

Évolution prévisionnelle de la pandémie du COVID-19 en République de Côte d'Ivoire : analyse statistique factuelle

Mamadou Guy-Richard KONE^{1,2}, Sopi Thomas AFFI^{1,2}, Affoué Lucie BEDE^{1,3},
Amon Benjamine ASSOMA^{1,3}, Bibata KONATE^{1,2} et Nahossé ZIAO^{1,2*}

¹ *Groupe Ivoirien de Recherches en Modélisation des Maladies (GIR2M)*

² *Laboratoire de Thermodynamique et Physico-Chimie du Milieu (LTPCM), UFR-SFA,
Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

³ *Laboratoire de Constitution et Réaction de la Matière (LCRM), UFR-SSMT,
Université Félix Houphouët - Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, courriel : ziaonah.sfa@univ-na.ci

Résumé

Ce travail, réalisé dans le contexte de l'apparition de la pandémie mondiale à coronavirus Sars-Cov-2 ou Covid-19, est une contribution à la compréhension de l'évolution temporelle de cette maladie en République de Côte d'Ivoire. Dans ce travail, il s'agit d'une étude statistique basée non pas sur le nombre total de malades de Covid-19, mais plutôt sur le nombre correspondant au cumul des malades actifs (CMA). Cette étude s'étend du 11 mars 2020, date d'apparition du premier cas de covid-19 en Côte d'Ivoire, au 18 avril 2020, soit sur une durée de 38 jours. Cette période a été scindée en deux : la période allant du 11 mars 2020 au 18 avril 2020 a servi de période test pour établir le modèle et celle allant du 18 au 26 avril 2020 a servi à valider le modèle obtenu. Les résultats montrent que le CMA a une évolution temporelle quasi-affine et reste donc maîtrisable à moyenne échéance. Ce travail est un appel au Gouvernement pour qu'il prenne des mesures pour éviter une évolution exponentielle non maîtrisable de la maladie dans notre pays.

Mots-clés : *analyse statistique, Covid-19, pandémie.*

Abstract

Forecast evolution of the COVID-19 pandemic in the Republic of Côte d'Ivoire : factual statistical analysis

This work, carried out in the context of the appearance of the global coronavirus pandemic Sars-Cov-2 or Covid-19, is a contribution to the understanding of the temporal evolution of this disease in the Republic of Côte d'Ivoire. In this work, we are conducting a statistical study based not on the total number of patients with Covid-19, but rather on the number corresponding to the cumulative number of active patients (CMA). This study extends from March 11, 2020, the date of the appearance of the first case of covid-19 in Côte d'Ivoire, to April 18, 2020, a period of 38 days. This period was split into two: the period from March 11, 2020 to April 18, 2020 was used as a test period to establish the model and that from April 18 to 26, 2020 was used to validate the model obtained. The results show that the CMA has an almost refined temporal evolution and

therefore remains controllable in the medium term. This work is a call to the Government to take measures to avoid an uncontrollable exponential progression of the disease in our country.

Keywords : *statistical analysis, Covid-19, pandemic.*

1. Introduction

La Côte d'Ivoire, à l'instar de la quasi-totalité des autres pays du monde, est confrontée à l'épidémie à coronavirus Sars-Cov-2 ou Covid-19 [1], avec l'apparition d'un 1^{er} cas d'infection en date du 11 mars 2020. A ce jour 26 Avril 2020, les données de notre pays font état de 39 nouvelles infections, portant le nombre total de cas confirmés de covid-19 à 1150, 19 nouvelles guérisons portant le nombre total de guéris à 468 et un total de 14 décès [2]. L'objectif de cette étude est de faire l'état des lieux à travers une analyse statistique factuelle, en vue de prévoir au mieux l'évolution temporelle de la maladie dans notre pays et donc de faire des recommandations à l'endroit des autorités en charge de la lutte contre la pandémie.

2. Matériel et méthodes

Les données sur l'évolution de la maladie sont communiquées quotidiennement par le Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique [2]. L'étude a consisté à dégager quotidiennement le Cumul des Malades Actifs (CMA) et à analyser la courbe temporelle obtenue à l'aide d'outils statistiques. Le CMA s'obtient en faisant la différence quotidienne entre d'une part le Cumul de Malades Confirmés (CMC) et d'autre part la somme du Cumul de Malades Guéris (CMG) et du Cumul de Malades Décédés (CMD). Soit $CMA = CMC - (CMG + CMD)$. Le Taux de Malades Confirmés (TMC), paramètre important pour cette analyse, a également été calculé. Le TMC s'obtient en exprimant, en pourcentage, le rapport du Nombre de Malades Confirmés (NMC) sur le Nombre de Tests de Dépistages (NTD) effectués quotidiennement. Soit $TMC(\%) = (NMC/NTD) \times 100$. Le traitement des données a été effectué à partir des tableurs *Excel* [3] et *XLSTAT* version 2014 [4].

3. Résultats et discussion

3-1. Statistiques globales, du 11 mars au 18 avril 2020

L'analyse des valeurs du **Tableau 1** montre que le nombre de décès, heureusement, peut être négligé. Ce nombre est resté nul du 11 mars 2020, date d'apparition du premier cas de maladie, au 29 mars 2020, date à laquelle un premier cas de décès a été enregistré. A la date du 18 avril 2020, il n'y avait que 8 décès sur un total de 801 malades confirmés, correspondant à 1,00 % de décès (1 décès pour 100 malades). Le nombre de décès n'est donc pas une donnée dont l'évolution statistique est probante. Du 11 mars 2020 au 18 avril 2020, le Cumul de Malades Guéris (CMG) est de 239 sur un Cumul de Malades Confirmés (CMC) de 801 correspondant à 29,8 % de personnes guéries (une personne guérie sur environ 3 malades). Ce ratio est significatif du point de vue statistique. A la date du 18 avril, il y a un Cumul de Malades Actifs (CMA) de 554 sur un total de 801 malades confirmés, correspondant à un pourcentage de 69,2 % de malades actifs. Ce ratio est également significatif du point de vue statistique.

Tableau 1 : Données globales du Covid-19 en République de Côte d'Ivoire, du 11 mars au 26 avril 2020

Date	NMC	CMC	NMG	CMG	NMD	CMD	BMA	CMA	NTD	TMC(%)
11 mars	1	1	0	0	0	0	0	1	123	0,8
12 mars	0	1	0	0	0	0	1	1	NC	NC
13 mars	0	1	0	0	0	0	0	1	NC	NC
14 mars	3	4	0	0	0	0	3	4	123	2,4
15 mars	0	4	0	0	0	0	0	4	NC	NC
16 mars	2	6	1	1	0	0	1	5	123	1,6
17 mars	0	6	0	1	0	0	0	5	NC	NC
18 mars	3	9	0	1	0	0	3	8	123	2,4
19 mars	0	9	0	1	0	0	0	8	NC	NC
20 mars	5	14	0	1	0	0	5	13	123	4,1
21 mars	3	17	0	1	0	0	3	16	123	2,4
22 mars	8	25	1	2	0	0	7	23	123	6,5
23 mars	0	25	1	3	0	0	-1	22	123	0
24 mars	48	73	0	3	0	0	48	70	123	39,0
25 mars	7	80	0	3	0	0	7	77	123	5,7
26 mars	16	96	0	3	0	0	16	93	123	13,0
27 mars	5	101	0	3	0	0	2	98	123	4,1
28 mars	39	140	0	3	0	0	39	137	123	31,7
29 mars	25	165	1	4	1	1	24	160	123	20,3
30 mars	3	168	2	6	0	1	1	161	123	2,4
31 mars	11	179	1	7	0	1	10	171	123	8,9
01 avril	11	190	2	9	0	1	9	180	166	6,6
02 avril	4	194	6	15	0	1	-2	178	081	4,9
03 avril	24	218	4	19	0	1	20	198	226	10,6
04 avril	27	245	6	25	0	1	21	219	140	19,3
05 avril	16	261	12	37	2	3	4	221	108	14,8
06 avril	62	323	4	41	0	3	58	279	138	44,9
07 avril	26	349	0	41	0	3	26	305	77	33,8
08 avril	35	384	7	48	0	3	28	333	125	28,0
09 avril	60	444	4	52	0	3	56	389	247	24,3
10 avril	36	480	2	54	0	3	34	423	192	18,8
11 avril	53	533	4	58	1	4	49	471	125	42,4
12 avril	41	574	27	85	1	5	14	484	293	14,0
13 avril	52	626	4	89	1	6	48	531	260	20,0
14 avril	12	638	25	114	0	6	-13	518	129	9,3
15 avril	16	654	32	146	0	6	-16	502	238	6,7
16 avril	34	688	47	193	0	6	-13	489	298	11,4
17 avril	54	742	27	220	0	6	27	516	296	18,2
18 avril	59	801	19	239	2	8	40	554	361	16,4
19 avril	46	847	21	260	1	9	25	578	399	11,5
20 avril	32	879	27	287	1	10	5	582	351	9,1
21 avril	37	916	16	303	3	13	21	600	270	13,7
22 avril	36	952	7	310	1	14	29	613	342	10,5
23 avril	52	1004	49	359	0	14	3	631	504	10,3
24 avril	73	1077	60	419	0	14	13	644	584	12,5
25 avril	34	1111	30	449	0	14	4	648	302	11,3
26 avril	39	1150	19	468	0	14	20	668	560	7,0

NMC : Nouveaux Malades Confirmés, CMC : Cumul Malades Confirmés ; NMG : Nouveaux Malades Guéris ; CMG : Cumul Malades Guéris ; NMD : Nouveaux Malades Décédés ; CMD : Cumul Malades Décédés ; BMA : Bilan (quotidien) Malades Actifs (BMA = NMC-NMG) ; CMA : Cumul Malades Actifs, NDE : Nombre de Tests de Dépistages ; ; NC : Non Connue ; TMC : Taux de Malades Confirmés.

3-2. Paramètre correspondant au Cumul de Malades Confirmés (CMA)

En traçant sur un même graphique, sur la période du 11 mars 2020 au 18 avril 2020, les courbes montrant l'évolution des Nombres de Malades Confirmés (NMC), des Nouveaux Malades Guéris (NMG) (*Figure 1*), il apparaît que ces deux courbes ne correspondent à des valeurs significatives qu'à partir du 20 mars 2020 et par la suite ne se rencontrent que quelque rares fois, mais surtout n'ont pas la même évolution. Malheureusement, le nombre de nouveaux malades confirmés est presque toujours au-dessus du nombre de malades guéris. Il y a des périodes au cours desquelles le bilan est très élevé en faveur du nombre de nouveaux malades, avec des pics élevés à plusieurs dates.

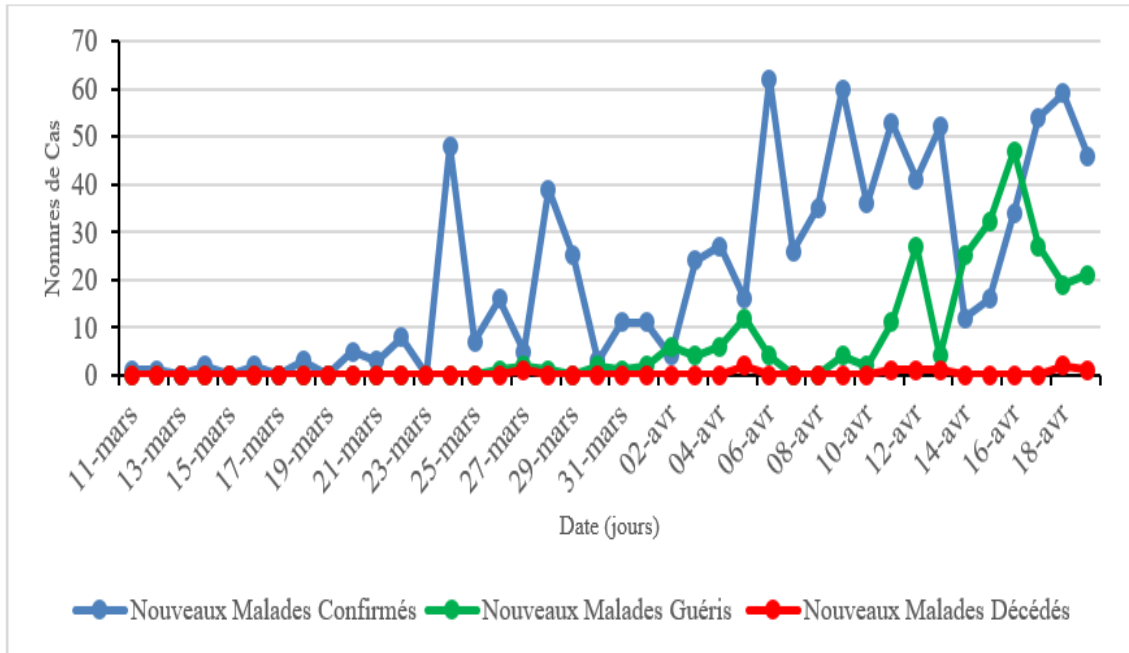


Figure 1 : Évolution temporelle de quelques paramètres du Covid-19 en Côte d'Ivoire, au 18 avril 2020

Le bilan le plus élevé correspond à la date du 6 avril 2020 avec un bilan positif de 58 malades. Le bilan est négatif à la date du 15 avril, avec une différence de 16 en faveur des nouveaux guéris. Malheureusement, juste après, le bilan semble s'inverser avec une baisse brutale du nombre de nouveaux guéris et une augmentation tout aussi brutale du nombre de nouveaux malades. Au total, ces deux courbes ne présentent pas d'évolutions monotones et ne donnent que des tendances ponctuelles. A contrario, en représentant le nombre correspondant au Cumul de Malades Actifs (CMA) en fonction du temps (*Figure 2*), il se dégage une augmentation qui semble obéir à une fonction affine, à la date du 18 avril 2020. Le coefficient $R^2 = 0,9619$ traduit une excellente corrélation entre le CMA et le temps. Par ailleurs, le Test de Fischer $F = 706,639$ est largement supérieur à la valeur critique $F_{\alpha} = 4,2$ (*Fisher-Snedecor*). En outre, le niveau de confiance est supérieur à 95 %. Il en découle que l'équation de la droite de régression est significative pour la prédiction du CMA de la pandémie du COVID-19 en Côte d'Ivoire. Dans cette optique, une projection du Cumul des Malades Actifs après le 18 avril 2020 peut être faite (*Tableau 2*).

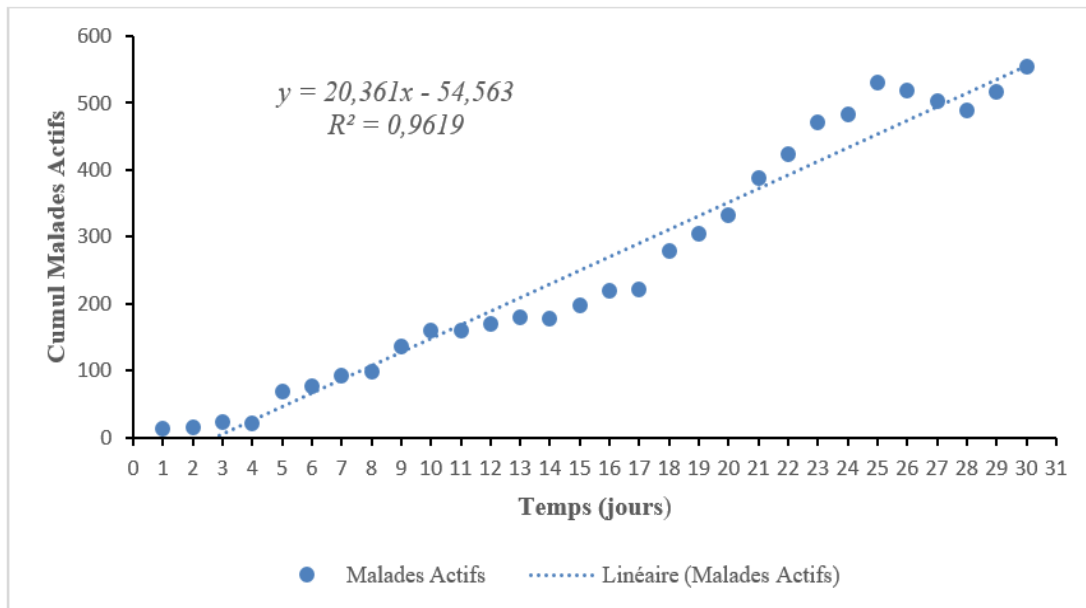


Figure 2 : Évolution temporelle du cumul de malades actifs (CMA) du 20 mars au 18 avril 2020

$CMA = 20,361x \text{ temps (jours)} - 54,563$
 Nombre d'observations $N = 30$; Coefficient de détermination $R^2 = 0,9619$; Ecart-type $s = 1,749$;
 Test de Fischer $F = 706,639 > F_\alpha = 4,20$; Niveau de confiance $\alpha > 95 \%$.

Tableau 2 : Statistiques de validation de la prévision et évolution possible du Cumul des Malades Actifs (CMA) après le 18 avril 2020

Date	19 avril	20 avril	21 avril	22 avril	23 avril	24 avril	25 avril	26 avril
Jours	31	32	33	34	35	36	37	38
CMA-prédit	577	597	617	638	658	678	699	719
CMA-réel	578	582	600	613	631	644	648	668
Incertitude (%)	0,2	2,6	2,8	4,1	4,3	5,3	7,9	7,6

L'incertitude, calculée par rapport à la valeur réelle, demeure inférieure ou égale à 5 % jusqu'à la date du 23 avril 2020 (**Tableau 2**), limite statistique permettant de valider une étude scientifique. Ainsi, du 20 mars au 23 avril 2020, soit sur une période de 35 jours, le CMA suit une évolution temporelle quasi-affine, et ceci est tout à fait remarquable et permet de prédire l'évolution du covid-19 avec précision. Cependant, il est plutôt encourageant de constater qu'à partir du 24 avril 2020, les valeurs du CMA-prédit s'éloignent de plus en plus des valeurs du CMA-réel, ce dernier entamant pratiquement une décroissance par rapport à la valeur prédite. Ces observations signifient que la pandémie s'éloigne d'une croissance exponentielle, qui serait non maîtrisable.

3-3. Taux de Malades Confirmés (TMC)

Les courbes présentant le nombre des prélèvements et de malades testés positifs, quotidiennement, ne semblent pas être fonctions l'une de l'autre, puisqu'il y a une absence de similitude entre ces deux courbes (**Figure 3**). Il apparaît simplement que le nombre d'infections reste toujours en-dessous de celui des tests de dépistages effectués. De fait, le paramètre qui relie les nombres de prélèvements et de cas testés positifs et pouvant être interprété indépendamment de ces grandeurs, est le Taux de Malades Confirmés (TMC), dont

l'évolution temporelle est donnée à la **Figure 4**. L'analyse de cette figure montre que le TMC varie en dents-de-scie et donc n'a pas de variation monotone. Cependant, il existe quelques points saillants permettant de faire une analyse prévisionnelle globale. Plusieurs pics sont visibles dans l'évolution du TMC, le plus élevé étant obtenu en date 6 avril 2020. Par la suite, il y a une décroissance presque monotone. Le Gouvernement ivoirien a pris plusieurs mesures pour endiguer le covid-19, dont la mesure d'isolement de la ville d'Abidjan, qui a pris effet à partir du 29 mars 2020. Le pic maximal du 6 avril 2020 peut être interprété comme correspondant à l'éclosion des cas latents d'infections arrivés presque au bout de la période d'incubation, qui selon plusieurs sources, varie entre 2 et 14 jours [5, 6].

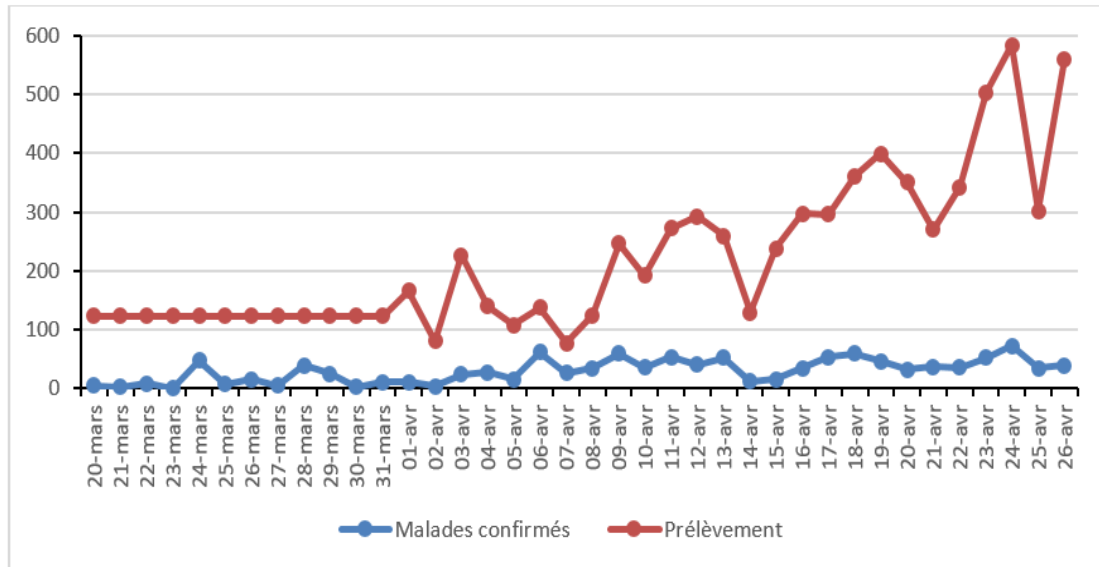


Figure 3 : Évolution temporelle du nombre de prélèvements et du nombre de tests positifs du 20 mars au 26 avril 2020

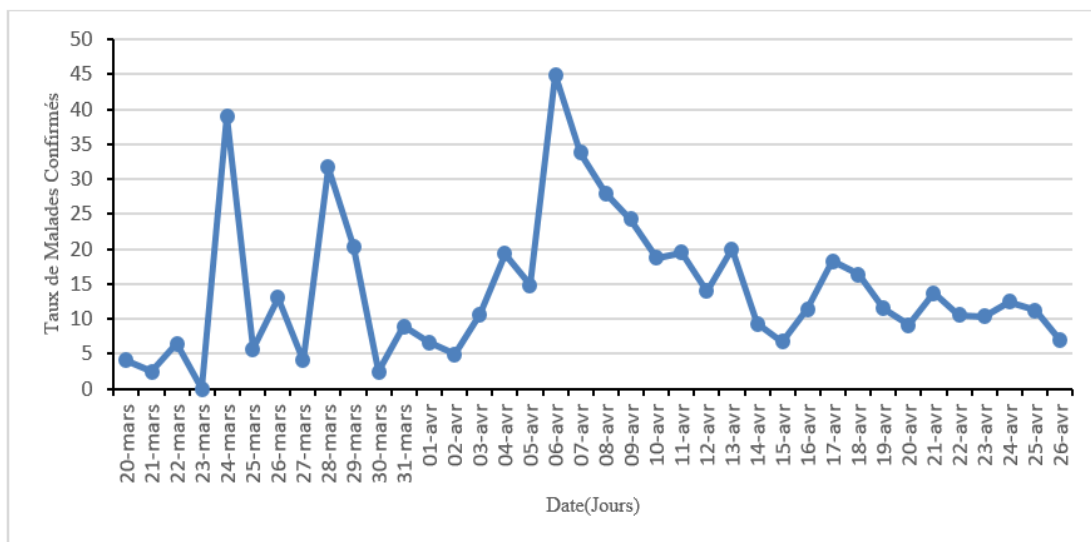


Figure 4 : Évolution temporelle du Taux de Malades Confirmés (TMC) du 20 mars au 26 avril 2020

La décre presque régulière du TMC à partir du 6 avril 2020 montre l'efficacité de l'ensemble des mesures gouvernementales, dont l'isolement de la ville d'Abidjan. Ces mesures doivent être maintenues jusqu'à la fin quasi-totale de l'épidémie.

4. Conclusion

Les résultats sont rassurants quant à l'évolution du nombre de malades de Covid-19 en Côte d'Ivoire, en ce qu'ils ne prédisent pas, à brève et moyenne échéances, une évolution exponentielle non maîtrisable du nombre de malades. Au demeurant, un ralentissement relatif de l'épidémie s'observe depuis le 24 avril 2020. Toutefois, le Cumul de Malades Actifs (CMA) restant élevé, la recommandation au Gouvernement est de maintenir les mesures en vigueur. La décline relative du Taux de Malades Confirmés (TMC) à partir du 6 avril 2020, montre que les mesures en vigueur sont efficaces. Le maintien des mesures en vigueur permettra d'entrevoir une fin prochaine de l'épidémie en Côte d'Ivoire. Dans une publication prochaine faisant suite à ce travail, une date approximative de fin de l'épidémie sera proposée.

Références

- [1] - Site officiel de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). <https://www.who.int/fr>. Consulté le 27/04/2020
- [2] - Communiqués du Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique de la république de Côte d'Ivoire. <http://www.atoo.ci/tag/ministere-de-la-sante-et-de-lhygiene-publique>. Consulté quotidiennement depuis le 11 mars 2020
- [3] - Microsoft® Excel® 2013 (15.0.4420.1017) MSO (15.0.4420.1017) 64 Bits (2013), Partie de Microsoft Office Professionnel Plus
- [4] - XLSTAT Version 2014.5.03 Copyright Addinsoft 1995-2014, XLSTAT and Addinsoft are Registered Trademarks of Addinsoft. <https://www.xlstat.com>, (2014)
- [5] - YANIS ROUSSEL, AUDREY GIRAUD-GATINEAUA, MARIE-THERESE JIMENOE, JEAN-MARC ROLAINA, CHRISTINE ZANDOTTI, PHILIPPE COLSONA, DIDIER RAOULT, SARS-CoV-2: fear versus data, *International Journal of Antimicrobial*; April 5, 9 (41) (2020) 1 - 3 p. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105947> 0924-8579
- [6] - XI HE, ERIC H. Y. LAU, PENG WU, XILONG DENG, JIAN WANG, XINXIN HAO, YIU CHUNG LAU, JESSICA Y. WONG, YUJUAN GUAN, XINGHUA TAN, XIAONENG MO, YANQING CHEN, BAOLIN LIAO, WEILIE CHEN, FENGYU HU, QING ZHANG, MINGQIU ZHONG, YANRONG WU, LINGZHAI ZHAO, FUCHUN ZHANG, BENJAMIN J. COWLING, FANG LI AND GABRIEL M. LEUNG, Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nat Med*, (2020), <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0869-5>