximise ses profits lorsqu'il doit faire un choix entre vendre un vaccin à toute la population au prix le plus faible ou vendre son produit à une partie de la population au prix le plus élevé.

#### Modèle général

Tout d'abord, fixons quelques notions qui nous seront utiles pour comprendre notre modèle. La volonté de payer individuelle  $W_n$  pour obtenir un bien représente le produit du risque  $X$  d'être infecté par une maladie, avec le préjudice  $H$  de cette maladie et les revenus  $Y$ . Dans lesquelles, les variables  $x_n \in X$ ,  $h_n \in H$  et  $y_n \in Y$  correspondent respectivement aux risques de tomber malade, aux préjudices potentiels et aux revenus des individus  $n$  de la population  $N$ . Autrement dit :

$$\theta_n = x_n h_n y_n$$

Sur base du *Benchmark Model* défini par Kremer et Snyder (Preventives Versus Treatements, 2015) à la section 0, les profits relatifs à un prix pour un produit  $j$  consommé avant que les individus ne soient infectés par la maladie s'écrivent :

$$\Pi_j(p_j) = ((p_j - c_j)Q_j(p_j)) - k_j$$

Puisque nous supposons, pour la suite de notre modèle et dans le cadre des vaccins, que les produits vendus par la firme sont parfaitement efficaces, qu'ils n'ont pas d'effet secondaire et qu'ils ne coûtent rien à produire ou à distribuer, nous pouvons simplifier l'équation précédente par :

$$\Pi_v = Q_v(p_v)p_v$$

Intuitivement, tant que le prix  $p$  n'est pas supérieur à la volonté de payer d'une population, la firme vendra son bien à la population disposée à payer pour, si  $p_v \leq \theta_n$ . En revanche, un agent  $n$  n'achètera pas le bien dans le cas où  $p_v > \theta_n$  car le prix est trop élevé.

Donc le profit sera déterminé par la quantité qui dépend au prix  $Q_v(p_v)$  et par la grandeur de la disposition à payer  $\theta_n$  pour obtenir le bien. Plus celle-ci est grande et plus le monopoleur pourra fixer un prix élevé. Nous verrons comment évolue ce profit en fonction de la volonté de payer lorsqu'il y a plusieurs groupes au sein d'une même population et de l'hétérogénéité dans le risque de tomber malade comme dans le préjudice de la maladie.



### Analyse du modèle

#### Définitions

Dans le cadre des vaccins contre la COVID-19, puisque l'objectif est de vacciner toute la population mondiale, nous supposons que  $Q_v(p_v) = \Phi_X(p_v) = N$ . La population  $N$  a un risque  $X$  de tomber malade, un préjudice  $H$  et des revenus  $Y$ .

Nous normalisons les paramètres  $Y = 1$  et  $H = 1$  de sorte que la population soit égale en termes de revenus et de préjudice de la maladie et faisons l'hypothèse que la volonté de payer détermine le prix, de telle sorte que  $p_v = \theta_N$  :

$$\theta_N = XYH = X \cdot 1 \cdot 1 = X \quad | \quad \Pi_v = Q_v(p_v)p_v = N\theta_N = NX$$

À présent, distinguons l'existence de deux groupes  $n_i$  au sein de la population  $N$ , répartis entre les jeunes  $j$  d'un côté et les seniors  $s$  de l'autre, où  $i \in \{j, s\}$ . Ensemble, ils représentent l'entièreté de la population  $N$  où :

$$N = n_j + n_s$$

Les deux groupes sont répartis comme suit : la partie  $\alpha$  est vieille et la partie  $1 - \alpha$  est jeune. Donc la répartition au sein de la population se note :  $n_j = (1 - \alpha)N$  et  $n_s = \alpha N$

Le risque total de contracter la maladie est réparti au sein de la population avec la probabilité d'être infecté lorsque l'on est jeune de  $x_j$  et de  $x_s$  pour les seniors, où nous fixons  $x_j < x_s$ . Notre objectif est d'analyser l'impact de l'hétérogénéité de  $X$  entre deux groupes. Pour faire cela, nous regardons le cas dans lequel le risque moyen  $\bar{X}$  est fixe, mais le risque individuel est, quant à lui, distribué entre les groupes. Dès lors que  $\bar{X}$  est fixe, alors :

$$\bar{X} = (1 - \alpha)x_j + \alpha x_s > \alpha x_s$$

$\bar{X}$  est la moyenne de la somme des probabilités de contracter la maladie pour les deux groupes. Bien qu'il y ait une distribution différente des risques, le risque moyen de contracter la maladie reste identique.

Il est important de préciser qu'il faut se restreindre puisque  $x$  représente une probabilité  $x_i \in [0,1]$ . La probabilité moyenne de contracter la maladie est fixe et est établie à la valeur  $\bar{X}$ . Donc la volonté de payer correspond, pour chaque groupe  $n$  :

$$\theta_j = x_j, \theta_s = x_s$$

Le nombre anticipé moyen des personnes infectées par une maladie au sein d'une population  $N$  correspond à :

$$N(1 - \alpha)x_j + N\alpha x_s = N((1 - \alpha)x_j + \alpha x_s) = N\bar{X}$$

En s'inspirant de l'expression proposée par Kremer et Snyder (Preventives Versus Treatments, 2015) concernant la demande pour un vaccin pour laquelle il y a une proportion de personnes à risque  $\Phi_X$ , nous obtenons :

$$Q_v(p_v) = \Phi_X N = N\bar{X}$$

Par conséquent, dans le cas où le risque est le même pour tous et que le préjudice, ainsi que les revenus sont égaux à 1, alors la volonté de payer est proportionnelle au risque de contracter la maladie. Plus le risque est grand et plus la volonté de payer l'est également ce qui implique que les profits sont plus élevés.

Nous allons comparer la volonté de payer si le risque de contracter la maladie est le même pour tout le monde et s'il diffère entre deux groupes. Autrement dit, comment réagit la volonté de payer et le profit si le risque varie ? Nous maintenons nos paramètres fixés précédemment à  $Y = 1$  et  $H = 1$  de sorte que les groupes sont toujours égaux en termes de revenus et en termes de préjudice.

Premièrement, si nous supposons que le risque de tomber malade est le même et est égal à  $X$  pour tout le monde, la volonté de payer  $\theta_n$  sera égale à cette moyenne :  $\theta_s = x_s = X = x_j = \theta_j$

Ensuite si le risque  $X$  diffère selon le groupe :  $\theta_j = x_j < x_s = \theta_s$

Selon la distribution relative du risque d'être infecté au sein de la population, la volonté de payer peut varier.

### Comportement du monopoleur

Nous allons aborder deux grandes stratégies du monopoleur, la première consiste à vendre son produit à l'entière de la population tandis que, pour la seconde stratégie, il se concentrera sur la population disposée à payer le plus.

#### *Le monopoleur pratique un prix faible pour le vendre auprès de toute la population $N$ .*

Le monopoleur qui vendra à toute la population pourra, au maximum, charger un prix égal à la volonté de payer la plus faible (celui des jeunes), et, avec des coûts marginaux de production qui égalent zéro, les profits sont alors égaux à  $\Pi_N = N\theta_j$

Où, nous l'avons vu plus haut, la volonté de payer  $\theta_j$  correspond à la probabilité pour un jeune d'être infecté  $\theta_j = x_j$  donc  $\Pi_N = N\theta_j = Nx_j$

#### *Le monopoleur charge un prix élevé et vend son bien à la population $\alpha N$ .*

Dans cette situation, le monopoleur peut fixer son prix au tarif le plus élevé. De cette manière, il exclut tous ceux qui sont disposés à payer moins pour obtenir son produit. Il crée une charge morte mais peut éventuellement engranger plus de profits.

Pour mieux comprendre ce mécanisme, s'il vend au groupe disposé à payer davantage, qui a la taille  $\alpha N$ , la firme monopoleur aura un profit de  $\Pi_s = \alpha N\theta_s$

Puisque la volonté de payer égale le risque, pour le groupe senior, de contracter la maladie  $\theta_s = x_s$ , nous pouvons dire que  $\Pi_s = \alpha N\theta_s = \alpha Nx_s$ .

#### *Quel est le lien entre $X$ , $x_j$ et $x_s$ et quelle stratégie est la plus profitable pour la firme monopoliste ?*

Pour commencer, reprenons notre répartition du risque auprès des deux groupes  $\bar{X} = (1 - \alpha)x_j + \alpha x_s$

Dans le cas d'une population  $N$  avec un risque moyen  $\bar{X}$ , puisque le risque de tomber malade égale la volonté de payer, plus le risque moyen sera élevé, plus la volonté de payer sera élevée et donc, plus les profits seront conséquents.

Dans la situation où notre population est divisée en deux groupes (les jeunes et les seniors), dans notre modèle, deux facteurs vont influencer le profit. Le premier est la taille de  $\alpha$  au sein de la population et le second correspond au risque d'être infecté pour chaque groupe.  $\alpha$  doit  $\in ]0,1]$ <sup>19</sup>

Dans notre exemple, comme  $\alpha$  correspond aux seniors, plus  $\alpha$  sera proche de 1, plus la population totale sera composée de seniors. À l'inverse, moins il y a de seniors et plus  $\alpha$  sera petit. Lorsque  $\alpha = 0,5$ , les deux groupes sont identiques en nombres d'individus.

Avec les profits  $\Pi_N = Nx_j$ , ce qui correspond à la situation où le monopoleur vend à tout le monde pour le prix le plus faible, et  $\Pi_s = \alpha Nx_s$ , où il vend uniquement aux seniors, nous pouvons utiliser la relation  $\bar{X} = (1 - \alpha)x_j + \alpha x_s$ , afin d'obtenir :

$$\frac{\bar{X} - \alpha x_s}{1 - \alpha} = x_j$$

Ce qui veut dire que les profits, si l'on vend à tout le monde, sont donnés par :

$$N \frac{\bar{X} - \alpha x_s}{1 - \alpha} = \Pi_N$$

En conclusion, vendre au groupe de personnes âgées est alors plus profitable si

$$\alpha Nx_s > N \frac{\bar{X} - \alpha x_s}{1 - \alpha}$$

$$\alpha x_s > \frac{\bar{X} - \alpha x_s}{1 - \alpha} = x_j$$

Pour que cette stratégie maximise le profit, il faut alors que  $\alpha > \frac{x_j}{x_s}$ . Si cette condition est remplie alors le profit max  $\Pi_{max}$  est lorsque l'on vend aux personnes âgées  $x_s \in [\bar{X}, \frac{\bar{X}}{\alpha}]$ .

**Une égalité entre les risques individuels peut entraîner un profit maximum.** Avec une répartition constante de  $\bar{X} : \begin{cases} \Pi_{Max} > \Pi_N > \Pi_s \\ \Pi_{Max} > \Pi_s > \Pi_N \end{cases}$ . L'ordre de l'inégalité dépend de  $\alpha > \frac{x_j}{x_s}$ .

Puisque  $x_j < \bar{X} < x_s$  et parce que  $\bar{X} = (1 - \alpha)x_j + \alpha x_s$  alors  $\alpha x_s < \bar{X}$ . Donc  $\Pi_s < \Pi_{Max}$ .

#### Comparaison de l'incitation à développer un traitement ou un vaccin

Jusqu'à maintenant, nous avons supposé que la firme monopoliste ne vendait qu'un produit et nous avons observé les différences de profit lorsque le risque variait au sein d'une population. Maintenant nous allons analyser la situation où le monopoleur peut arbitrer entre la vente d'un vaccin ou d'un traitement.

Avant d'aller plus loin, il est important de faire la distinction entre vaccin et traitement. Le premier est acheté avant d'avoir contracté la maladie, au moment où l'individu est confronté à un risque incertain d'être infecté. Tandis que le deuxième est utilisé quand il n'y a plus d'incertitude et que l'individu est malade. On observe un statut binaire (infecté ou non).

Nous supposons, par simplicité, que les revenus des individus sont identiques  $Y = 1$  et que la maladie affecte les individus de la même manière avec  $H = 1$ . Le risque de tomber malade  $X$  est

<sup>19</sup> Selon la population,  $\alpha$  sera plus ou moins différent de 1, sachant qu'il doit être strictement inférieur à 1 puisque, si ce n'était pas le cas, la population serait entièrement composée de  $\alpha$  et, par conséquent, il n'y aurait plus qu'un seul groupe.

distribué entre jeunes et seniors de telle sorte que  $x_s$  corresponde au risque encouru par les seniors et  $x_j$  par les jeunes.

Comme nous l'avons précisé ci-dessus, le traitement se prend une fois que nous sommes malades alors que le vaccin se prend lorsque nous avons une probabilité de tomber malade mais que nous ne le sommes pas. Cette temporalité s'exprime à travers l'emplacement de la variable  $X$  ou  $x_n$  dans l'équation.

La volonté de payer  $\theta$  et le profit  $\Pi$  correspondent à :

**Dans le cas d'un vaccin.** Il y a deux stratégies potentielles :

$$\theta_j = x_j < \theta_s = x_s \quad | \quad \Pi_N = N\theta_j = Nx_j \text{ et/ou } \Pi_S = \alpha Nx_s$$

**Dans le cas d'un traitement.** Un malade a une volonté de payer égale à 1, alors on peut vendre le traitement au prix  $p = 1$  et en reprenant la formule, de Kremer et al. (2015) :

$$W_{traitement} = 1 \quad | \quad \Pi_t = N\bar{X} \cdot 1$$

De cette manière, le traitement se vendra au prix  $p_t = 1$  à la population infectée uniquement, contrairement au vaccin qui peut être vendu à toute la population ou à un segment seulement (selon la stratégie du monopoleur). Ce qui veut dire que considérer l'hétérogénéité ne change rien dans le cas du traitement.

Avec une répartition de notre population en deux groupes, jeunes et seniors, le profit du traitement sera  $\Pi_t = N\bar{X}1 = \alpha Nx_s + (1 - \alpha)Nx_j = N\bar{X}$

Kremer et Snyder (2015) s'intéressent à la captation du surplus par un monopoleur afin de déterminer la stratégie produit à adopter pour extraire le maximum de surplus. Selon eux, une hétérogénéité du risque de tomber malade empêche le monopoleur d'extraire 100% du surplus avec un vaccin, contrairement au traitement, à la condition que le monopoleur ne puisse pas discriminer par les prix. Ils prouvent que le risque des personnes malades est homogène car elles sont infectées, il n'y a donc plus de risque différent d'attraper la maladie entre les groupes. Par contre, lorsque les personnes ne sont pas encore infectées, il y a une hétérogénéité de risque de tomber malade.

Si on est homogène dans le risque  $\bar{X}$ , la firme sera indifférente à vendre un vaccin ou un traitement. Par contre s'il y a de l'hétérogénéité alors  $\Pi_t > \Pi_N$  et  $\Pi_t > \Pi_S$

**Un vaccin et un traitement coûtent respectivement  $c$  à produire**

Faisons l'hypothèse que produire un vaccin ou un traitement est coûteux et coûte  $c$  dans les deux cas. Est-ce qu'il est alors plus profitable de produire un vaccin ou un traitement ? Pour pouvoir donner la réponse, il faut comparer les profits anticipés des deux produits.

**En ce qui concerne le vaccin.** Dans la première stratégie visant à vendre un vaccin à toute la population au prix de la volonté de payer la plus faible  $\Pi_N = N(\theta_j - c) = N(x_j - c)$ . Le vaccin est profitable tant que  $c < x_j$

Pour notre seconde stratégie, qui se concentre sur une partie de la population dont la volonté de payer est la plus élevée  $\Pi_S = \alpha N(\theta_s - c) = \alpha N(x_s - c)$ . Le vaccin reste profitable tant que  $c < x_s$

De plus, même si  $\alpha < \frac{x_j}{x_s}$ , si  $x_j < c < x_s$ , il sera intéressant de vendre le vaccin aux personnes âgées.

**En ce qui concerne le traitement.**  $\Pi_t = N\bar{X}(1 - c)$ . Le traitement reste profitable tant que  $c < 1$

**Arbitrage.** Le développement d'un vaccin ou d'un traitement dépend du coût  $c$ . Dans la situation où  $c > 1$  la firme ne développera aucun des produits. Par contre si  $c < x_s$  alors elle produira un traitement. Dans le cas où  $c < x_j$ , alors tout est possible. Cela étant, il est difficile de conclure en l'état. Nous pouvons donc dire que la firme développera un traitement ou un vaccin en fonction de  $\alpha$  et de  $x_s$  en déterminant :

$$N\alpha(x_s - c) \geq N\bar{X}(1 - c)$$

$$\alpha(x_s - c) \geq \bar{X}(1 - c)$$

**Hétérogénéité de  $X$  dans la vente d'un vaccin ou d'un traitement**

Il y a donc deux temporalités, celle qui s'inscrit au moment où la population n'est pas infectée et peut prendre le vaccin, ou celle où les personnes sont effectivement malades et doivent prendre le traitement. Nous supposons donc que, lorsque la population est malade, il y avait de l'hétérogénéité *ex ante* mais plus *ex post* où  $x_t = N\bar{X}$ . En revanche, comme nous l'avons vu, il y a une hétérogénéité de  $X$  dans le cas du vaccin donc nous supposons que  $\bar{X} < x_s < 1$ .

Dans la situation où nous avons besoin d'être soigné, nous avons un nombre  $N\bar{X}$  de personnes malades<sup>20</sup> qui sont disposées à payer  $p = 1$ . Puisqu'il n'y a pas d'hétérogénéité *ex post*, nous pouvons analyser l'hétérogénéité *ex ante* dans deux cas de figure, celui où le monopoleur vend le vaccin à tout le monde et celui où il vend son vaccin aux seniors uniquement. Pour y parvenir, nous devons prouver deux choses, la première est que les profits générés par la vente à toute la population au prix de  $x_j$  sont inférieurs à ceux du traitement  $\Pi_N(x_j) = Nx_j < N\bar{X}$  et la deuxième que les profits  $\alpha Nx_s$  sont également inférieurs à ceux du traitement  $\Pi_s(x_s) = \alpha Nx_s < N\bar{X}$

**Les profits  $Nx_j < N\bar{X}$ .** Du point de vue du monopoleur, et en terme de profits, le vaccin pour tous n'est jamais intéressant. Cela se prouve par

$$x_j - c \geq \bar{X}(1 - c)$$

$$x_j \geq \bar{X} + c - \bar{X}c$$

$$\bar{X}c + x_j \geq \bar{X} + c$$

Puisque  $\bar{X}c < c$  et, par définition,  $x_j < \bar{X}$ , alors  $\bar{X}c + x_j < \bar{X} + c$ . En conséquence de quoi le traitement pour tous les malades est plus profitable  $\Pi_s(x_s) < \Pi_t$  si  $\alpha > \frac{x_j - c}{x_s - c}$

**Les profits  $\alpha Nx_s < N\bar{X}$ .** C'est le cas si  $\alpha < \frac{x_j - c}{x_s - c}$  alors  $\Pi_s < \Pi_N < \Pi_t$

**Hétérogénéité de  $H$**

Maintenant, nous allons faire varier  $H$ , de sorte que le préjudice de la maladie impacte différemment les individus de chaque groupe avec  $\bar{H} = (1 - \alpha)h_j + \alpha h_s$ .

Dans le cas de la Covid-19, en 2020, « les personnes âgées sont nettement plus susceptibles d'en mourir ou d'attraper une maladie grave à cause de l'infection, puisque le taux de mortalité des plus de 80 ans est cinq fois plus élevé que la moyenne » (Nations Unies, 2020, p. 3). En Belgique, 92% des

<sup>20</sup>  $N\bar{X}$  correspond à  $\Phi_X$  dans l'article écrit par Kremer et Snyder (Preventives Versus Treatments, 2015) de telle sorte  $x_t = \Phi_X = N\bar{X}$

personnes décédées à cause du coronavirus avaient plus de 64 ans<sup>21</sup>. Ce qui nous permet de déterminer  $h_j < h_s$ .

Le préjudice de la maladie est observable uniquement lorsqu'un individu est infecté par la maladie. Admettons cependant que le préjudice futur anticipé puisse influencer la volonté de payer de l'individu *ex ante*. Comme dans la *Proposition 14* de Kremer et Snyder (Preventives Versus Treatments, 2015) décrite à la section 0 ci-dessus, nous distinguons deux temporalités  $\tau$  différentes : *ex ante*  $\tau = 0$  et *ex post*  $\tau = 1$ .

De telle sorte que  $H_{\tau=0}$  corresponde aux préjudices futurs anticipés de la maladie et  $H_{\tau=1}$  au préjudice de la maladie *ex post*.

Dans un premier temps nous fixons  $x_j = x_s = \bar{X} < 1$  et  $Y = 1$  afin de simplifier le raisonnement.

Nos deux groupes de jeunes et seniors ont un préjudice futur anticipé respectif  $h_{0j}$  et  $h_{0s}$  et une volonté de payer :  $\theta_{0j} = \bar{X}h_{0j}$ ,  $\theta_{0s} = \bar{X}h_{0s}$

Le profit sera donc déterminé par  $\bar{H}$  puisque, avec les valeurs  $Y=1$  et  $\bar{X}<1$ , la volonté de payer est égale au préjudice potentiel multiplié par le risque potentiel  $\bar{X}$ . Comme l'impact de la maladie est plus faible chez les jeunes  $h_j < h_s$ , la volonté de payer sera plus faible chez les jeunes également  $\theta_j < \theta_s$ .

*Si un monopoleur vend un vaccin à toute la population, il devra s'ajuster aux personnes à faible préjudice.*

Donc si la firme vend un produit à toute la population, elle devrait ajuster son prix à la disposition à payer la plus faible qui est égale à la valeur du préjudice de la maladie  $\bar{X}h_j$ , sauf dans le cas où  $\bar{X}h_{0j} = \bar{X}h_{0s} = \theta_{0j} = \theta_{0s}$ , alors :

$$\theta_{0j} = \bar{X}h_{0j} \quad | \quad \Pi_{0N} = N\theta_{0j} = N\bar{X}h_{0j}$$

*Si un monopoleur vend au segment pour qui les préjudices sont les plus élevés*

La firme peut vendre le même produit au segment disposé à payer le plus pour s'éviter les préjudices de la maladie, à savoir, les seniors, donc le profit de cette deuxième situation se notera :

$$\theta_{0s} = \bar{X}h_{0s} \quad | \quad \Pi_{0s} = \alpha N\theta_{0s} = \alpha N\bar{X}h_{0s}$$

Dès lors où nous avons une répartition  $n_j = (1 - \alpha)N$  et  $n_s = \alpha N$ , alors la gravité totale de la maladie est :

$$n_j h_{0j} + n_s h_{0s} = N(1 - \alpha)h_{0j} + \alpha N h_{0s} = N((1 - \alpha)h_{0j} + \alpha h_{0s}) = N\bar{H}_0$$

Puisque  $\bar{H}_0 = (1 - \alpha)h_{0j} + \alpha h_{0s}$

Dans le cas où le monopoleur vend à toute la population :

$$\Pi_{0N} = N\bar{X}h_{0j}$$

Dans le cas, il vend au segment de la population disposée à payer plus :

$$\Pi_{0s} = \alpha N\bar{X}h_{0s}$$

<sup>21</sup> 91.89% ce qui représente 28119 personnes âgées de plus de 64 ans décédées pour 2463 personnes de moins de 64 ans. Source : <https://www.statista.com/statistics/1186241/coronavirus-deaths-in-belgium-by-age/>, mars 2022, consulté le 15/08/2022

**La comparaison du vaccin et du traitement lorsqu'il y a de l'hétérogénéité dans H et X**

Comme le préjudice de la maladie n'impacte que les individus infectés, il est important d'inclure la temporalité  $\tau$  dans notre équation. La volonté de payer pour le vaccin  $\tau = 0$  ou le traitement  $\tau = 1$  s'écrira donc :

$$\theta_{\tau n} = \begin{cases} \bar{X}Y, & \text{si } \tau = 0 \\ \bar{H}Y, & \text{si } \tau = 1 \end{cases}$$

Si nous ajoutons nos deux groupes de jeunes et de seniors, respectivement  $j$  et  $s$ , la volonté de payer *ex post* respective est :

$$\theta_{1j} = 1 \cdot h_j, \theta_{1s} = 1 \cdot h_s$$

Adaptons maintenant le risque de contracter la maladie pour chaque groupe

$$\theta_{\tau n} = \begin{cases} x_n, & \text{si } \tau = 0 \\ h_n, & \text{si } \tau = 1 \end{cases}$$

De cette manière, nous pouvons déterminer s'il est plus profitable pour la firme de vendre un vaccin ou un traitement. En effet, dans le cas où l'individu n'est pas encore infecté, il aura une volonté de payer de  $\theta_v = x_n y_n = x_n \cdot 1$ . Tandis que lorsqu'il est malade, sa volonté de payer pour un traitement correspond à  $\theta_t = h_n y_n = h_n \cdot 1$

**Cas 1.** Si la stratégie adoptée par le monopoleur est de vendre au prix le plus faible à l'entièreté de la population :

**Si la firme vend des vaccins.** Le profit correspond à  $\Pi_{Nv} = Nx_j$

**En vendant le traitement.** Elle obtiendra un profit de  $\Pi_{Nt} = \bar{X}Nh_j$

**Cas 2.** Dans le cas où la firme opèrerait pour la seconde stratégie, à savoir, vendre au segment de la population disposé à payer le plus :

**Si la firme vend des vaccins.** Le profit correspond à  $\Pi_{sv} = \alpha Nx_s$

**En vendant le traitement.** Elle obtiendra un profit de  $\Pi_{st} = \alpha Nx_s h_s$

Selon la stratégie adoptée par le monopoleur les profits seront différents, sauf dans le cas où  $h_j = h_s = \bar{H} = \bar{X} = x_j = x_s$ . Partant des conclusions de l'analyse de l'hétérogénéité de X de la section 0, nous cherchons à déterminer si le traitement reste la solution la plus profitable pour une firme lorsqu'il y a de l'hétérogénéité dans H.

Premièrement nous nous demandons quelle stratégie est la plus profitable lorsque le monopoleur vend un traitement :

$$\begin{aligned} \Pi_{st} &\geq \Pi_{Nt} \\ \alpha Nx_s h_s &\geq \bar{X}Nh_j \\ \alpha x_s h_s &\geq \bar{X}h_j \end{aligned}$$

Puisque nous savons que  $h_j < h_s$  et que  $\bar{X} < x_s$ , c'est la proportion d'individus  $\alpha$  qui sera déterminante. Nous pouvons donc dire que  $\Pi_{st} \geq \Pi_{Nt}$  selon que  $\alpha \geq \frac{\bar{X}h_j}{x_s h_s}$ .

Deuxièmement, nous cherchons à déterminer si le vaccin reste moins profitable que le traitement, comme c'était le cas lorsqu'il y avait de l'hétérogénéité dans  $X$ . Pour ce faire nous cherchons  $\Pi_{sv} \geq \Pi_{st} \geq \Pi_{Nt}$

Pour la première interrogation, les profits de la vente des vaccins aux seniors uniquement sont supérieurs aux profits générés par le traitement vendus aux seniors tant que  $h_s < 1$  puisque :

$$\begin{aligned} \Pi_{sv} &> \Pi_{st} \\ \alpha x_s h_s &> \alpha N x_s h_s \\ 1 &> h_s \end{aligned}$$

Pour la seconde interrogation,  $\Pi_{sv} \geq \Pi_{Nt}$ , en remplaçant la valeur de  $\alpha$  trouvée précédemment, nous pouvons déterminer que les profits du vaccin vendus au segment des seniors est plus profitable tant que  $1 > h_s$ . Cela se démontré par :

$$\begin{aligned} \alpha N x_s &= \Pi_{sv} \geq \Pi_{Nt} = \bar{X} N h_j \\ \alpha x_s &\geq \bar{X} h_j \\ \frac{\bar{X} h_j}{x_s h_s} x_s &\geq \bar{X} h_j \\ 1 &> h_s \end{aligned}$$

En conclusion, l'hétérogénéité de  $H$  crée un biais en faveur des vaccins. Il apparait que la meilleure stratégie pour la firme en situation de monopole soit de vendre à la parti de la population disposée à payer plus avec un préjudice de la maladie élevé. Si toutefois, les individus sont homogènes dans le risque, alors le traitement sera plus profitable pour la firme.

#### La subvention favorise le développement d'un vaccin mais est socialement inefficace

Dans cette section, nous tentons de démontrer qu'une subvention peut entrainer un biais en faveur des vaccins mais est inefficace socialement parlant. Nous faisons suite à la réflexion tenue par Nuscheler et Kessing (Monopoly Pricing with Negative Network Effects: the Case of Vaccines, 2003) décrite à la section 0.

Une subvention  $S$  est une somme donnée par l'Etat pour aider financièrement une activité d'intérêt général. En partant de notre équation de profits initial auquel nous ajoutons  $S$ , nous obtenons :

$$\Pi'_v = \theta'_v N + S$$

Cela implique que la subvention est financée par une taxe  $T$  payée par le contribuable pour laquelle  $S = T(S)N$ . De telle sorte que :  $\theta'_n = \bar{X}(Y - T(S))$

Dans le cadre de cette taxe, si la subvention avait pour objectif de supprimer toute la charge morte due à la différence du prix monopole et du prix à l'équilibre, elle serait beaucoup plus importante pour un traitement que pour un vaccin (Scotchmer & Gallini, Intellectual Property : When Is It the Best Incentive System?, 2002). De plus, si la subvention était donnée à la firme qui développe un traitement, alors son financement serait supporté par la collectivité mais les bénéfices ne reviendraient qu'à une partie de la population (les personnes malades).

#### On accorde une subvention $S_v$ du montant le plus faible

**Dans le cas d'un vaccin.** nous obtenons un profit et une volonté de payer :

$$\theta'_v = \bar{X}(Y - T(S_v))$$



$$\Pi'_v = \theta'_n N + S_v$$

Cette taxe est supportée par la collectivité mais peut bénéficier au plus grand nombre.

**Dans le cas d'un traitement.**

$$\theta'_t = \bar{H}(Y - T(S_v))$$

$$\Pi'_t = \theta'_n N \bar{X}$$

Comme le traitement ne bénéficie pas de la subvention mais que les revenus sont diminués par la taxe  $T(S_v)$ , la firme a un intérêt à développer le vaccin pour bénéficier de la valeur de la subvention tant que  $S_v > (\bar{X}N(\bar{H} - 1))(Y - T(S_v))$  :

$$\theta'_t N \bar{X} = \Pi'_t < \Pi'_v = \theta'_n N + S_v$$

$$(\bar{X}N\bar{H} - \bar{X}N)(Y - T(S_v)) < S_v$$

$$(\bar{X}N(\bar{H} - 1))(Y - T(S_v)) < S_v$$

$$\Pi_t(\bar{H} - 1)(Y - T(S_v)) < S_v$$

**L'achat de doses par le gouvernement**

Nous pourrions remplacer la subvention par une intervention financière des gouvernements afin de payer la différence de prix entre les seniors et les jeunes étudiés précédemment avec  $S_p = p(\theta'_s) - p(\theta'_j)$ . Cette supposition rendrait plus profitable la situation où la firme vend à tout le monde puisque les profits correspondraient à la volonté de payer la plus élevée multipliée par la population totale. Cependant la volonté de payer des seniors  $\theta'_s$  est plus petite que  $\theta_s$  puisque les revenus ont été réduits de la taxe, donc  $\theta'_s < \theta_s$ . Dans ce cas les profits deviennent

$$\Pi'_v = N\theta'_j + N(\theta'_s - \theta'_j) = N(\theta'_j + \Delta\theta'_j)$$

### Extensions et discussion du modèle

#### Le comportement des individus : les effets des vaccins

La prise du vaccin reste un choix du consommateur déterminé par ses préférences individuelles. Intuitivement, l'on pourrait penser que si un individu estime que les bénéfices du vaccin seront inférieurs à ses effets négatifs ou encore s'il estime avoir peu de chance de contracter la maladie, alors il pourrait préférer ne pas se faire vacciner.

Tout d'abord, définissons le risque et l'efficacité. On entend par risque, la probabilité d'une personne de contracter la maladie (ou d'en subir les conséquences) et par efficacité, la qualité d'un vaccin.

Cette dernière peut porter sur des effets positifs, comme la capacité du vaccin à empêcher de tomber malade ou à réduire les effets de la maladie, mais également sur des effets négatifs, traduits par des effets secondaires ou encore par un nombre de doses à prendre pour être protégé voire soigné.

Dans le cadre des vaccins contre la COVID-19, il est important de noter que le coût réel des vaccins est supporté par l'État et est donc gratuit pour le consommateur final. Nous pourrions toutefois noter des coûts indirects en terme de temps ou de déplacement ou encore d'autres médicaments à devoir acheter pour lutter contre les éventuels effets secondaires, etc..

Pour analyser l'influence de l'hétérogénéité de  $X$  et  $H$  sur les incitants, nous avons fait l'hypothèse que le vaccin ou le traitement vendu par un monopoleur étaient parfaitement efficaces et sans effet secondaire. Cependant il pourrait être intéressant d'ajuster ces paramètres pour en mesurer les conséquences. De telle sorte que nous pourrions avoir un préjudice de la maladie  $h_j - e_v \geq 0$  où  $e_v$  correspond à l'efficacité du vaccin. Si l'individu a consommé le vaccin, son préjudice  $h_j$  sera réduit de l'efficacité du vaccin  $e_v$ , autrement  $e_v = 0$  et il subira entièrement les préjudices de la maladie.

#### Nouveau variant de la maladie

Dans le cadre de la COVID-19, des variants ont rendu la maladie plus difficile à combattre et à éradiquer. L'apparition de ces évolutions s'explique, notamment par une immunisation collective trop faible et par une faculté du virus à évoluer rapidement. Il pourrait être pertinent d'ajouter l'influence du taux d'immunisation dans notre modèle pour créer un biais en faveur des vaccins, comme présenté par Nuscheler et al. (Monopoly Pricing with Negative Network Effects: the Case of Vaccines, 2003).

#### Discrimination par les prix

La production du monopoleur est inefficace du point de vue social parce que celui-ci se limite à un niveau de production où les individus sont disposés à payer pour une unité supplémentaire un montant supérieur à son coût marginal de production (Varian, 2016). Par conséquent, la firme monopolistique cherche à maximiser son profit en demandant le prix monopole.

En ce qui concerne le cas des vaccins, on peut observer plusieurs types d'individus avec des volontés de payer variées à travers le monde. Les firmes pourraient donc proposer une grille tarifaire adaptée à la volonté de payer de chacun.

Si le monopoleur peut réaliser une discrimination par les prix, et vendre au prix égal à la volonté de payer de chaque groupe alors son profit correspondra à la somme des profits réalisés auprès des deux groupes, de manière à ce que le profit total s'écrive :

$$\Pi_{total} = \alpha NW_s + (1 - \alpha)NW_j = \Pi_s + \Pi_j$$

Le monopoleur pourra donc vendre à tout le monde à des prix différents.

Dans leur *Proposition 1*, Nuscheler et al. (2003) prouvent également qu'une discrimination parfaite des prix est socialement efficace mais moins profitable pour le monopoleur.

En effet, bien que le monopoleur capte 100% du surplus, il est en moins bonne situation lorsque la population est totalement immunisée. Avec une demande marginale décroissante, l'augmentation de celle-ci a pour conséquence de diminuer le prix marginal mais aussi la volonté de payer de tous les autres consommateurs (Nuscheler, Sebastian, Kessing, & Robert, 2003). Ce qui veut dire que plus il y a de vaccins consommés, moins les individus ont de risque de tomber malade et moins ils sont disposés à payer pour.

Toutefois, « les pays développés sont incités à interdire les réimportations, car des profits de monopole plus élevés dans le cas d'une parfaite discrimination des prix facilitent des incitations plus fortes à la R&D dans un cadre dynamique » (Nuscheler, Sebastian, Kessing, & Robert, 2003, p. 12).

De plus, les pays pauvres pourraient être tentés de revendre leurs doses excédentaires aux pays riches à un prix plus faible et dès lors, créer une diminution globale des prix. Ce qui aurait pour conséquence d'inciter le monopoleur à vendre à un prix uniforme.

#### Quel est l'impact des firmes dans un marché global ?

Certains pays et industries réclament la levée des brevets (et du monopole) relatif aux vaccins anti COVID-19. Tout d'abord pour rendre le vaccin plus accessible en terme de prix mais aussi en termes de quantité disponible. Puisqu'un monopoleur peut fixer le prix et la quantité de ce qu'il vend librement, sauf dans le cas où il serait limité par des facteurs externes (comme un manque de matière première), la levée du monopole permettrait d'augmenter le nombre d'acteurs sur le marché, de globaliser la production et de réduire l'impact des monopoleurs sur la distribution des vaccins à travers le monde.

Les pays demandeurs de cette levée de protection se plaignent, notamment, que les industries distribuent les vaccins aux pays riches, à qui ils peuvent vendre plus cher leurs doses.

Nous avons vu à travers notre analyse pourquoi un monopoleur pouvait opter pour cette stratégie et comment l'hétérogénéité du risque de contracter la maladie ou d'être gravement atteint par celle-ci pouvaient inciter la firme à développer un vaccin ou non, et influencer sa distribution auprès de l'entière population ou à un segment seulement.

Par ailleurs, si le marché des vaccins est globalisé et qu'il y a beaucoup de producteurs dans celui-ci, chaque firme présente aura un faible impact sur le marché et en conséquence, la mutation des marchés sera plus faible que dans le cas d'un monopoleur.

Autrement dit, en supposant que des centaines de firmes proposent un vaccin identique (en termes d'efficacité, d'effet secondaire, de coût, de probabilité de réussite, etc.) et qu'il n'existe pas de produits de substitution, si une des firmes décide de limiter la production pour faire grimper les prix, son impact sur le marché global sera très faible et elle aura peu de chance d'y arriver.

Dès lors qu'il est facile de se procurer le même vaccin à un prix plus faible ou en quantité suffisante ailleurs, les individus achèteront ailleurs à d'autres firmes.

Par contre, si l'entièreté d'un marché est détenue par une seule firme, alors la moindre variation de prix, de quantités ou d'efficacité de son produit aura un impact très important sur le marché.

Toutefois, bien qu'une firme puisse fixer son prix librement, si le marché cible n'est pas disposé à payer ce prix, alors elle ne vendra pas son bien (Varian, 2016). Nous avons vu qu'il était rarement profitable pour la firme de vendre à l'entièreté de la population, au prix de la volonté de payer la plus faible plutôt que de se concentrer sur le segment du marché avec la volonté de payer la plus élevée.

Pour finir, on observe une spécialisation des firmes déjà présentes sur le marché et une réduction de nouveaux entrants (Barberio, et al., 2022). Cela s'explique par des barrières à l'entrée plus importantes pour les nouveaux entrants et une efficacité grandissante pour les firmes les plus anciennes. « Le manque de financement suffisant pour la R&D biomédicale translationnelle est dû à plusieurs caractéristiques institutionnelles du développement de médicaments, notamment une faible probabilité de succès, un long horizon d'investissement, un coût élevé des essais cliniques et un coût élevé du capital, en particulier pour les petites entreprises de biotechnologie qui n'ont pas commercialisé de médicaments générant des revenus et doivent compter sur des financements externes pour soutenir leur pipeline de R&D » (Barberio, et al., 2022, p. 5 et 6)

#### Calibration aux données liées au coronavirus en Belgique

Dans le but de vérifier nos hypothèses et tester notre modèle, une étude empirique devrait être réalisée. Nous pourrions calibrer le modèle avec les données liées à la COVID-19 en répartissant par groupe d'âges à travers le monde et par pays à deux moments différents (puisque la maladie semble être plus infectieuse en hiver, nous pourrions établir un risque moyen annuel).

### Synthèse, conclusions et perspectives

Le développement des vaccins était en berne depuis des années, mais pour lutter contre la pandémie de la COVID-19 et la crise sanitaire et économique qui ont suivi, les investissements publics et privés ont drastiquement augmenté. Dans ce document nous nous sommes interrogés sur les principaux facteurs pertinents dans une approche économique qui incitent une firme monopoliste à développer un vaccin.

Pour commencer, nous avons situé les enjeux économiques, sanitaires et sociaux dans lesquels la pandémie s'inscrit. Elle a impacté le monde entier et provoqué des millions de morts. Les secteurs public et privé ont investi des milliards pour endiguer sa propagation et protéger les populations. Ces investissements ont permis l'élaboration de plusieurs vaccins et une mise sur le marché en un temps record. De plus, l'utilisation de l'ARNm, pour la première fois pour un vaccin humain, a révolutionné la recherche scientifique dont, notamment, les futurs développements de vaccins, puisque la technique utilisée par l'ARNm s'avère plus efficace et permet de réduire la durée de recherche et développement (R&D) par rapport aux anciens vaccins.

Ensuite, nous nous sommes intéressés à la décision d'investir des firmes et aux incitations qui peuvent les motiver à développer un vaccin. Si cela fait plusieurs décennies que les firmes délaissent l'élaboration des vaccins contre les maladies infectieuses émergentes (EID's) aux profits d'autres produits, c'est, entre autres, parce qu'il n'y a aucune garantie de trouver un marché suffisamment large et lucratif que pour couvrir leurs coûts de développement. C'est d'ailleurs pourquoi il existe des mécanismes pour encourager la recherche dans des domaines qui, sans ces incitations, seraient délaissés. Nous en avons distingué plusieurs dans ce document : la propriété intellectuelle, les *prizes*, les approvisionnements (*procurement* en anglais) et les subventions ou toutes interventions gouvernementales qui réduisent le risque financier et la durée de la R&D.

Une fois le contexte posé, nous avons parcouru une partie de la littérature scientifique à travers deux articles qui traitent du sujet. Ceux-ci discutent d'une part de l'arbitrage entre le développement d'un vaccin et d'un traitement par une firme monopoliste et d'autre part de la fixation des prix par un monopoleur dans le cadre d'une demande de marché décroissante.

Le premier document s'intéresse à l'impact de certains facteurs sur la décision d'investir dans la recherche et le développement de vaccins. Kremer et Snyder, les auteurs de cet article de 2015, étudient la capacité d'un monopoleur à capter le maximum de surplus dans le cadre du développement d'un vaccin ou d'un traitement. Ils élaborent un modèle de référence (Benchmark Model) pour déterminer quels facteurs influencent le développement d'un vaccin ou d'un traitement selon la maximisation du surplus et le niveau d'hétérogénéité lié au risque de tomber malade ou, une fois infecté, aux préjudices de la maladie.

Le second document écrit en 2003 par Nuscheler et al., élabore un modèle mathématique qui permet à un monopoleur de fixer son prix en fonction de la volonté de payer et du taux d'immunisation collective. En effet, partant du principe que la demande pour les vaccins est décroissante (plus il y a de personnes immunisées et moins il y a besoin de se faire vacciner, et moins les consommateurs sont disposés à payer pour), le monopoleur doit fixer son prix selon un taux d'immunisation souhaité et une disposition à payer de telle sorte qu'il maximise ses profits.

De plus, l'article met en lumière l'inefficacité d'une subvention pour la collectivité et propose une vaccination obligatoire qui permettrait aux plus démunis de bénéficier de la vaccination sans impacter la collectivité.

À l'aide de ces deux contributions scientifiques, nous avons ensuite tenté de compléter leurs modèles en distinguant deux groupes au sein d'une même population, des jeunes et des seniors.

Notre modèle s'inspire de Kremer et Snyder et se base sur la volonté de payer des individus, déterminée par l'hétérogénéité des risques de tomber malade et des préjudices de la maladie, au sein de la population.

Nous avons ensuite analysé différentes stratégies qui permettent au monopoleur de maximiser ses profits. Vaut-il mieux vendre le vaccin à toute la population au prix de la volonté de payer la plus faible ou se concentrer sur la population la plus riche ?

Cette contribution a pour but de montrer l'importance de l'hétérogénéité dans la décision d'investir ou non dans un vaccin contre la COVID-19 et quelle stratégie le monopoleur doit adopter pour capter le maximum de profits.

Notre analyse démontre que l'importance de l'hétérogénéité du préjudice  $H$  de la maladie influence la consommation du vaccin, tandis que l'hétérogénéité liée au risque  $X$  de tomber malade semble favoriser le développement de traitements car  $H$  influence les profits *ex post* et  $X$  les profits *ex ante*.

Considérant les deux groupes analysés, les jeunes et les seniors, celui pour lequel l'impact de la maladie sur sa santé est le plus important aura plus de chances de préférer ne pas contracter la maladie, ou en réduire ses préjudices, et par conséquent se faire vacciner. Cependant le passage à l'acte d'achat est tributaire de sa disposition à payer et du prix du vaccin.

De plus, notre modèle se penche sur deux groupes et sur la question de savoir comment la firme peut obtenir le plus de profit, soit en vendant à toute la population au prix le plus faible soit en vendant au prix le plus élevé à une partie de la population seulement. Mais qu'en serait-il si le monopoleur pouvait réaliser une discrimination parfaite des prix ? En proposant, par exemple, le vaccin aux différents segments de la population au prix adapté à leurs volontés de payer respectives.

En conclusion, les facteurs qui influencent la décision d'un monopoleur d'investir dans les vaccins contre la COVID-19 sont les interventions gouvernementales qui réduisent le risque financier mais surtout l'hétérogénéité dans le préjudice causée par la maladie.

Enfin, nous proposons quelques améliorations et extensions qui pourraient être apportées à notre modèle. Il est important de préciser que, par simplification, les vaccins et traitements étudiés précédemment sont des produits parfaitement efficaces, sans effet secondaire ni coût pour les développer ou produire. Dès lors, nous trouverions pertinent d'analyser les variations de l'offre et la demande globale lorsque les vaccins ont des effets secondaires, ne sont pas parfaitement efficace et ont un cout de production ainsi que de fabrication.

Nous discutons du comportement des firmes dans un marché global. Jusque là, nous postulions qu'il n'y avait qu'une seule firme qui détenait l'entière du marché. Mais comment évolueraient les profits liés au développement de vaccins en situation d'oligopole ?

Ensuite, en extension de l'analyse de Nuscheler et al., nous pourrions étudier le taux d'immunisation qui empêcherait l'arrivée de nouveaux variants de la COVID-19. En effet, bien qu'un certain taux d'immunité permette au monopoleur de maximiser ses profits, il n'est pas dit que l'arrivée de nouveaux variants lui serait profitable. Comme la COVID-19 évolue très rapidement, nous pourrions supposer que le monopoleur aurait soit la capacité d'en tirer profit soit serait dépassé.

Pour finir, nous suggérons la calibration du modèle avec des données liée à la COVID-19, réparties par âges, pays et date.

## Bibliographie

- Barberio, J., Becraft, J., Zied, B. C., Dimitris, B., Tasuku, K., Michael, L. L., . . . Qingyang. (2022, juin 05). Accelerating vaccine innovation for emergencing infectious diseases via parallel discovery. *NBER paper series*(30126).
- Boulet, P., Hoen, E., Tan, E., Mara, K., & Perehudoff, K. (2021). Advanced Purchase Agreements for Covid-19 vaccines : analysis and comments. *The Left in the European Parliament*.
- Butler, D. (2008). Translational research : Crossing the valley of death. *Nature*, 840(2). doi:10.1038/453840a
- Conti, B., Baudet-Michel, S., & Le, C. (2021, 03 12). Pandémie, crises et perspectives : lectures territoriales de la Covid-19. *Réformes hospitalières et crise pandémique de la Covid-19 : depuis 2008 les inégalités spatiales d'équipement en lits de réanimation ont-elles augmenté ?* doi:https://doi.org/10.4000/rfst.909
- Douglas, R. a. (2018). The vaccine Industry. *Plotkin's vaccines*(41-50). doi:10.106/B978-0-323-35761-6.00004-3
- FDA. (2021, 08 23). *FDA Approves First COVID-19 Vaccine*. Consulté le 07 29, 2022, sur U.S. Food & Drug: <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-covid-19-vaccine>
- Jarrett, S., Pagliusi, S., Park, R., Wilmansyah, T., Jadhav, S., Correa Santana, P., . . . Yang, L. (2021). The importance of vaccine stockpiling to respond to epidemics and remediate global supply shortages affecting immunization: strategic, challenges and risks identified by manufacturers. *Vaccine X*(100119). doi:10.1016/j.jvacx.2021.100119
- Kelland, K. (2019, 08 06). *GSK ends development of Ebola vaccine, hands work to U.S. Institute*. Consulté le 07 29, 2022, sur Reuters: <https://www.reuters.com/article/us-health-ebola-gsk/gsk-ends-development-of-ebola-vaccine-hands-work-to-u-s-institute-idUSKCN1UW15S>
- Kremer, M., & Snyder, C. M. (2015). Preventives Versus Treatments. *Quarterly Journal of Economics*(130), 1167 -1239.
- Kremer, M., Snyder, C., & Drozdoff, N. (2016). *Vaccines drugs and zipf distributions*. Récupéré sur Voxeu: <https://voxeu.org/article/vaccines-drugs-and-zipf-distributions>
- Mastrandreas, S. (2020, 11 28). *Covid : 5 chiffres fous sur le financement des vaccins*. Consulté le 08 07, 2022, sur Les Echos.fr: <https://www.lesechos.fr/industrie-services/pharmacie-sante/covid-5-chiffres-fous-sur-le-financement-des-vaccins-1269170>
- Nations Unies. (2020). *Note de synthèse : L'impact de la COVID-19 sur les personnes âgées*. Consulté le 08 2022, 04, sur [https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/old\\_persons\\_french\\_0.pdf](https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/old_persons_french_0.pdf)
- Nuscheler, Sebastian, Kessing, & Robert. (2003, 06). Monopoly Pricing with Negative Network Effects: the Case of Vaccines. *Discussion Paper SP II*. Consulté le 2022
- OMS. (2021, 01 12). *OMS*. Consulté le 08 07, 2022, sur Organisation Mondiale de la Santé: <https://www.who.int/fr/news-room/feature-stories/detail/the-race-for-a-covid-19-vaccine-explained>

Roupie, E. (2001). Les décisions d'admission ou de non-admission en réanimation. *Réanimation*, 10(Issue 7), pp. 679-684. doi: [https://doi.org/10.1016/S1164-6756\(01\)00178-5](https://doi.org/10.1016/S1164-6756(01)00178-5)

Scotchmer, S. (2004). *Innovation and incentives*. (M. I. Technology, Éd.) Massachusetts: MIT Press.

Scotchmer, S., & Gallini, N. (2002). Intellectual Property : When Is It the Best Incentive System? *Innovation Policy and the Economy*, 2. Récupéré sur <http://www.nber.org/chapters/c10785>

Varian, H. R. (2016). *Introduction à la microéconomie* (Vol. 8). Louvain-la-Neuve: De Boeck supérieur s.a.

World Bank. (2020). *Global Economic Prospects*. Washington, DC. doi:10.1596/978-1-4648-1553-9



Lexique

Kremer et Snyder (2015)

$j = v$  : Correspond au vaccin

$j = t$  : Correspond au traitement

$E_j$  : Entrée sur le marché avec un produit  $j$

$k_j$  : montant fixe de R&D pour développer un produit  $j$

$p_j$  : prix pour un produit  $j$

$Q_j(p_j)$  : Quantité de produit  $j$  pour un prix  $j$

$c_j$  : coûts marginaux pour un produit  $j$

$\mu_X$  : Risque d'être malade en absence de vaccin

$\Phi_X$  : Proportion de consommateurs avec un risque au moins aussi grand que la variable aléatoire  $X$

$\rho_X^*$  : Ratio des surplus  $\frac{PS_v^*}{PS_t^*} = \frac{REC_X}{\mu_X}$

$PS_j^*$  : Surplus du producteur pour un produit  $j$  à l'équilibre \*

$TS$  : Surplus total

\* : situation d'équilibre

\*\* : situation du first-best (la pire valeur)

$\Pi_j$  : Profits pour un produit  $j$

$X$  : variable aléatoire, nombre de malades

Zipf :

STRZ : Zipf tronqué symétriquement :  $\Phi_X(x, \mu_X) = \min \left\{ \frac{\mu_X \rho_X(\mu_X)}{x}, 1 \right\}$

Nuscheler et Kessing (2003)

$\theta^e$  = part attendue d'individus qui sont vaccinés = le taux d'immunisation

$1 - \theta^e$  = la part attendue d'individus susceptibles de ne pas être vaccinés

$p = p(\theta^e, a)$  : la volonté de payer qui est dépendante de ses revenus  $a$  et du taux d'immunisation  $\theta^e$

$z_\theta$  = l'importance de l'effet d'externalité

$z_a$  = mesure l'effet de revenu

$\Delta = a_H - a_L$

$p_m$  = prix quelconque fixé pour un vaccin

$\bar{\theta}$  = le consommateur critique

$s$  = paiement d'un subside à un monopoleur où  $s > 0$

**Modélisation personnelle**

$\theta_n$  : Volonté de payer d'un individu  $n$

$x_n$  : Le risque de tomber malade pour un individu  $n$ ,  $x_n \in X$

$h_n$  : Le préjudice de la maladie pour un individu  $n$ ,  $h_n \in H$

$y_n$  : Les revenus pour un individu  $n$ ,  $y_n \in Y$

$N$  : population totale

$p_v$  : prix du vaccin

$T(S_v)$  : Taxe pour financer une subvention d'un vaccin

$\theta_{\tau n}$  : La volonté de payer selon la temporalité  $\tau \in \{0,1\}$  pour un groupe  $n$

$\theta'_v$  : La volonté de payer lorsqu'il y a eu prélèvement d'une taxe