

Etude comparée de la croissance prédite par les réseaux de neurone artificiels et la croissance expérimentale de la tomate (*Lycopersicum esculentum*) dans la région de Daloa (Côte d'Ivoire)

[Comparative study of the growth predicted by the artificial neural networks and the experimental growth of tomato (*Lycopersicum esculentum*) in the Daloa region (Côte d'Ivoire)]

GNAMIEN Yah Gwladys¹, VOUI Bi Bianuvrin Noël Boué¹, KOUAME N'Guessan¹, KOUASSI N'Dri Jacob¹, N'GUESSAN Constant Koffi¹, ASSIDJO Nogbou Emmanuel², and YATTY Kouadio Justin¹

¹Université Jean Lorougnon GUEDE (UJLoG), Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, UFR Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Institut National Polytechnique Felix Houphouët-Boigny (INP-HB), Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse et Environnement, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present study consists to using artificial neural networks to create mathematical models allowing to predict the growth of tomato plants and to compare them to the growth in real time in order to control the productivity of the tomato. Tomato growth was modeled by an empirical model using artificial neural networks as a tool through a program developed in the Matlab R2010b software. Mathematical models were developed to predict the growth of the tomato plant for the number of leaves, leaf length and width, height and circumference of the plant. The experiments were carried out in the regions of High Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire). The coefficients of determination between the experimental measurements and the measurements predicted by artificial neural networks are respectively 0.9722; 0.9925; 0.997; 0.9945 and 0.9926 for plant height; the number of sheets; the circumference of the plant; leaf length and leaf width. These results are satisfactory insofar as all the coefficients of determination (R²) are greater than 0.97. Likewise, the curves representing the predicted values and the experimental values have practically the same appearances or even confused. These results show a good interpolation between the experimental values and those predicted by the mathematical models.

KEYWORDS: Tomato, Growth, Modeling, Neural networks, Mathematical models.

RESUME: La présente étude consiste à utiliser les réseaux de neurones artificiels pour créer des modèles mathématiques permettant de prévoir la croissance des plantes de tomate et de les comparer à la croissance en temps réel afin de maîtriser la productivité de la tomate. La modélisation de la croissance de la tomate a été assurée par un modèle empirique utilisant comme outil les réseaux de neurones artificiels à travers un programme élaboré dans le logiciel Matlab R2010b. Les modèles mathématiques ont été élaborés pour prévoir la croissance de la plante de tomate pour le nombre de feuilles, la longueur et la largeur des feuilles, la hauteur et la circonférence de la plante. Les expérimentations ont été effectuées dans les régions du Haut Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire). Les coefficients de détermination entre les mesures expérimentales et les mesures prédites par les réseaux de neurones artificiels sont respectivement de 0,9722; 0,9925; 0,997; 0,9945 et 0,9926 pour la hauteur de la plante; le nombre de feuille; la circonférence de la plante; la longueur des feuilles et la largeur des feuilles. Ces résultats sont satisfaisants dans la mesure où tous les coefficients de détermination (R²) sont supérieurs à 0,97. De même, les courbes illustrant les valeurs prédites et les valeurs expérimentales ont pratiquement les mêmes allures voire confondues. Ces résultats montrent une bonne interpolation entre les valeurs expérimentales et celles prédites par les modèles mathématiques.

MOTS-CLEFS: Tomate, Croissance, Modélisation, Réseau de neurones, Modèles mathématiques.

1 INTRODUCTION

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se positionne au premier rang mondial des fruits cultivés avec une production d'environ 152 millions de tonnes en 2010 [1]. Selon les statistiques de la FAO, sa production s'élevait en 2007 à 126,2 millions de tonnes pour une superficie de 4,63 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 27,3 t/ha [2]. La tomate est cultivée pour ses fruits qui sont consommés soit frais ou cuit, soit transformés industriellement. Elle est riche en vitamine C et en éléments minéraux [3]. Elle contient aussi des antioxydants phénoliques très utiles, notamment la lycopène qui est réputée pour ses propriétés anticancéreuses et de prévention contre les maladies cardiovasculaires [4]. C'est un aliment diététique riche en eau (93 à 95 %) et très pauvre en calories, soit 8 à 20 kcal pour 100 grammes. La tomate mûre contient plusieurs pigments de la famille des caroténoïdes dont le carotène qui possède une activité pro-vitaminique A [5]. Elle est utilisée dans de nombreuses préparations culinaires telles que la salade, les sauces, les soupes ou est transformée sous forme de jus, de concentré, de ketchup, etc.

En Côte d'Ivoire, les besoins en tomate étaient estimés à plus de 200 000 tonnes en 2002 [6] alors que la production nationale qui est de 52 000 tonnes/an reste largement inférieure pour couvrir cette demande [7]. Ce déficit de production est dû à la baisse de la fertilité des sols, mais surtout aux effets du changement climatique dont l'une des manifestations visibles est la baisse de la pluie. Il est donc important de trouver de nouvelles méthodes innovantes permettant la maîtrise et la prévision de ses phénomènes. Une des grandes approches de la résolution de ses problèmes est la modélisation. Elle se définit comme l'opération par laquelle on établit un modèle d'un phénomène, afin d'en proposer une représentation interprétable, reproductible et simulable [8]. Mais plus simplement, on la définit aussi comme la conception d'un modèle [9]. En somme, modéliser, consiste à représenter le comportement dynamique d'un système complexe à travers des modèles mathématiques paramétrés. Le modèle mathématique est au centre de l'utilisation des outils de la biométrie [8]. Le modèle mathématique est une représentation simplifiée de la réalité, décrivant un phénomène, en facilitant la prédiction ou l'estimation et en permettant parfois l'analyse des mécanismes à l'origine [10].

L'objectif de ce travail, consiste à utiliser les réseaux de neurones artificiels pour créer des modèles mathématiques permettant de prévoir la croissance des plantes de tomate et de les comparer à la croissance en temps réel.

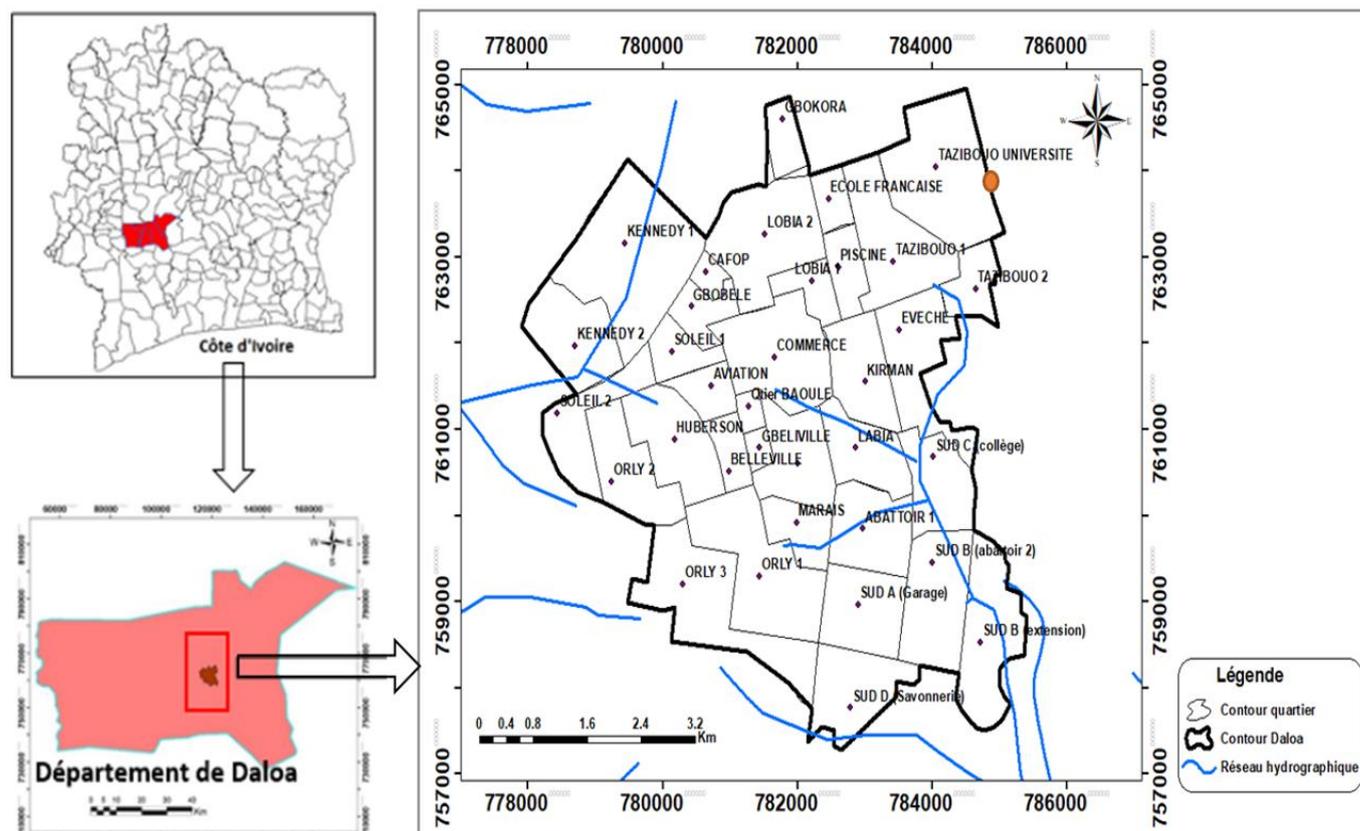
2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal est constitué de plantes de tomate issue de la variété UC 82, très adaptée aux hautes températures, et tolérante à la Verticilliose et à la Fusariose.

2.2 ZONE D'ETUDE

La phase d'expérimentation s'est déroulée dans la région du Haut Sassandra. La région du Haut-Sassandra est située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire avec pour centre lieu la ville de Daloa (Figure 1). Le département de Daloa est situé entre 6°53'58" de latitude Nord et 6°26'32"W de longitude Ouest avec une superficie de 15 205 km² pour une population estimée à 1.430.960 habitants [11]. Le site d'expérimentation se trouve à proximité de la bibliothèque de l'Université Jean Lorougnon Guédé à environ 300 m de celle-ci.



● Site d'étude

Fig. 1. Présentation de la zone d'étude

Cette zone est sujette à quatre saisons réparties comme suit: une grande saison des pluies allant d'Avril à mi-Juillet, une petite saison sèche de mi-Juillet à mi-Septembre, une petite saison des pluies de mi-Septembre à Novembre et la grande saison sèche de Décembre à Mars. Il s'agit d'une zone tropicale humide (Tableau 1) avec une végétation de forêt dense à évolution régressive due à la pratique d'une agriculture extensive et itinérante couplée à l'exploitation incontrôlée des essences forestières [12]. Le patrimoine édaphique est de type ferrallitique. Les précipitations ont connu une baisse passant de 1868,5 mm en 1968 à 1120,4 mm de pluie en moyenne en 2005, la région connaît une baisse de la pluviométrie de l'ordre de 40 % [13]. Le département est arrosé par le fleuve Sassandra et par son affluent la "Lobo" dont les ramifications, le Dé et le Gore inondent l'ensemble des localités [12].

Tableau 1. Evolution des données climatiques moyennes de la ville de Daloa pendant l'expérimentation

Mois	Température moyenne (°C)	Température maximale (°C)	Température minimale (°C)	Humidité relative (%)	Précipitations (mm)
Mai 2020	27,9	33,1	23,5	79,7	113,03
Juin 2020	26,4	30,6	22,9	84,6	107,18
Juillet 2020	25,2	28,6	22,3	86,6	105,14
Aout 2020	25	28,8	21,8	83,8	109,74

Source: www.tutiempo.net

2.3 METHODES TECHNIQUES ET EXPERIMENTALES

2.3.1 MISE EN PLACE

Une planche de pépinière de 1 m de large et 3 m de long a été réalisée. Du furadan a été utilisé sur la planche pour désinfecter le sol. Le semis a été effectué le 30 Mai 2020 à raison de 2 graines par poquet et distants de 5 cm sur la ligne soit 20 poquets par ligne de 1 m.

L'écartement entre deux lignes de semis est de 10 cm. La pépinière a été constituée de 3 lignes de semis, soit 60 poquets pour la variété. La planche a été recouverte de paille avant l'arrosage, afin d'éviter de tasser les graines.

Après la germination des graines à partir du 6 au 14 juin 2020, la paille a été enlevée. Une ombrière a été construite à 80 cm au-dessus du sol pour protéger les plants contre l'ensoleillement. Un film plastique a été posé sur l'ombrière pour éviter que les plants ne reçoivent l'eau de pluie. Des arrosages réguliers (deux fois par jour, matin et soir) ont été réalisés au début, puis réduit à un arrosage par jour à partir du 19 juin 2020. L'ombrière a été retirée au fur et à mesure que les plants se développaient. Elle a été totalement enlevée à partir du 26 juin 2020 avant le repiquage pour permettre aux plants de supporter la température ambiante avant d'être transplantés au champ.

La parcelle choisie était couverte d'une jachère non améliorée. Cette parcelle a été défrichée, labouré et une fumure de fond de NPK (10-18-18), à raison de 250 kg/ha a été préalablement apportée lors de la mise en place des billons et ensuite la transplantation des plants vigoureux a été effectuée le 30 juin 2020, un mois après la date du semis en pépinière. Les tuteurs ont été mis en place le 30 juin 2020 lors du repiquage. Les observations au champ ont démarré le 07 juillet 2020 et se sont achevées vers fin Aout 2020.

2.3.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'essai a été disposé en bloc de Fischer à trois répétitions. Chaque bloc comprend deux billons soit au total six billons pour la parcelle. Chaque billon est séparé d'une allée de 1 m de large et une dimension de (10 m x 40 cm). Les plants ont été repiqués sur les billons, espacés de 0,40 cm sur la ligne et pour un total de 20 plants par billon. Le total des plants est de 120 pour une superficie de 15 m² (15 m x 15 m), soit une densité d'environ 25000 plants/hectare.

2.3.3 MESURE ET APPRECIATION DE LA CROISSANCE ET DU DEVELOPPEMENT

Les caractéristiques de croissance et de développement mesurées sont les mêmes que celles définies par [14]. Les mesures de croissance sont réalisées en centimètre et notées sur une fiche. Les observations ont porté sur l'appareil végétatif, notamment la hauteur et la circonférence des plantes de tomate, le nombre de feuilles, la longueur et la largeur des feuilles. Elles ont démarré le 07 juillet 2020 et se sont achevées à la floraison. Les mesures des paramètres de croissance et de développement ont été hebdomadaires. Les observations ont porté sur un effectif de 60 plants sur la parcelle choisit parmi les 120 plantes de tomate de la parcelle pris de façon aléatoire.

La croissance foliaire a été appréciée de façon hebdomadaire en mesurant la longueur (Lg) de la dernière feuille fonctionnelle, de la base du limbe jusqu'à l'extrémité de feuille. La largeur (lg) de la feuille a été évaluée en considérant la plus grande dimension de la partie médiane de cette même feuille. Les valeurs ont été exprimées en centimètres.

La hauteur et la circonférence ont été les paramètres mesurés pour suivre la croissance du pseudotrunc. La hauteur du pseudotrunc (Hp) a été mesurée à partir du collet jusqu'au sommet de la plante. La circonférence du pseudotrunc, par contre, a été évaluée à la base de la plante au niveau du collet.

Le développement de la plante de tomate a été suivi par le comptage du nombre de feuilles fonctionnelles sur les 20 plantes present de façon aléatoire dans chaque bloc.

2.3.4 DEMARCHE DE MODELISATION DE LA CROISSANCE PAR LE MODELE EMPIRIQUE

Dans cette étude, la modélisation de la croissance de la tomate a été assurée par un modèle empirique utilisant comme outil les réseaux de neurones artificiels. La démarche de modélisation utilisée est celle de [15].

La modélisation de la croissance de la plante de tomate a été réalisée grâce à un réseau de neurone artificiel à travers un programme élaboré dans le logiciel Matlab R2010b (Math Works Inc., Massachusetts USA).

Les paramètres de croissance (paramètres explicatifs) suivis ont été retenus pour expliquer et prévoir la croissance de la tomate. Ils ont représenté respectivement les paramètres d'entrées à l'instant t et les paramètres de sorties à l'instant t+1 du réseau de neurones artificiels. Pour faciliter l'expression mathématique du modèle, des symboles ont été attribués aux différents paramètres. Il comprend cinq neurones d'entrée correspondant aux cinq paramètres suivis expérimentalement et cinq neurones de sortie correspondant aux cinq variables de sortie à l'instant t+1 (Figure 2).

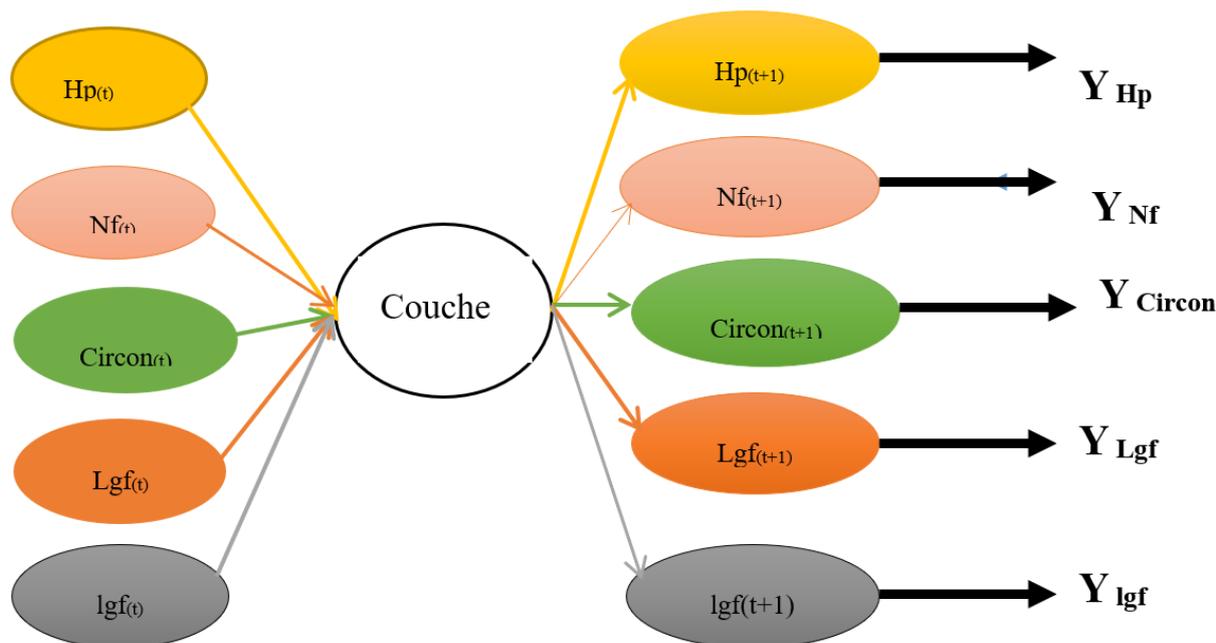


Fig. 2. Réseau de neurones bouclés avec 5 couches d'entrées, une couche

La performance de la qualité de la prévision a été déterminée par le coefficient de détermination (R^2). Ce coefficient permet de mesurer la qualité de l'ajustement des estimations de l'équation de régression. Il est utilisé pour avoir une idée globale de l'ajustement des modèles développés dans cette étude. Lorsque R^2 est proche de 1 dans le cas d'une régression simple, l'ajustement entre les valeurs expérimentales et prédites est meilleur [16]. L'expression du coefficient de détermination (R^2) est donnée par l'équation suivante:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{préd} - \bar{y}_e)^2}{\sum_{i=1}^N (y_e - \bar{y}_e)^2}$$

Avec:

y_e et $y_{préd}$ étant respectivement les valeurs expérimentales et calculées pour $i=1, \dots, N$

\bar{y}_e étant la moyenne des valeurs mesurées ou expérimentale

3 RESULTATS

3.1 PRESENTATION ET ANALYSE DES DONNEES EXPERIMENTALES

La figure 3 présente les courbes d'évolution du nombre de feuille, de la longueur et de la largeur des feuilles ainsi que de la hauteur et de la circonférence des plants de tomate en fonction du temps.

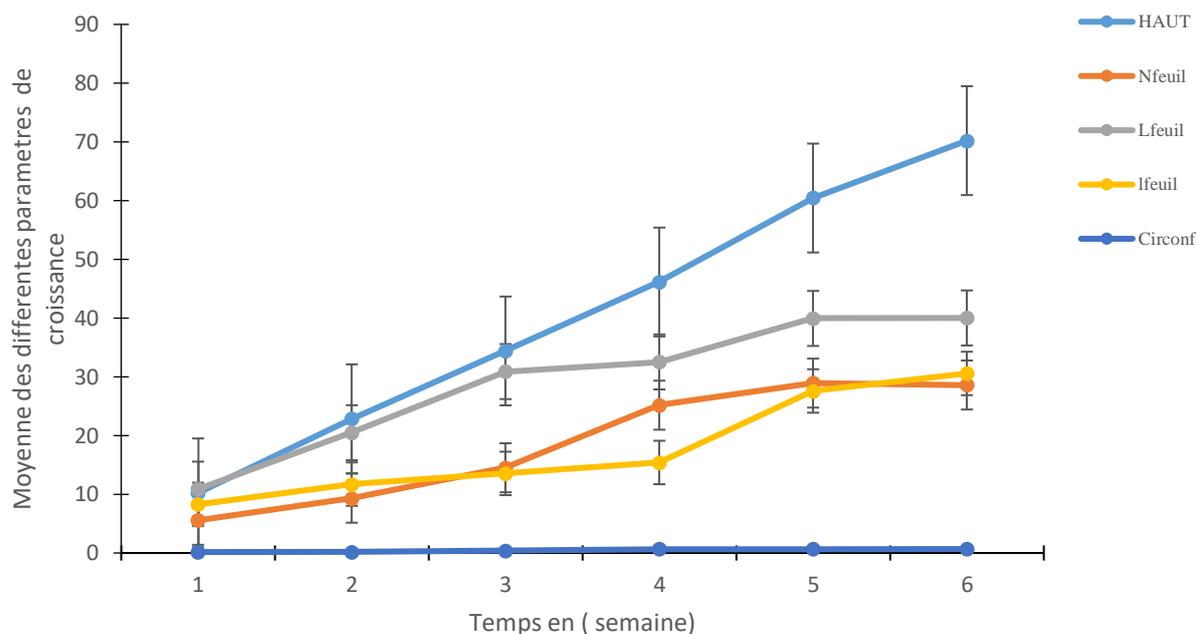


Fig. 3. Courbes d'évolution des différents paramètres de croissance en fonction du temps

Le nombre de feuilles dans la parcelle, augmente par rapport au temps avec une moyenne d'environ 2 à 4 feuilles par semaine. Cette vitesse d'émission des feuilles est ralentie au cours des deux semaines qui précèdent la floraison. A la floraison, le nombre de feuille obtenu est de 30 feuilles en moyenne.

La courbe traduisant la croissance en longueur des feuilles présente de façon générale, une phase d'accroissement rapide pendant les deux premières semaines puis un ralentissement à la quatrième semaine. Vers la floraison, la vitesse de croissance en longueur des feuilles diminue fortement.

L'analyse de la courbe de croissance en largeur des feuilles montre trois phases de croissance:

- De la 1ère à la 3ème semaine, une croissance lente;
- De la 4ème à la 5ème semaine, une croissance forte en largeur des feuilles.
- Une réduction forte de cette croissance juste avant la floraison.

La croissance en hauteur de la tomate s'est déroulée en une seule phase rapide tout au long des expérimentations.

La croissance en épaisseur des plantes de tomate a été faible au début, puis rapide et diminue avant la floraison.

3.2 MODELISATION DE LA CROISSANCE DE LA TOMATE

Dans cette étude, la croissance de la tomate a été modélisée par le modèle empirique, en l'occurrence le réseau de neurone artificiel. Les modèles établis représentent chaque paramètre de croissance étudiés soit au total cinq modèles mathématiques pour cette étude. Chaque modèle peut permettre de prévoir la croissance soit au niveau foliaire (en nombre, en longueur et en largeur), soit au niveau de la tige (en épaisseur et en hauteur). La formule mathématique trouvée est spécifique pour ces paramètres.

$$Y_{Haut} = -0,72 Y'1 - 0,34 Y'2 - 0,05$$

$$Y_{Nf} = -0,30 Y'1 - 0,60 Y'2 - 0,11$$

$$Y_{Circonf} = -0,48 Y'1 - 0,16 Y'2 - 0,36$$

$$Y_{Lgf} = -0,63 Y'1 - 0,25 Y'2 - 0,02$$

$$Y_{lgf} = -0,60 Y'1 + 0,07 Y'2 - 0,44$$

Avec :

$$Y'1 = \text{TanH} [-1,43 \text{ Haut}(t+1) - 0,54 \text{ Nf}(t+1) + 0,32 \text{ Circonf}(t+1) - 0,34 \text{ Lgf}(t+1) - 0,15 \text{ lgf}(t+1) - 0,85]$$

$$Y'2 = \text{TanH} [0,05 \text{ Haut}(t+1) - 1,01 \text{ Nf}(t+1) - 1,54 \text{ Circonf}(t+1) - 0,64 \text{ Lgf}(t+1) + 0,91 \text{ lgf}(t+1) + 2,52]$$

3.3 COMPARAISON DE LA CROISSANCE PREDITE ET EXPERIMENTALE

La comparaison des courbes prédites et expérimentales montre que le nombre de feuilles, la longueur et la largeur des feuilles ainsi que la dimension du pseudotrunc augmentent progressivement au cours de la croissance. Ces tendances sont également observées à travers l'évolution d'ensemble des valeurs expérimentales et celles prédites par le modèle. Les courbes présentées par les figures 4, 5, 6, 7 et 8 ont pratiquement les mêmes allures. Les valeurs expérimentales et celles prédites sont pratiquement identiques voire confondues. Au demeurant, chaque point expérimental relatif au nombre de feuilles (Nf), à la longueur des feuilles (Lg), à la largeur des feuilles (lg), à la hauteur du pseudotrunc (Hp), à la circonférence de la base, sont quasi identiques à ceux prédits par le modèle neuronal. De même, les valeurs expérimentales et celles prédites évoluent dans le même sens bien que globalement certains écarts soient observés.

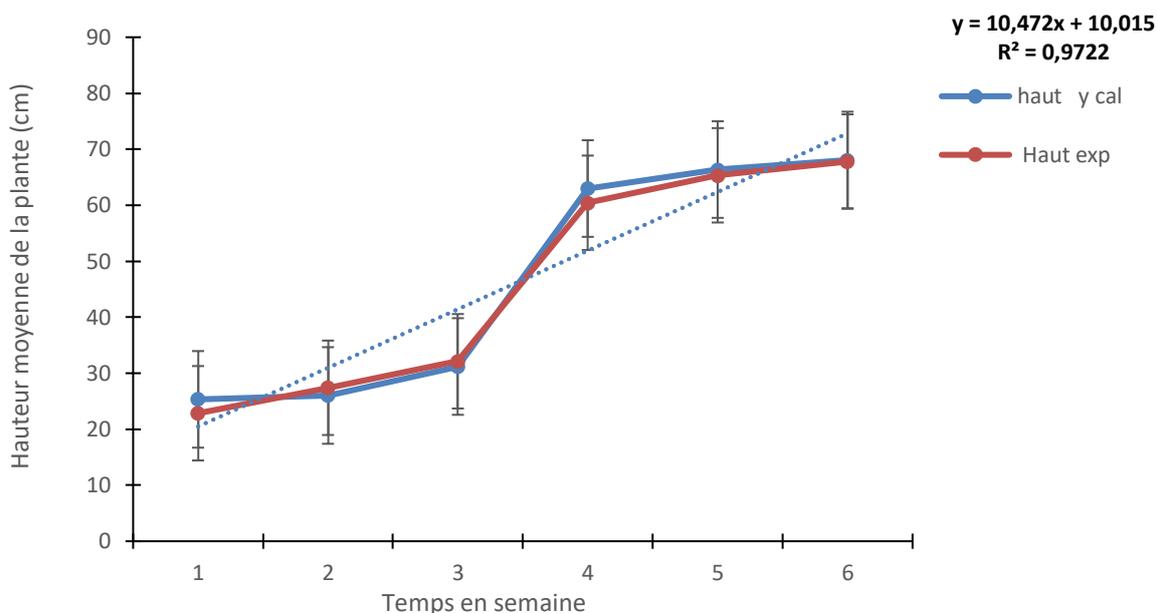


Fig. 4. Courbe de comparaison des valeurs expérimentales et prédites de la hauteur de la tomate en fonction du temps

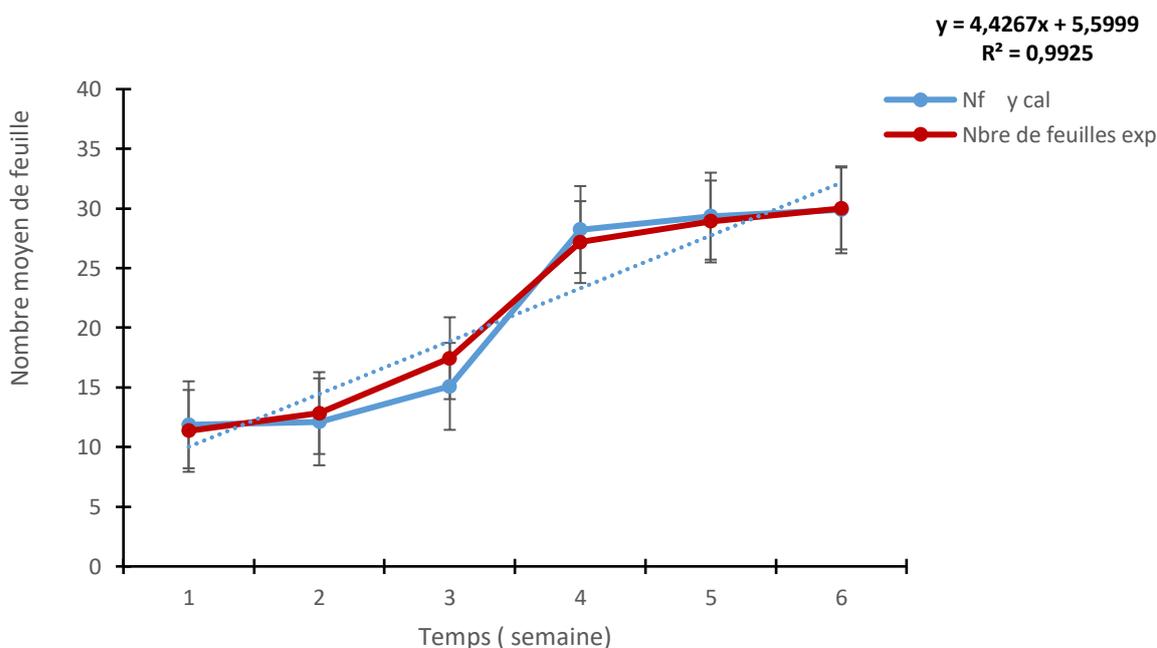


Fig. 5. Courbe de comparaison des valeurs expérimentales et prédites du nombre de feuille de la tomate en fonction du temps

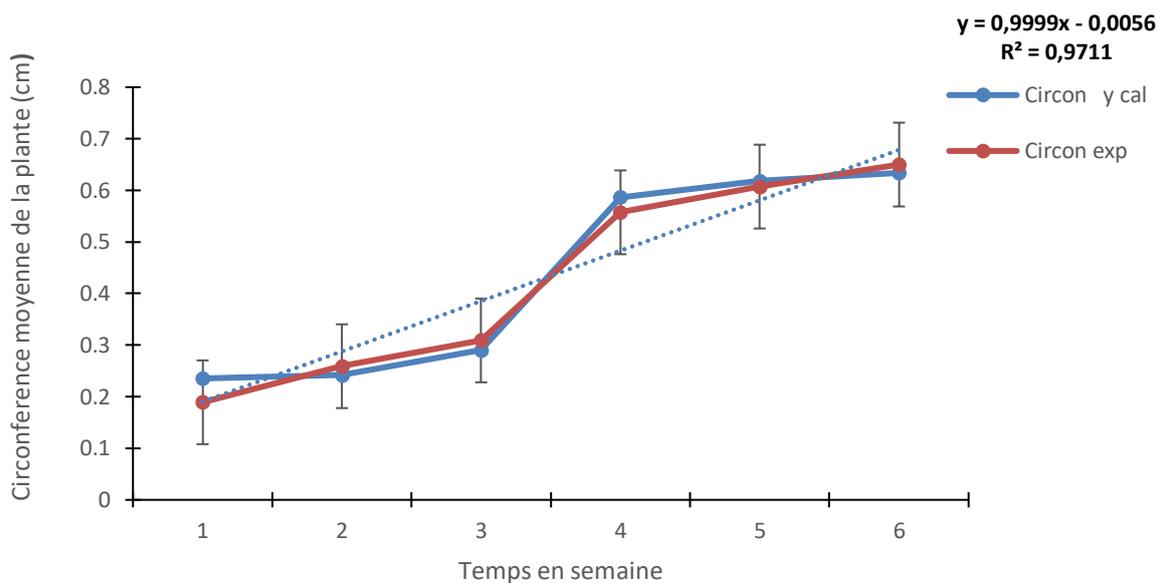


Fig. 6. Courbe de comparaison des valeurs expérimentales et prédites de la circonférence de la tomate en fonction du temps

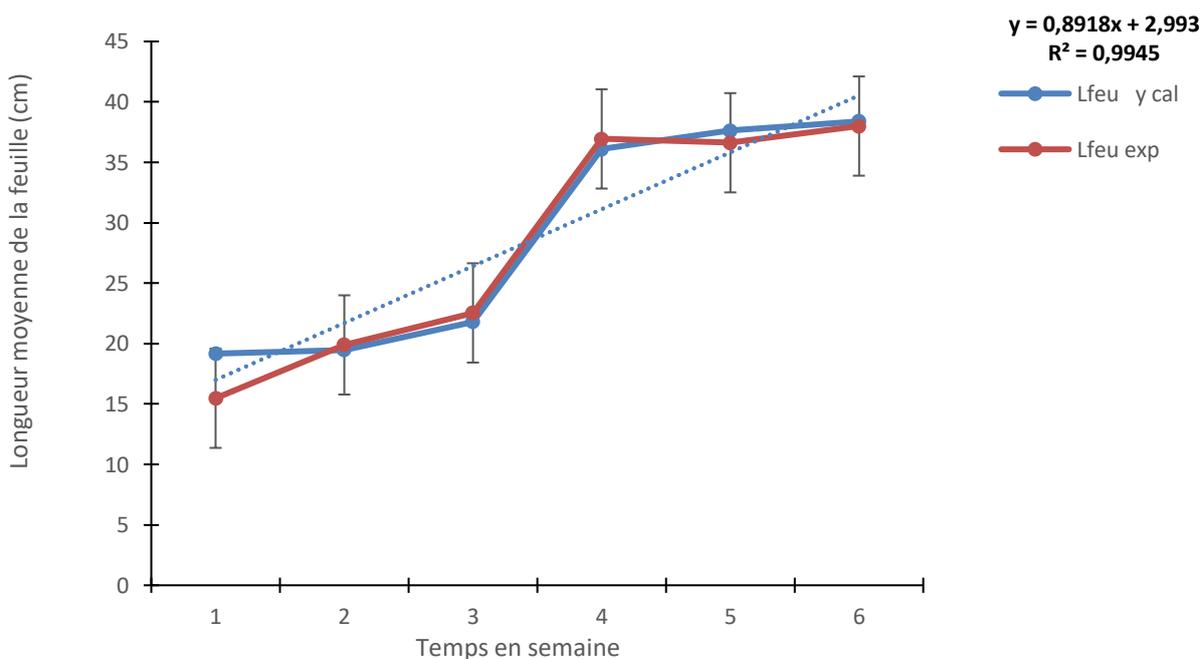


Fig. 7. Courbe de comparaison des valeurs expérimentales et prédites de la longueur des feuilles de la tomate en fonction du temps

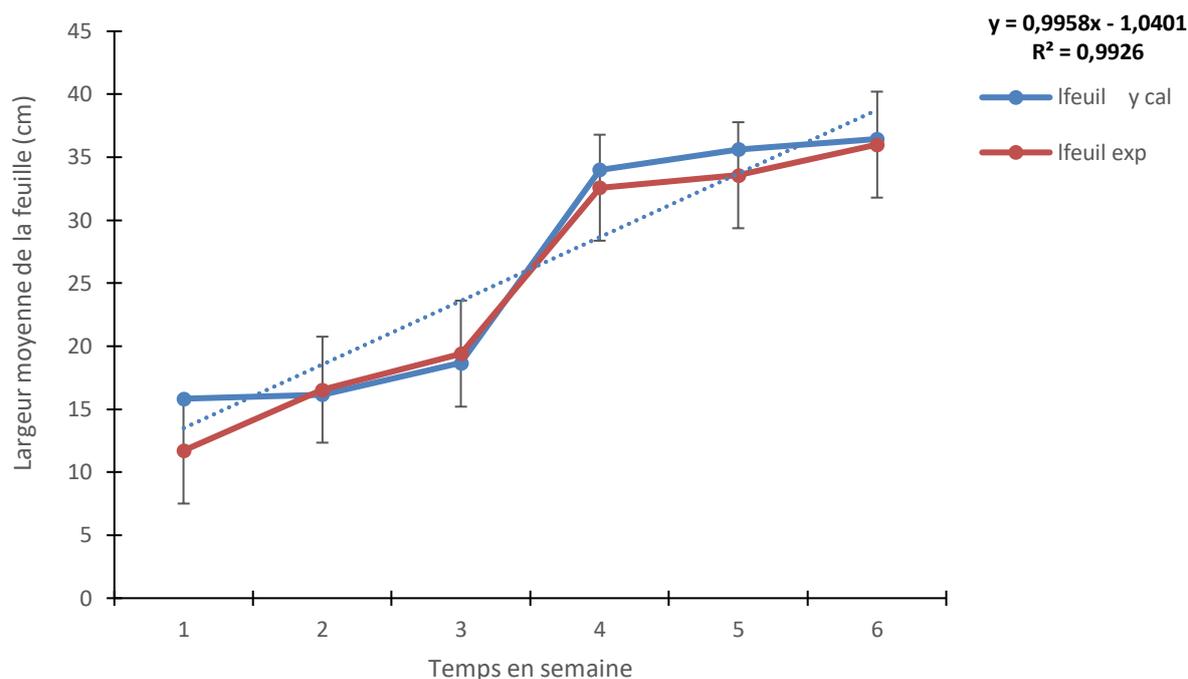


Fig. 8. Courbe de comparaison des valeurs expérimentales et prédites de la largeur des feuilles de tomate en fonction du temps

4 DISCUSSION

4.1 EVOLUTION DES PARAMETRES DE CROISSANCE

La vitesse d'émission foliaire hebdomadaire est d'environ 5 feuilles pour les trois premières semaines. A la floraison, le nombre de feuille est autour de 23. La croissance en longueur et en largeur des feuilles a donné des valeurs maximales respectivement égales à 30 cm et 25 cm. Ces résultats sont proches de celui de [14] qui ont estimés que la longueur et la largeur moyenne des feuilles de la tomate est entre 15 et 50 cm de longueur et 10 à 30 cm de largeur. Avant la floraison, une diminution du nombre de feuilles ainsi que la longueur et la largeur des feuilles est observée. Celle-ci pourrait s'expliquer par la mobilisation des réserves pour la floraison au dépend de la croissance foliaire [17], [18]. La mesure moyenne de la hauteur du pseudotrunc jusqu'à la floraison est 70 cm. Cette mesure est très faible par rapport à celle de [14] pour qui, la tige de tomate est pleine et anguleuse et peut pousser jusqu'à une hauteur de 2 m. Cependant, les mesures du tronc de tomate et même des feuilles dépendraient des différentes variétés. Au niveau de la circonférence de la base, la mesure moyenne est de 0,6 cm. Ces résultats concordent avec ceux de [19].

4.2 COMPARAISON DU MODELE NEURONAL OPTIMISE ET DE LA CROISSANCE EXPERIMENTALE

Les courbes représentant les valeurs prédites par le modèle neuronal issu de la modélisation de la croissance de la tomate à partir des réseaux de neurones artificiels sont comparées aux courbes illustrant la croissance expérimentale. Cette comparaison a révélé de façon générale, une étroite adéquation entre les valeurs expérimentales et celles prédites par le réseau de neurone artificiel. Il s'avère que peu d'écarts sont observés entre les valeurs expérimentales et celles prédites. L'analyse globale des figures, montre que le modèle obtenu par le réseau de neurone artificiel donne des valeurs prédites très proches de celles expérimentales quel que soit le paramètre concerné bien que, quelques écarts soient observés entre les valeurs expérimentales et celles prédites. Ces écarts pourraient s'expliquer par la complexité de la croissance de la plante de tomate. Mais surtout du fait que les modèles développés par les réseaux de neurones artificiels sont des modèles « type boîte noire » qui constitue la forme la plus primitive de modèle mathématique.

Les coefficients de détermination obtenues à partir de la régression linéaire entre les valeurs expérimentales et celles prédites sont très proches de 1 car ils sont largement supérieurs à 0,97 [20]. Ces coefficients de détermination montrent que les valeurs expérimentales sont à plus de 97 % proches des valeurs prédites par le modèle neuronal comme l'a signifié [21]; [22] lors de la modélisation de la croissance du bananier plantain à partir des réseaux de neurones artificiels dans les localités de Yamoussoukro et Azaguié en Côte d'Ivoire. Il existe donc une très bonne adéquation entre les valeurs expérimentales et celles prédites des paramètres de croissance. Cette adéquation parfaite montre que les paramètres de croissance de la tomate sont bien représentés par le modèle neuronal développé.

5 CONCLUSION

Cette étude a pour but de comparer la croissance de la plante de tomate expérimentale à la croissance prédite par les réseaux de neurones artificiels. La modélisation a été réalisée à partir du modèle empirique utilisant le réseau de neurone artificiel à partir des mesures expérimentales faites au champ. Elle a été réalisée à partir de cinq paramètres de croissance de la plante de tomate. Il s'agit du nombre de feuilles, de la longueur et de la largeur des feuilles, de la hauteur et de la circonférence tronc. Les modèles utilisant comme outil le réseau de neurones artificiels ont permis de prévoir la croissance des plantes de tomate. Ces modèles ont donné une adéquation étroite entre les valeurs expérimentales et les valeurs prédites par les réseaux de neurones artificiels. Les coefficients de détermination entre les valeurs expérimentales et les valeurs prédites sont supérieurs à 0,97 donc proche de 1.

REFERENCES

- [1] FAO, L'actualité agricole en Méditerranée, Ed.CIHEAM, 2012.
- [2] Anonyme, subject. *Lycopersicum* [archive] Germplasm Resources Information Network (GRIN), USDA, 2009, www.ars.grin.gov (2 Novembre 2021).
- [3] Philouze J. and H Laterrot, *Amélioration variétale de la tomate: objectifs et critère de selection*, In: A Galais and H Bennerot (Eds), *Amélioration variétale des espèces cultivées*, Paris, France INRA, pp. 379-391, 1992.
- [4] D Labadie, «Increased diffusivity of lycopène in hot break vs. Cold break purees may be due to bioconversion of associated phospholipids rather than differential destruction of fruits tissues or cell structures,» *Food Chemistry*, vol. 274, pp. 500-509, 2019.
- [5] T Gibault, Lycopène ? Peut-être. Tomate ? Sans aucun doute ! *Équation Nutrition*, Aprifel, no 55, 2006, <https://www.nutritiondusport.fr> (5 Novembre 2021).
- [6] J C N'zi, C Kouame, S P N Assanvo, L Fondio, A H Djidji and A Sangare, «Evolution des populations de Bemisiatabaci Genn. Selon les variétés de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) au centre de la Côte d'Ivoire». *Sciences et Nature*, vol. 7 no 1, pp. 31-40, 2010.
- [7] S Soro, Caractérisation agronomique et culture sous voile de variétés améliorées de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, 2009.
- [8] N E Assidjo, T Chianea, M F Dreyfus and P Cardot, «Validation procedures of sedimentation field-flow fractionation techniques for biological applications». *J. of Chromat*, vol. 68, pp. 215-226, 1998.
- [9] D E Rumelhart, G Hinton and R Williams, «Parallel Distributed Processing», *Cambridge, MIT Press, The Organization of Behavior, New York, Wiley*, vol. 1, pp. 318-362, 1986.
- [10] Y A Mohamed, Mise en œuvre de réseaux de neurones pour la modélisation de cinétiques réactionnelles en vue de la transposition batch/continu, Thèse de Doctorat Unique. Institut National Polytechnique, Toulouse, France, 2007.
- [11] RGPH, *Recensement Général de la Population et de l'Habitat*. Rapport d'exécution et présentation des résultats, 2014.
- [12] A Sangaré, E Koffi, F Akamou and C. Fall, *État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture: second rapport national*, Ministère de l'agriculture, République de Côte d'Ivoire, 2009.
- [13] R Ligban, L D Gone, B Kamagaté, M B Saley and J Biemi, «Processus hydrogéochemiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre ouest de la Côte d'Ivoire) ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 3, no 1, pp. 38-47, 2009.
- [14] N Shankara, L Van, De Jeudi and M Mardja, La culture de la tomate production, transformation et commercialisation, 2005.
- [15] N Kouame, Modélisation de la croissance du bananier plantain à partir des réseaux de neurones artificiels; cas d'Azaguié et Yamoussoukro, Thèse de Doctorat Unique, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 2014.
- [16] M Feinberg, La validation des method d'analyse; une approche chimiométrique de l'assurance qualité au laboratoire, Ed. Mas, Paris, 1996.
- [17] B D Mc Intyre, P R Speijer, S J Riha and F Kizito, «Effects of mulching on biomass, nutrients, and soil water in banana inoculated with nematodes». *Agro. J*, vol. 92, pp. 1081-1085, 2000.
- [18] P Tabarant, C Villenave, J-M Risède, J Roger-Estrade and M. Dorel, «Effects of organic amendments on plant-parasitic nematodes populations, root damage and banana plant growth». *Biol. and Fert. of Soils*, pp. 11, 2011.
- [19] M'pika J., Makollodou A. A. and D. Minant, «Influence d'un apport fractionné en potassium et en azote sur la croissance et le rendement de trois variétés de tomate de la zone périurbaine de Brazzaville en République du Congo». *Journal of Applied Biosciences*, vol. 94, pp. 8789-8800, 2015.
- [20] M T Kadir, J Richalet, J Ringwood and B O'Connor, *Modelling and predictive control of milk pasteurisation in a plate heat exchanger*. In Proc. Foodsim, Nantes, France, 2000.
- [21] N Kouamé, N E Assidjo, A E Dick and A P Anno, «Plantain tree growth (*Musa* sp., AAB cultivar horn 1) modeling using the artificial neural networks method». *European Scientific Journal*, vol. 33 no 9, pp. 272-285, 2013.
- [22] N Kouamé, N E Assidjo and A E Dick, «Illustration de la croissance du bananier plantain (*Musa* sp., AAB, cultuvar corne 1) dans les localités de Yamoussoukro et d'Azaguié (Côte d'Ivoire) à l'aide des modèles mathématiques», *Agronomie Africaine*, vol. 29 no 2, pp. 135-147, 2017.