

**Entre les besoins de soins et leurs demandes dans le contexte de Covid-19 : une étude  
par une analyse prédictive de la propagation de la pandémie**

**Between healthcare needs and their demands in the context of Covid-19: a study by a  
predictive analysis of the spread of the pandemic**

HAMIMES Ahmed

Université de Constantine 3, Algérie

[ahmedhamimes@yahoo.com](mailto:ahmedhamimes@yahoo.com)

BENAMIROUCHE Rachid

ENSEA, Algérie

[rbena2002@hotmail.com](mailto:rbena2002@hotmail.com)

Date de soumission : 31/05/2020

Date d'acceptance : 04/09/2020

Date de publication : 30/09/2020

**Résumé**

Le 11 mars 2020, l'épidémie de Covid-19 devient une pandémie selon l'OMS. Dans un contexte scientifique on utilise le modèle SIR qui représente un des modèles de propagation telle que ce modèle est adéquat avec l'analyse du Covid-19, dans les objectifs on trouve l'estimation de nombre maximale des citoyens infectés par ce virus, le nombre des citoyens qui ne sont pas malades mais susceptibles de le devenir et le pic prédictif par jour, ce modèle devenue indispensable dans des études d'économie de santé à cause ces importances informations. On suit cette étude de propagation par une étude de prévision par la méthode de lissage exponentiel double dans l'objectif est l'estimation des besoins nécessaires en matière de réanimation au niveau national. Cette dernière va accomplir l'étude de propagation.

- **Mots-clés** : économie de santé, coronavirus « SARS-CoV-2 », le modèle SIR, une pandémie.
- **JEL classification code** : I15, C6, E41, E47, E52.

**Abstract**

On March 11, 2020, the Covid-19 epidemic became a pandemic according to the WHO. In a scientific context, the SIR model is useful, which represents one of the propagation models such that this model is adequate with the analysis of Covid-19, in the objectives we find the estimate of maximum number of citizens infected with this virus, the number of citizens who are not sick but likely to become ill and the predictive peak per day, this model has become essential in studies of health economics because of this important information. This propagation study is followed by a forecasting study using the double exponential smoothing method with the objective of estimating the necessary resuscitation needs at the national level. The latter will complete the propagation study.

- **Keywords**: health economics, "SARS-CoV-2" coronavirus, the SIR model, a pandemic.
- **Codes de classification Jel** : I15, C6, E41, E47, E52.

---

Auteur correspondant : Ahmed HAMIMES . Email : [ahmedhamimes@yahoo.com](mailto:ahmedhamimes@yahoo.com)

## I. Introduction

La nouvelle dénomination du nCoV-2019 est dorénavant SARS-CoV-2 (pour Severe Acute Respiratory Syndrome CoronaVirus 2) telle qu'adoptée récemment par l'ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses). Les principaux symptômes de Sars-CoV-2 comprennent la fièvre, des troubles respiratoires tels que la toux, les éternuements ou l'essoufflement et la fatigue générale. Les symptômes d'une pneumonie potentiellement mortelle peuvent s'aggraver. Il y a plusieurs années, les virus ont décimé des populations entières. Nous avons pu prédire l'évolution de ces virus à court et long terme pendant environ un siècle avec cette précision. Ce qui affecte, en particulier, l'idée du nombre de personnes à vacciner pour lutter contre le virus. Pour établir un modèle de propagation, plusieurs considérations doivent être prises en compte, telles que le taux d'infection, le nombre de naissances.

La ville de Londres a été en proie à une épidémie de variole au 18<sup>ème</sup> siècle. La variolisation est une solution controversée : une personne est mise en contact avec l'échantillon de pustule d'un patient. La variole ne pouvant frapper une personne que deux fois, cette pratique la détruit ou lui confère une immunité à vie. En 1760, Daniel Bernoulli a développé le tout premier modèle épidémiologique pour déterminer l'effet de la variolisation sur l'espérance de vie des humains. En 1911, Sir Ronald Ross, considéré comme l'un des pères fondateurs de l'épidémiologie mathématique, a présenté le premier modèle de transmission du paludisme. Le modèle SIR a été proposé pour la première fois en 1927 par Kermack et McKendrick à Londres et à Cambridge pour décrire la nature de l'épidémie de peste en 1905-1906 à Bombay a posteriori. Ces dernières années ont vu une forte augmentation de la représentation des modèles mathématiques en épidémiologie, de spécialiste revues en médecine, biologie et mathématiques aux revues à impact fort (Ferguson et al (2006)), ce qui démontre l'importance de l'interdisciplinarité.

Dans cette article on utilise les modèles de propagation, en particulier le modèle SIR pour estimer le nombre maximale des citoyens infectés par ce virus, le nombre des citoyens qui ne sont pas malades mais susceptibles de le devenir et le pic prédictif par jour, ce modèle devenue indispensable dans des études d'économie de santé à cause ces importances informations. On suit cette étude de propagation par une étude de prévision par la méthode de lissage exponentiel double (à cause la présence de la tendance) dans l'objectif est l'estimation des besoins nécessaires en matière de réanimation au niveau national. Cette dernière va accomplir l'étude de propagation.

## II. Etude de propagation

### II .1. Le modèle SIR

Notre projet s'appuie essentiellement sur le modèle SIR, avec :

**S** : « susceptibles » les individus qui ne sont pas malades mais susceptibles de le devenir.

**I** : « Infectieux » les individus malades et capables de transmettre l'infection.

**R** : « retirés » les individus qui ont contracté la maladie et qui ne peuvent plus la transmettre (immunisés de façon permanente, isolés, morts). Ce groupe est approprié à certaines maladies.

**E** : « exposés » les individus exposés à la maladie.

Généralement, la taille totale de la population est considérée comme constante, c'est-à-dire  $N = S + I + R$ .

où  $\beta$  est le paramètre qui contrôle la transition entre S et I c.à.d. le taux de contact ou bien le taux d'infection et  $\gamma$  qui contrôle la transition entre I et R est le taux de guérison ou bien le taux de recouvrement.

Le système d'équation différentielle est donné par

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta SI \\ \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I \end{cases}$$

Dans ce système d'équation le rôle crucial joué par le paramètre  $R_0$ , décrivant le nombre moyen de nouvelles infections dues à un individu malade. C'est le taux de reproduction et à travers lui il est possible de calculé le paramètre  $p$  qui représente le pourcentage de personnes à immuniser pour stopper l'épidémie et  $p > 1 - (1/R_0)$  pour faire baisser le nombre de personnes susceptibles d'être infectées. Il existe d'autres seuils couramment utilisées en épidémiologie comme  $\sigma$  et  $R$ , mais le taux de reproduction le plus important est le taux de reproduction de base (Heffernan et al (2005) et Hethcote (2000, 2008)) noté  $R_0^1$ .

Si  $R_0 < 1$  l'épidémie tendra à s'éteindre. La durée de cette opération dépend généralement de la taille du paramètre. Si  $R_0 > 1$  l'épidémie pourra persister voire s'étendre à la population entière. En règle générale, plus la valeur de  $R_0$  est élevée, plus l'épidémie ne sera grave et peut-être répandue (van den Driessche and Watmough (2002)).

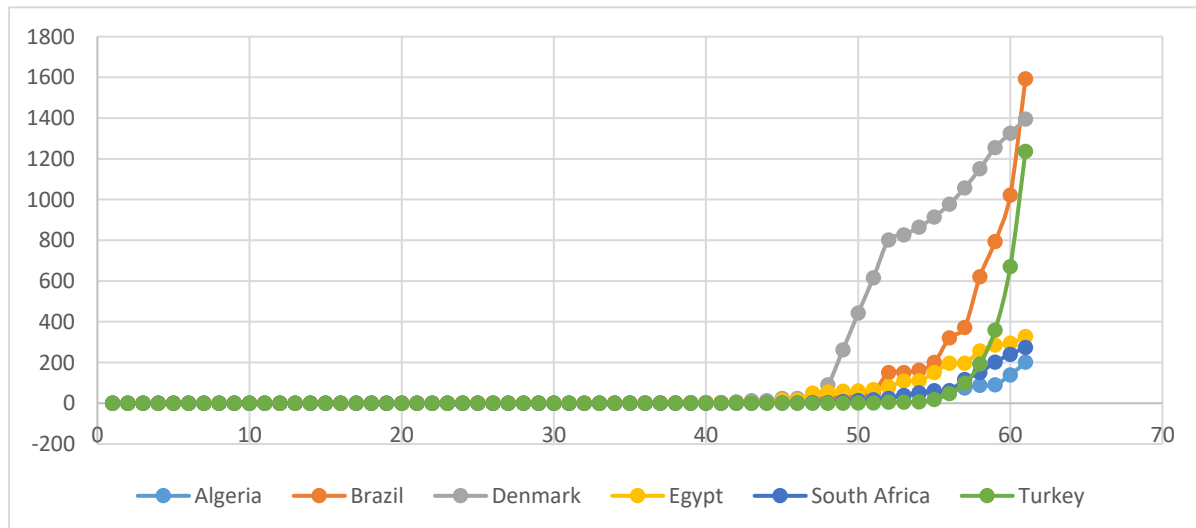
Dans ce modèle SIR, quand un individu infecté nouvellement introduit peut s'attendre à infecter d'autres personnes au taux  $\beta$  pendant la période infectieuse attendue  $1 / \gamma$ . On peut donc calculer le taux de reproduction par :

$$R_0 = \beta / \gamma$$

**II .2. Données**

Dans un contexte scientifique on essaie d'évaluer le Covid19 en Algérie via l'intégration des différentes expériences de certain pays qui souffre aussi de cette pandémie et similaire dans le temps de déclanchement (la première observation infectée) en prend les pays suivants : Brazil, Danemark Egypte, Afrique du sud et la Turkey. La figure suivante donne l'évolution des cas malades dans les pays concernés jusqu'à le 3/22/20.

**Figure (1) les cas confirmés en Algérie et dans les autres pays.**



La source : réalisée par les auteurs.

Il est clair d'après la figure (1) que l'évolution de cette pandémie est moins rapide par rapports les autres pays de comparaison. En revanche, la tendance de la pandémie est n'est pas statique

<sup>1</sup> Parfois définit comme le nombre moyen d'infections qui surviennent lorsqu'un infectieux est introduit dans une population complètement sensible.

ce qui nécessite le recoure à la modélisation statistique de la propagation de cette pandémie. En effet, le modèle le plus adéquat dans cette situation d'analyse est le modèle SIR. Dans la deuxième partie de ce travail on va appliquer ce type des modèles pour étudier la dynamique et le future de cette pandémie.

### II .3. Cas de l'Algérie

Figure (2) : À gauche, les cas confirmés en Algérie et à droite les mêmes, mais avec une échelle logarithmique.

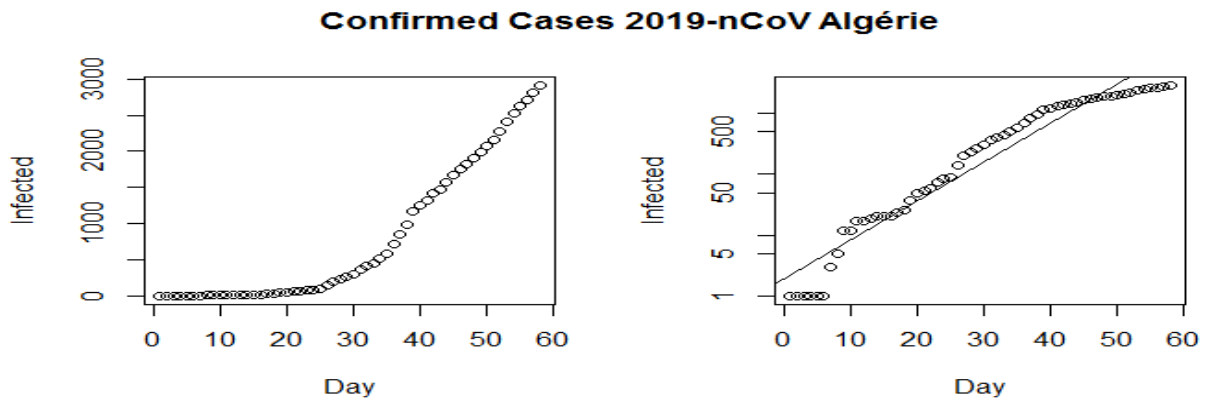
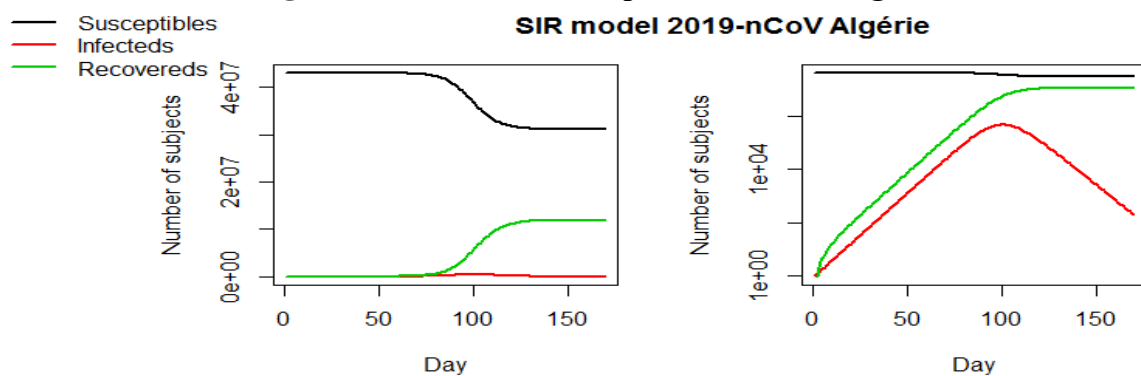


Figure (3) : le modèle SIR pour le cas de l'Algérie



D'après la figure (2) on construit le tableau suivant<sup>2</sup> :

Tableau (1) : statistiques sur le modèle SIR de l'Algérie

L'état	$R_0$	$P$	Max(d) : maximum de décès	Max(I) : maximum des infectés	HR <sup>3</sup> « Height of Pandemic »	$\beta$	$\gamma$
Algérie	1.17	0.145	9666.331	483316.5	101	1	0.85

<sup>2</sup> Voir l'annexe pour le code sur le programme R.

<sup>3</sup>L'évolution de l'épidémie de Covid-19 en Chine laisse penser que la durée de l'épidémie est plus de 24 semaines et que l'échelle de l'étude t=170 jours.

La source : réalisée par les auteurs.

La Figure (2) montre une tendance exponentielle dans le nombre des cas de Covid 19, cette représentation n'est pas étrange lorsque on parle d'une pandémie. Dans la figure (3) le point maximal de la pandémie en Algérie et lorsque toutes choses égales par ailleurs et après plus de 3 mois, avec plus de 483316 infectés et plus de 9666 de morts. Le paramètre  $p$  représente les personnes à immuniser qui égale à presque 14.5 % de la population totale.

La pandémie de Covid-19 en Algérie se propage à partir du 25 février 2020, lorsqu'un ressortissant italien est testé positif pour le SARS-CoV-2, puis à partir du 1er mars un foyer de contagion se forme dans la wilaya de Blida, seize membres d'une même famille ont été contaminés par le coronavirus lors d'une fête de mariage à la suite de contacts avec des ressortissants algériens en France. La wilaya de Blida devient l'épicentre de l'épidémie du Coronavirus en Algérie, d'après le modèle SIR la date maximale de l'épidémie sera le 04-06-2020. Dans la troisième partie on va faire une prévision par le lissage exponentiel double à cause la présence d la tendance dans les données.

### III. Etude de prévision

Le lissage exponentiel est une approche analytique par laquelle les données historiques sont lissées et prédites. Comme dans le processus de moyenne mobile, à partir de la valeur initiale, chaque donnée est lissée successivement. Cependant, alors que la moyenne mobile attribue le même poids à toutes les observations dans une période donnée, le lissage exponentiel donne aux observations passées un poids qui diminue exponentiellement avec leur âge. Le lissage exponentiel est l'une des techniques utilisées pour le fenêtrage du traitement du signal. En éliminant les hautes fréquences du signal initial, il sert de filtre passe-bas.

Cette méthode fut adoptée par les spécialistes de traitement du signal dans les années 1940. L'expression du lissage exponentiel simple est donnée par :

$$S_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)S_{t-1}$$

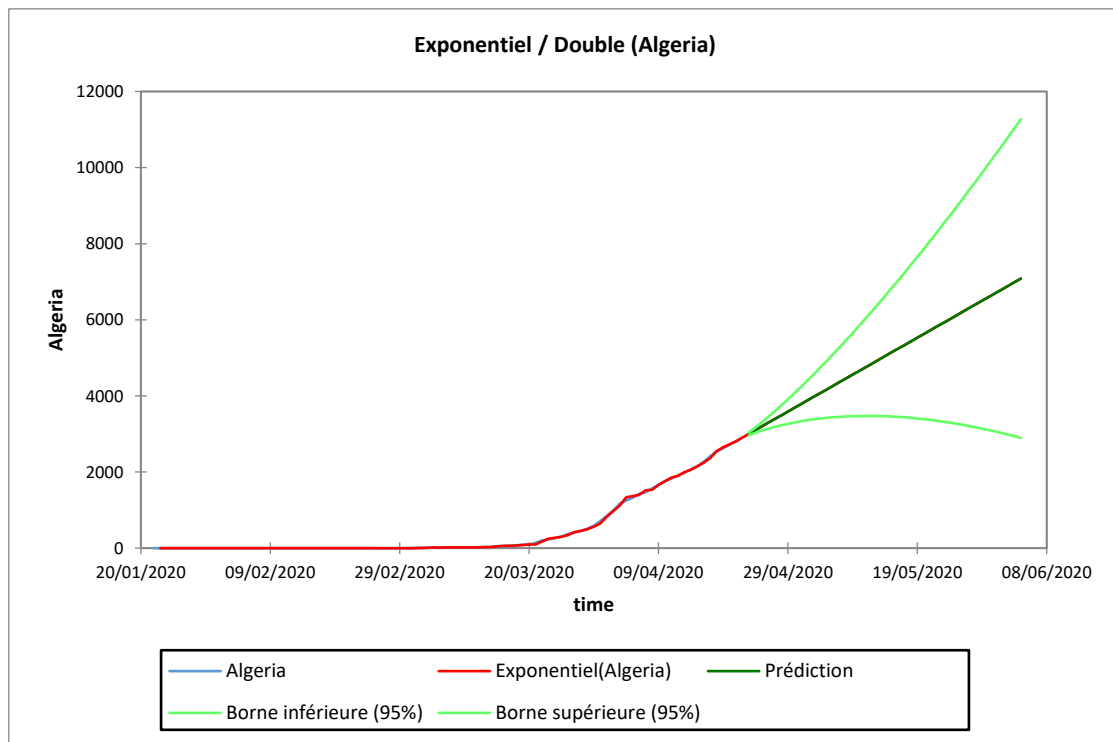
On applique cette méthode (le lissage exponentiel simple) lorsque nous disposons au moins deux valeurs brutes. Et  $y_t$  représente la valeur actuelle,  $S_{t-1}$  est la valeur lissée précédente et  $\alpha \in [0; 1]$  est le facteur de lissage. La prévision de l'instant  $t + 1$  est donc une somme pondérée des valeurs passées de la série,

$$S_t = \sum_{i=0}^{t-1} \alpha(1 - \alpha)^i y_{t-i}$$

Les poids décroissant exponentiellement dans le passé. La mémoire de la prévision dépend de  $\alpha$ . Plus  $\alpha$  est proche de 1 plus les observations récentes influent sur la prévision, à l'inverse un  $\alpha$  proche de 0 conduit à une prévision très stable prenant en compte un passé lointain.

Le lissage exponentiel simple ne fonctionne pas bien lorsqu'il existe une tendance ou une tendance dans les données brutes. Les valeurs lissées montrent une sous-estimation ou une surestimation systémique selon la direction de la tendance. Les méthodes de lissage exponentiel double visent à lisser le niveau de données (c'est-à-dire à supprimer les variations aléatoires) et à lisser la tendance, c'est-à-dire à réduire l'effet de la tendance sur les valeurs lisses. Il existe deux méthodes de lissage exponentiel double, la méthode Holt et la méthode de Brown. La figure suivante donne l'estimation par lissage exponentiel double à cause la présence d'une tendance dans les données, on trouve

**Figure (4) : le lissage exponentiel double des cas de Covid 19 en Algérie entre 22-01-2020 et 22-04-2020 et la prévision dans la période 23-04-2020 et 04-06-2020<sup>1</sup>.**



La source : réalisée par les auteurs.

La figure (4) et dans la projection de 43 jours lorsque la première observation de Covid 19 en Algérie est en 25/02/2020 c.à.d. il reste 43 jour pour le pic de la pandémie d’après le modèle SIR. Dans cette projection, la borne supérieure (95%) pour cette pandémie telle que la date de **04/06/2020** est le pic prédictif de cette pandémie avec **11269** cas selon un ajustement par le lissage exponentiel double, et la Borne inférieure est **2896** et **7083** représente le nombre moyens des infectés à partir de l’ajustement. Cette projection donne d’une manière indirecte trois scénarios de cette pandémie dans notre pays :

**Scénario1** : est la borne inférieure (95%) pour cette pandémie telle que la date de **04/06/2020** est le pic prédictif avec **2896** cas de cette pandémie selon un ajustement par le lissage exponentiel double.

**Scénario2** : est la valeur moyenne de lissage exponentielle double, dans cette partie des scénarios en prend la date de **04/06/2020** comme un pic prédictif de cette pandémie avec **7083** cas de Covid 19.

**Scénario3** : est la borne supérieure (95%) pour cette pandémie telle que la date de **04/06/2020** est le pic prédictif de cette pandémie avec **11269** cas selon un ajustement par le lissage exponentiel double.

**Tableau (2) : la prévision des cas de Covid19 en Algérie entre 24-04-2020 et 07-05-2020.**

date	Exponentiel (Algérie)	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
<b>23-04-2020</b>	3006.867	2969.574	3044.160

<sup>1</sup> Dans la projection, on a utilisé le programme XLSTAT 2016.

24-04-2020	3103.924	3032.485	3175.363
25-04-2020	3200.980	3089.316	3312.645
26-04-2020	3298.037	3140.792	3455.282
27-04-2020	3395.093	3187.455	3602.731
28-04-2020	3492.150	3229.717	3754.582
29-04-2020	3589.206	3267.902	3910.510
30-04-2020	3686.263	3302.271	4070.254
01-05-2020	3783.319	3333.043	4233.595
02-05-2020	3880.376	3360.401	4400.350
03-05-2020	3977.432	3384.505	4570.359
04-05-2020	4074.489	3405.493	4743.484
05-05-2020	4171.545	3423.488	4919.602
06-05-2020	4268.601	3438.598	5098.605
07-05-2020	4365.658	3450.922	5280.394

Tableau (3) : la prévision des cas de Covid19 en Algérie entre 08-05-2020 et 22-05-2020.

date	Exponentiel (Algérie)	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
08-05-2020	4462.714	3460.548	5464.880
09-05-2020	4559.771	3467.558	5651.984
10-05-2020	4656.827	3472.024	5841.631
11-05-2020	4753.884	3474.014	6033.753
12-05-2020	4850.940	3473.592	6228.288
13-05-2020	4947.997	3470.816	6425.177
14-05-2020	5045.053	3465.740	6624.367
15-05-2020	5142.110	3458.414	6825.805
16-05-2020	5239.166	3448.886	7029.446
17-05-2020	5336.223	3437.201	7235.244
18-05-2020	5433.279	3423.401	7443.158
19-05-2020	5530.336	3407.524	7653.147
20-05-2020	5627.392	3389.609	7865.175
21-05-2020	5724.449	3369.691	8079.206
22-05-2020	5821.505	3347.804	8295.206

Tableau (4) : la prévision des cas de Covid19 en Algérie entre 23-05-2020 et 04-06-2020.

date	Exponentiel (Algérie)	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
23-05-2020	5918.561	3323.980	8513.143
24-05-2020	6015.618	3298.249	8732.987
25-05-2020	6112.674	3270.641	8954.708

<b>26-05-2020</b>	6209.731	3241.183	9178.279
<b>27-05-2020</b>	6306.787	3209.902	9403.672
<b>28-05-2020</b>	6403.844	3176.824	9630.863
<b>29-05-2020</b>	6500.900	3141.973	9859.828
<b>30-05-2020</b>	6597.957	3105.372	10090.541
<b>31-05-2020</b>	6695.013	3067.045	10322.982
<b>01-06-2020</b>	6792.070	3027.012	10557.127
<b>02-06-2020</b>	6889.126	2985.296	10792.957
<b>03-06-2020</b>	6986.183	2941.915	11030.450
<b>04-06-2020</b>	7083.239	2896.890	11269.588

les sources : réalisées par les auteurs.

Cette étude donne un scénario plus plausible (scénario 2), et deux autres scénarios représentent le moins et le plus pire entre eux. Finalement le choix entre les scénarios n'est pas important comme la question sur les besoins de notre pays et ici le modèle SIR avec les trois ajustements par le lissage exponentiel double montre clairement ces besoins.

Dans cette étude on a appliqué la méthode de lissage dans un horizon déterminé par la méthode de modélisation par propagation SIR, cette méthode de lissage permet la construction des scénarios au niveau de cette pandémie. Le recourt à l'étude par scénario est crucial dans un phénomène hyper-quotidien comme celle de Covid 19 où le nombre des variables est grand pour une simple modélisation.

#### **IV. Etude des besoins sanitaires en Algérie via la propagation du coronavirus 2019**

##### **IV.1 Les possibilités offertes**

Le président algérien, Abdel Majid Taboun, a confirmé que son pays avait tous les moyens financiers pour faire face à la propagation de l'épidémie de Corona. Le président de la République a fait allusion à la possibilité de recourir aux capacités de l'armée nationale populaire pour faire face au déclenchement de l'épidémie de Corona, selon le journal algérien "Al-Shorouk". En ce qui concerne le plan et les mesures du gouvernement pour lutter contre l'épidémie de Corona, le président a reconnu certaines lacunes, notant que toutes les grandes puissances du monde se plaignent d'un manque de capacités, soulignant en disant : "Nous avons des médecins des meilleurs et des plus efficaces au monde et internationalement connus". Taboun a déclaré que son pays était prêt à dépenser un milliard de dollars pour faire face à l'épidémie. Il a également révélé la demande de l'Algérie pour l'assistance des institutions financières internationales sans intérêt. Le président algérien a confirmé que la réserve monétaire de l'Algérie atteint 60 milliards de dollars et que le stock alimentaire du pays est suffisant pour les 6 prochains mois. Il a souligné que le gouvernement algérien avait demandé à la Chine d'obtenir des masques, des gants et d'autres équipements, dont **100 millions** de masques, ainsi que **30 000** analyses pour détecter le virus, soulignant L'Algérie dispose de suffisamment de médicaments pour **200 000** Algériens s'ils sont infectés par l'épidémie, ajoutant que la Chine a donné la priorité à l'Algérie et que les premières quantités de fournitures médicales arriveront bientôt. Le représentant de l'Organisation mondiale de la Santé en Algérie, Nguessan Bla François, a révélé que «l'Algérie a les capacités et les spécialistes nécessaires pour faire face au virus de la couronne» Ngisan a déclaré, lors d'une conférence de presse, que "le virus Corona est devenu un problème mondial et pas seulement algérien". Il a souligné que "les efforts entre les pays et l'échange d'informations devraient être unifiés et intensifiés afin de faciliter les tâches de lutte contre ce virus". Il a expliqué : « L'Algérie a pris des mesures préventives avant les instructions données par l'Organisation mondiale de la santé pour lutter contre la propagation du nouveau virus Corona. ». L'Algérie disposait d'un seul laboratoire de dépistage au début de l'épidémie, l'Institut Pasteur d'Algérie, pouvant effectuer jusqu'à 130 tests par jour. Le 23 mars, un nouveau laboratoire de dépistage du Covid-19 relevant de l'Institut



Pasteur d'Oran est ouvert afin de réduire la pression exercée sur celui d'Alger, le nouveau centre rendra les résultats des analyses en 3 ou 4 heures. Une troisième annexe de l'Institut Pasteur est entrée en service à Constantine le 25 mars, suivi d'une autre annexe à Ouargla le 29 mars. Dans l'armée, le général de division bin Jalloul a déclaré dans une interview au magazine armée dans son numéro du mois de mars, que les services de santé militaires sont concernés par toutes les mesures prises au niveau national pour lutter contre le virus Corona, ajoutant que "les premières mesures ont été prises au niveau des hôpitaux militaires, à commencer par le report de toutes les chirurgies non urgentes". De plus, "tous les hôpitaux ont été évacués et tous les patients dont l'état de santé permettait des soins externes ont été libérés".

#### **IV.2 Entre les besoins de soins et leurs demandes dans le contexte de Covid-19**

D'après le modèle SIR l'Algérie peut avoir 483316 cas infectés, et selon l'ajustement par la méthode de lissage exponentiel double le nombre des infectés après 101 jours de la pandémie en Algérie est 7083 cas est la valeur par rapport le 3<sup>ème</sup> scénario est 11269 cas. Dans les deux scénarios le nombre des cas infectés dans le pic de la pandémie est plus importants par rapport le nombre des infectés générale en terme d'interprétation, le nombre des cas infectés dans les deux scénarios est supérieurs de nombre des lits de réanimation disponible dans le territoire national, il est important donc d'utiliser les lits disponible pour les cas critique. Le taux de reproduction  $R_0 = 1.17$ , cette valeur est supérieure de 1 ce qui signifie que le virus reste en propagation, selon l'OMS il existe une transmission interhumaine du virus et, selon les estimations préliminaires, le taux de reproduction de base  $R_0$  se situe entre 1,4 et 2,5. En revanche le taux de reproduction en Algérie reste en diminution ce qui signifie qu'on est proche de point pic d'épidémie. La possibilité d'offrir un million de masque par jour à Sétif et dans d'autres usines permet à l'autorité de suivre l'évolution de la pandémie de un contrôle efficace. Le 1er mars, le gouvernement a empêché les fabricants locaux de masques faciaux d'exporter leurs produits dans la perspective potentielle d'une demande intérieure. Le 21 mars, dans un communiqué diffusé à la télévision publique, le directeur général de l'industrie pharmaceutique a déclaré que l'Algérie disposait d'un stock de 45 millions d'unités de masques de protection, dont une partie avait été épuisée au début de la pandémie de Corona dans le pays, et a déclaré que le nombre atteindra 50 millions d'unités en important 15 millions d'unités et la production locale de 11 millions d'unités. Face à cette situation, de nombreuses entreprises publiques et privées ont doublé leurs capacités de production de produits de désinfection pour répondre aux demandes des établissements de santé, des pharmacies et des citoyens. Avec l'augmentation du nombre de cas confirmés de Covid-19, un sentiment d'anxiété collective et de panique a régné parmi les citoyens, ce qui a entraîné une augmentation significative de la demande de masques, de gants et de gel hydro alcoolique, entraînant des pénuries au niveau de la pharmacie de ces produits.

Le 21 mars 2020, à l'hôpital Franz Fanon de Blida, la wilaya la plus touchée par l'épidémie en Algérie, le chef du service de psychiatrie pour adultes a déclaré que les personnels médicaux assistant le service de rééducation de cet hôpital avaient fait grève pendant sept heures pour protester contre l'absence de mesures de protection (gants, masques, antiseptiques et tabliers à usage unique). Le 22 mars, le président a ordonné que 100 millions de dollars soient alloués pour accélérer l'importation de tous les médicaments, kits de protection et tests adéquats pour les médecins, les infirmières et les professionnels de la santé afin de faire face à la propagation du coronavirus en Algérie. La première commande de la méthode de protection contre les virus Corona est arrivée le 5 avril 2020 en provenance de Shanghai, en Chine, à l'aéroport international Houari Boumediene (Alger), représentant 8,5 millions de muselières à trois couches et 100 000 muselières désignées FFF2 (FFP2). Vendredi 10 avril 2020, je suis arrivé de Pékin à l'aéroport international Houari Boumediene de la capitale en provenance de Pékin, le deuxième ordre du matériel médical. L'envoi, estimé à 30 tonnes, comprend des équipements de protection (500 000 masques FFP2) et des appareils de diagnostic du virus Corona. Quarante

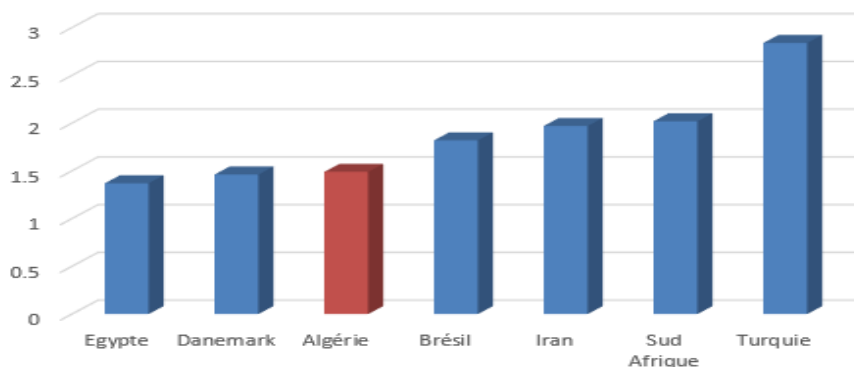
mille personnes et respirateurs artificiels (100 appareils) à bord de deux forces aériennes de l'Armée populaire nationale en 38 heures.

**V. Résultats et discussions**

La pandémie de Covid-19 en Algérie se propage à partir du 25 février 2020, lorsqu'un ressortissant italien est testé pour le SRAS-CoV-2. Le 11 mars 2020, l'épidémie de Covid-19 devient une pandémie selon l'OMS. Un plan de crise en cas de pandémie est nécessaire pour diminuer les risques liés à l'apparition d'une pandémie, et visant à assurer, autant que possible, les besoins vitaux de tous. Dans les résultats de ce travail, on trouve :

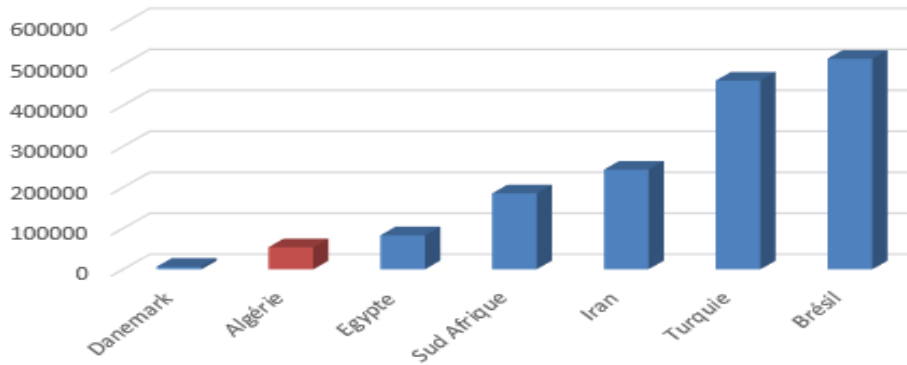
- Dans un contexte scientifique on utilise le modèle SIR qui représente un des modèles de propagation l'Algérie peut avoir 483316 cas infectés, d'après l'ajustement par la méthode de lissage exponentiel double le nombre des infectés après 101 jours de la pandémie en Algérie est 7083 cas est la valeur par rapport le 3<sup>ème</sup> scénario est 11269 cas, le nombre des cas infectés dans les deux scénarios est supérieurs de nombre des lits de réanimation disponible dans le territoire national, il est important donc d'utiliser les lits disponibles pour les cas critiques.
- Le taux de reproduction  $R_0 = 1.17$ , cette valeur reste en diminution ce qui signifie qu'on est proche de point pic d'épidémie. Aussi, l'Algérie disposait d'un stock de 45 millions d'unités de masques de protection, et a déclaré que le nombre atteindra 50 millions d'unités en important 15 millions d'unités et la production locale de 11 millions d'unités. La possibilité d'offrir un million de masque par jour dans une wilaya et dans d'autres usines permet à l'autorité de suivre l'évolution de la pandémie de un contrôle efficace.
- Le 22 mars, le président a ordonné que 100 millions de dollars soient alloués pour accélérer l'importation de tous les médicaments, kits de protection et tests adéquats pour les médecins, les infirmières et les professionnels de la santé afin de faire face à la propagation du coronavirus en Algérie. Cette somme est importante dans la lutte contre cette pandémie en termes d'offres possibles pour les médecins et les citoyens.
- Pour accélérer le processus de la pandémie et dépasser le pic le plus tôt possible, on doit choisir une politique sanitaire et une expérience bien sélectionnée. D'après le modèle SIR qui nous donne une projection sur les paramètres importants de l'épidémie de Covid 19 l'Algérie est jusqu'au 22/03/2020 n'a pas vraiment un taux de reproduction défavorable dans une comparaison avec d'autres pays (voir figure 5), l'Algérie semble proche de sous niveau moyen, donc il est nécessaire de suivre le modèle Chinois avec une collaboration entre les deux pays pour réduire le taux de reproduction comme elle fait la Chine qui montre le niveau de reproduction le plus élevé.

**Figure (5) : le taux de reproduction  $R_0$ .**



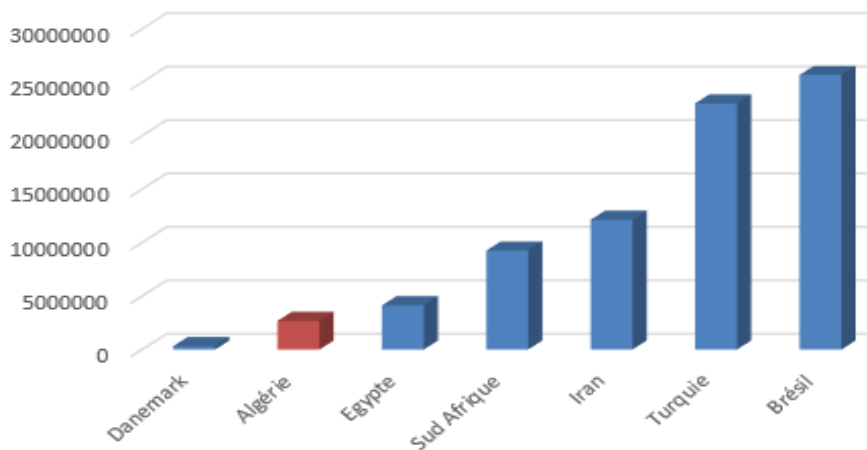
La source : réalisée par les auteurs.

Figure (6) : le nombre des décès maximal.



La source : réalisée par les auteurs.

Figure (7) : le nombre des cas de Covid-19 maximal.



La source : réalisée par les auteurs.

Dans les figures (6) et (7), il est clair que l'Algérie est dans une situation préférable par rapport d'autres pays comme le Brasil ou la Turquie. Une information assez importante dans les deux dernières figures ; une politique de confinement bien organisée elle permet l'autorité suprême à dépasser cette crise mondiale.

- Selon le dernier point, une politique de confinement bien organisée comme la Chine exige le port de masques. Entre les besoins et les exigences du nombre de masques exposés, le nombre disponible est tout à fait suffisant.

### Annexes

Le code de programme Rstudio utilisé .

```
> Infected <- c(1,1,1,1,1,1,1,3,5,12,12,
+             17,17,19,20,20,20,24,26,
+             37,48,54,60,74,87,90,139,
+             201,230,264,302,367,409,454,
+             511,584,716,847,986,1171,1251,
+             1320,1423,1468,1572,1666,1761,
+             1825,1914,1983,2070,2160,2268,2418,
+             2534,2626,2718,2811,2910)
> Day <- 1:(length(Infected))
> N <- 43000000
```

```

> old <- par(mfrow = c(1, 2))
> plot(Day, Infected)
> plot(Day, Infected, log = "y")
> abline(lm(log10(Infected) ~ Day))
> title("Confirmed Cases 2019-nCoV Algérie", outer = TRUE, line = -2)
> SIR <- function(time, state, parameters) {
+   par <- as.list(c(state, parameters))
+   with(par, {
+     dS <- -beta/N * I * S
+     dI <- beta/N * I * S - gamma * I
+     dR <- gamma * I
+     list(c(dS, dI, dR))
+   })
+ }
> library(deSolve)
> init <- c(S = N-Infected[1], I = Infected[1], R = 0)
> RSS <- function(parameters) + names(parameters) <- c("beta", "gamma")
+   out <- ode(y = init, times = Day, func = SIR, parms = parameters)
+   fit <- out[ , 3]
+   sum((Infected - fit)^2)
+ }
> Opt <- optim(c(0.5, 0.5), RSS, method = "L-BFGS-B", lower = c(0, 0), upper
= c(1, 1)) # optimize with some sensible conditions
> Opt$message
[1] "CONVERGENCE: REL_REDUCTION_OF_F <= FACTR*EPSMCH"
> Opt_par <- setNames(Opt$par, c("beta", "gamma"))
> Opt_par
      beta      gamma
1.0000000 0.8537816
> t <- 1:170
> fit <- data.frame(ode(y = init, times = t, func = SIR, parms = Opt_par))
> col <- 1:3
> matplot(fit$time, fit[ , 2:4], type = "l", xlab = "Day", ylab = "Number of
subjects", lwd = 2, lty = 1, col = col)
> matplot(fit$time, fit[ , 2:4], type = "l", xlab = "Day", ylab = "Number of
subjects", lwd = 2, lty = 1, col = col, log = "y")
Warning message:
In xy.coords(x, y, xlabel, ylabel, log = log):
  1 y value <= 0 omitted from logarithmic plot
> legend("bottomright", c("Susceptibles", "Infecteds", "Recoveredds"), lty =
1, lwd = 2, col = col, inset = 0.05)
> title("SIR model 2019-nCoV Algérie ", outer = TRUE, line = -2)
> par(old)
> R0 <- setNames(Opt_par["beta"] / Opt_par["gamma"], "R0")
> R0
      R0
1.17126
> fit[fit$I == max(fit$I), "I", drop = FALSE] # height of pandemic
      I
101 483316.5
> max(fit$I) * 0.02 # max deaths with supposed 2% fatality rate
[1] 9666.331

```

**Références**

1. Bernoulli, D. (1760). Essai d’une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole et des avantages de l’inoculum pour la prévenir. *Mém Math Phys Acad Roy Sci Paris* ; 1–45.
2. Hethcote, H. W. (2000). The mathematics of infectious diseases. *SIAM Rev*; 42(4): 599–653.

3. Hethcote, H. W. (2008). The basic epidemiology models: models, expressions for  $R_0$ , parameter estimation, and applications, in *Mathematical Understanding of Infectious Disease Dynamics*, Lecture Notes Series Institute for Mathematical Sciences, National University of Singapore ; 1–61.
4. Heffernan, J. M., Smith, R. J., & Wahl, L. M. (2005). Perspectives on the basic reproductive ratio. *Journal of the Royal Society Interface*, 2(4), 281-293.
5. Kermack, WO, McKendrick, AG. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proc R Soc Lond*; A115 : 700–21
6. Ferguson, N. M., Cummings, D. A., Fraser, C., Cajka, J. C., Cooley, P. C., & Burke, D. S. (2006). Strategies for mitigating an influenza pandemic. *Nature*, 442(7101), 448-452.
7. van den Driessche, P. and Watmough, J. (2002). Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission. *Math. Biosci*; 180: 29–48.
8. Ross, R .(1911). *The Prevention of Malaria*. Murray, London.