

Article

Predictive analytics for Human Resources through the application of Markov Chains: a case study of Cevital Food Processing Industry

Hicham MAHDJOUBA ^{1,*}

Sami Mohammed BENNOUNA ¹

Afaf KHOULED ²

Citation: Mahdjouba, H., Bennouna S. M., Khouiled, A. (2022). Predictive analytics for Human Resources through the application of Markov Chains: a case study of Cevital Food Processing Industry. *Management Intercultural*, XXIV (49), 43-51.

Received: 5 September 2022

Revised: 10 October 2022

Published: 15 October 2022



Copyright: © 2022 by the authors. Published by SEA Open Research.

This article is an open access article

distributed under the terms and

conditions of the Creative Commons

Attribution (CC BY) license ([https://creativecommons.org/licenses/by/](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

[https://creativecommons.org/licenses/by/](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

4.0/).

Abstract: The study focuses on the application of Markov chains to forecast the human resources of Cevital Food Processing Industry. Markov chains are probabilistic models used to anticipate future trends based on the current state and probable transitions. By utilizing historical data on workforce and personnel movements, a robust predictive model was developed. The results reveal a distribution of human resources for the upcoming years, obtained by multiplying the probabilistic transition matrix with the 2019 workforce matrix. The study highlights the significance of efficient human resource planning for business success and underscores the promising use of Markov chains in this field.

Keywords: predictive analytics for Human Resources; Markov Chains; Human Resource Management; CEVITAL company;

JEL Classification: C20, J21, J24, J63, M12;

¹ Faculty of Economic, Ain Temouchent University, Algeria

² Faculty of Economics, Ouargla University, Algeria

* Corresponding author: hicham.mahdjouba@univ-temouchent.edu.dz

ANALYSE PREDICTIVE DES RESSOURCES HUMAINES PAR L'UTILISATION DES CHAINES DE MARKOV ETUDE DE CAS DE L'ENTREPRISE CEVITAL INDUSTRIES ALIMENTAIRES.

Resume: L'étude porte sur l'application des chaînes de Markov pour prévoir les ressources humaines de l'entreprise CEVITAL Industries Alimentaires. Les chaînes de Markov sont des modèles probabilistes utilisés pour anticiper les tendances futures en se basant sur l'état présent et les transitions probables. En utilisant des données historiques sur les effectifs et les mouvements du personnel, un modèle prédictif solide a été développé. Les résultats montrent une répartition des ressources humaines pour les années à venir, obtenue en multipliant la matrice de transition probabiliste par la matrice des effectifs de 2019. L'étude met en évidence l'importance de la planification efficace des ressources humaines pour le succès des entreprises et souligne l'utilisation prometteuse des chaînes de Markov dans ce domaine.

Mots-clés: Analyse Prévisionnelle Des Ressources Humaines, Chaînes De Markov, Management Des Ressources Humaines, Entreprise Cevital

INTRODUCTION

Dans le cadre des activités commerciales contemporaines, la planification efficiente des ressources humaines revêt une importance capitale pour la prospérité des entreprises. Gérer et allouer de manière adéquate les ressources humaines constituent des défis perpétuels auxquels les organisations sont confrontées. Toutefois, en raison de l'évolution rapide des conditions économiques, technologiques et sociales, il est devenu de plus en plus complexe de prédire avec précision les besoins futurs en matière de main-d'œuvre.

Parmi les méthodes les plus prometteuses pour résoudre cette problématique, on trouve l'utilisation des chaînes de Markov. Les chaînes de Markov sont des modèles probabilistes qui permettent de prévoir les états futurs en se basant sur l'état présent et les transitions probables. Elles ont été largement utilisées dans divers domaines, notamment celui des ressources humaines, afin d'anticiper les tendances et de prendre des décisions éclairées.

Dans cette étude, se focalise sur l'utilisation des chaînes de Markov pour effectuer une analyse prévisionnelle des ressources humaines au sein de l'entreprise CEVITAL Industries Alimentaires. L'objectif de cette étude est de comprendre

comment cette approche peut être appliquée de manière fiable afin de prédire l'offre future de ressources humaines au sein de l'organisation. En se basant sur les données historiques relatives aux effectifs, aux mouvements de personnel et à d'autres variables pertinentes, nous chercherons à établir un modèle prédictif solide.

REVUE DE LITTÉRATURE

En consultant diverses sources de littérature et de travaux économiques, ainsi qu'en analysant leur contenu, nous avons constaté une abondance de recherches sur la gestion prévisionnelle des ressources humaines. Toutefois, ces études se concentrent principalement sur les prévisions de l'offre du marché du travail en général et les perspectives des secteurs professionnels. Elles ne font généralement pas référence à des modèles ou des méthodes scientifiques spécifiques permettant d'analyser avec précision la demande en ressources humaines. Cependant, dans le cadre de notre recherche, nous avons identifié les travaux les plus pertinents qui se sont penchés sur le sujet de la prévision de l'offre future des ressources humaines en utilisant des chaînes de Markov:

- Achoui (2006): Cet article se penche sur les méthodes scientifiques utilisées pour planifier les ressources humaines au niveau de l'entreprise. Il met en évidence les principaux outils et techniques employés par les planificateurs pour évaluer les besoins en main-d'œuvre et l'offre interne, en prenant en compte les différentes professions et niveaux de qualification. Ces informations sont cruciales pour la mise en place de programmes d'action futurs. La complexité de la planification des ressources humaines au niveau de l'entreprise réside dans l'ambiguïté des méthodes utilisées et le manque d'expérience administrative dans ce domaine. L'article souligne donc la nécessité de développer des approches scientifiques spécifiques qui répondent aux besoins de chaque entreprise, favorisant ainsi une gestion plus efficace du personnel et la réalisation des objectifs organisationnels.

- Oczki (2014): L'étude se concentre sur l'application de l'analyse des chaînes de Markov pour prévoir l'offre de travail interne au sein des organisations. L'article aborde l'utilisation des données historiques sur les transitions d'emploi pour estimer les probabilités de mouvement entre les catégories d'emploi. L'étude met l'accent sur l'importance de la collecte de données, la définition des catégories d'emploi, l'estimation des probabilités de transition, la validation du modèle et

la prévision de l'offre de travail future. L'analyse des chaînes de Markov est soulignée pour sa capacité à capturer les dynamiques d'emploi et à éclairer les décisions en matière de planification des effectifs. Des pistes de recherche supplémentaires et d'amélioration sont identifiées.

- Syafawati et al. (2014): Cette étude se concentre sur l'utilisation du modèle de chaînes de Markov pour la planification des ressources humaines. L'objectif est de comprendre le flux de main-d'œuvre dans une université en Malaisie, en déterminant les probabilités et la durée moyenne de séjour des enseignants dans leur catégorie. Le modèle de chaînes de Markov est utilisé pour suivre les mouvements des enseignants et est validé en comparant les résultats aux données réelles. Les résultats obtenus permettent de proposer des suggestions pour le recrutement d'enseignants et la budgétisation de l'université à l'avenir. La précision des projections est évaluée par la marge d'erreur, et une marge d'erreur réduite indique une meilleure précision. Cette étude contribue ainsi à améliorer la planification des ressources humaines dans les universités.

- Ezugwu & Ologun (2017): Cette revue de littérature vise à discuter d'une étude sur l'utilisation des modèles de chaînes de Markov dans la planification des ressources humaines au sein des organisations. Des études antérieures ont utilisé ces modèles pour décrire les mouvements du personnel et prédire les besoins futurs en main-d'œuvre. L'étude applique le modèle à la structure de la faculté de l'université de Uyo au Nigeria, révélant une augmentation continue du nombre d'assistants diplômés, de maîtres de conférences seniors et de professeurs associés, tandis qu'une diminution progressive est observée pour les chargés de cours, les maîtres de conférences de rang inférieur, les maîtres de conférences de rang supérieur et les professeurs au cours des cinq prochaines années.

- Li et al. (2018): Cet article examine l'utilisation des chaînes de Markov comme modèle prédictif pour la planification des ressources humaines internes des entreprises. La prévision des ressources humaines joue un rôle essentiel dans le développement durable des entreprises, en assurant un approvisionnement adéquat en personnel qualifié. L'étude analyse les facteurs influençant l'approvisionnement interne en ressources humaines et compare différentes méthodes de prévision. En utilisant une approche basée sur les chaînes de Markov, les auteurs proposent un modèle de prévision qui permet de prédire les ressources humaines au sein de l'entreprise étudiée. Les résultats obtenus fournissent des suggestions pratiques pour optimiser l'approvisionnement

interne en ressources humaines et favoriser la croissance de l'entreprise. Cette étude contribue à la littérature sur la planification des ressources humaines en mettant en évidence l'efficacité des modèles basés sur les chaînes de Markov dans ce domaine.

- Mahdjouba (2021): Cette étude vise à évaluer la gestion prévisionnelle des ressources humaines au sein de l'entreprise et son utilisation dans différents domaines, afin de proposer un modèle pratique et scientifique applicable à toutes les entreprises nationales en fonction de leurs activités. En analysant la réalité actuelle des ressources humaines dans l'entreprise étudiée (CEVITAL Industries Corporation Food Bejaia), cette recherche met en évidence l'impact de la masse salariale et du nombre d'emplois sur la prévision de la demande en ressources humaines. En utilisant la méthode de régression linéaire, il a été démontré que ces deux facteurs expliquent 85,4 % de la variance des valeurs de recensement des ressources humaines. De plus, l'âge des ressources humaines a une influence sur la future structure de l'entreprise, notamment en raison du facteur de départ à la retraite. En utilisant la méthode des chaînes de transition de Markov pour évaluer l'offre de ressources humaines selon différentes tranches d'âge, il est estimé qu'en 2024, l'effectif des ressources humaines atteindra 4288 individus. Ces résultats contribuent à la littérature sur la gestion prévisionnelle des ressources humaines et fournissent des recommandations pratiques pour les entreprises.

MÉTHODOLOGIE

Notre méthodologie consiste à concevoir la structure actuelle des ressources humaines de l'entreprise en utilisant un modèle prédictif basé sur les chaînes de Markov. Pour cela, nous nous appuyons sur une étude réalisée en 2017 par les chercheurs Ezugwu & Ologun (2017). L'objectif principal de cette étude est d'identifier la proportion de ressources humaines qui se déplacent entre les différentes unités de l'entreprise, ainsi que ceux qui quittent définitivement l'unité pour diverses raisons telles que le licenciement, les mutations externes, les départs à la retraite ou la fin de contrat. Nous tenons également compte des nouvelles recrues, tant internes qu'externes.

Pour ce faire, nous utilisons un modèle de matrice de Markov, qui représente une transition homogène et indépendante du temps de premier ordre. Dans ce modèle, la probabilité de transition d'un état à l'état suivant dépend exclusivement de la distribution

actuelle des ressources humaines au sein de l'entreprise, sans tenir compte des états antérieurs. Ainsi, nous pouvons analyser et prédire les mouvements futurs du personnel en fonction de la situation actuelle de l'entreprise:

$$P[X_{n+1} = j | X_1, X_2, X_3, \dots, X_n] = P[X_{n+1} = j | X_n = i], \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, k \quad (1)$$

Le modèle proposé pour prédire la composition future des ressources humaines de l'entreprise se présente comme suit:

$$ERH_j^{(t+1)} = \sum_{i=1}^k ERH_i^{(t)} p_{ij}^{(t)} + R_j^{(t)} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, k \quad (2)$$

L'équation (2) peut être exprimée sous une forme simplifiée :

$$ERH_j^{(t+1)} = ERH_i^{(t)} p_{ii}^{(t)} + ERH_i^{(t)} p_{ij}^{(t)} R_j^{(t)} \dots (3)$$

Cela nous donnera le nombre de ressources humaines dans l'unité j au temps (t+1), puis le nombre total de ressources humaines au temps (t+1):

$$ERH(t+1) = \sum_{j=1}^k ERH_j^{(t+1)} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k ERH_i^{(t)} p_{ij}^{(t)} + \sum_{j=1}^k R_j^{(t)} \quad (4)$$

Où:

t: Les périodes de prévision, où T est l'horizon et t est le temps actuel;

i, j: Représente les différentes unités de l'entreprise dans notre étude (04 unités: DS-PS-PG-PB);

ERH_{ij}^(t): Représente le nombre de ressources humaines qui ont été transférées de l'unité i à l'unité j au début de l'année t;

ERH_i^(t): Représente le nombre de ressources humaines dans l'unité i au début de l'année t;

R_j^(t): Représente le nombre de ressources humaines nouvellement recrutées dans l'unité j au début de l'année t;

L_i^t: Représente le nombre de ressources humaines qui ont quitté l'unité i au cours de l'année t;

P_{ij}^(t): Représente la probabilité de transition de l'unité i à l'unité j au début de l'année t;

p_{io}^(t): Représente la probabilité de quitter définitivement l'emploi dans l'unité i au cours de l'année t;

p_{oj}^(t): Représente la probabilité de recrutement dans l'unité j au cours de l'année t.

Et pour appliquer ce modèle, nous suivrons les étapes suivantes:

1. Les hypothèses du modèle: La construction de ce modèle dans notre étude repose sur les hypothèses suivantes :

- Il y a quatre (04) unités au sein de l'entreprise entre lesquelles les mouvements ont lieu :
- ✓ Unité 1 : Directions de soutien (**DS** - Directions Support)
- ✓ Unité 2 : Pôle sucre (**PS** - Pôle Sucre)
- ✓ Unité 3 : Pôle gras (**PG** - Pôle Gras)
- ✓ Unité 4 : Pôle boisson (**PB** - Pôle Boisson)
- Les transitions entre les quatre unités se font sur une base annuelle.
- Il n'y a pas de transition double dans la même année t : cela signifie que les ressources humaines transférées de l'unité 1 à l'unité 2 au cours de l'année t ne seront pas transférées vers les unités 3 ou 4 au cours de la même année.
- Il y a des recrutements dans toutes les quatre unités j = 1, 2, 3, 4, ce qui signifie que:

$$\sum_{j=1}^4 p_{oj} = 1$$

- La matrice de transition des probabilités est constante sur la période de prévision et est donnée par l'expression suivante:

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} DS & 1 & PG & 2 & PS & 3 & PB & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{24} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{41} & P_{42} & \dots & P_{44} \end{bmatrix} \end{matrix} \dots (5)$$

Où : $\sum_{i=1}^4 p_{ij} = 1 - L_i$, (Cela signifie que la matrice P est une sous-matrice).

2. Estimation de la matrice de transition de probabilité:

Supposons que **ERH_{ij}^(t)** représente le déplacement du nombre de ressources humaines de l'unité i à l'unité j pendant l'année t. Ainsi, la distribution est multinomiale avec les probabilités **P_{ij}^(t)**, pour tout i, j = 1, 2, ..., k. La distribution est donnée par la formule suivante:

$$P[ERH_{i1}^{(t)}, ERH_{i2}^{(t)}, \dots, ERH_{ik}^{(t)}] = \frac{(\sum_{j=1}^k ERH_{ij}^{(t)})!}{\prod_{j=1}^k (ERH_{ij}^{(t)})!} \prod_{j=1}^k P_{ij}^{ERH_{ij}^{(t)}} \dots (6)$$

Pour réécrire l'équation de probabilité à partir de l'équation (6), nous obtenons:

$$\hat{P}_{ij}^{(t)} = \frac{ERH_{ij}^{(t)}}{ERH_i^{(t)}} \dots \dots \dots (7)$$

Étant donné que notre modèle repose sur l'hypothèse selon laquelle la matrice de transition est constante pendant toute la période de prévision, les probabilités $\hat{P}_{ij}^{(t)}$ sont calculées en agrégeant l'équation (7) pour les années précédentes, qui dans notre étude sont les années 2017, 2018 et 2019. Elles sont données par la formule suivante :

$$\hat{P}_{ij}^{(t)} = \frac{\sum_{t=1}^T ERH_{ij}^{(t)}}{\sum_{t=1}^T ERH_i^{(t)}} \dots \dots \dots (8)$$

3. Modèle de Prédiction de la Composition Future des Ressources Humaines de l'Entreprise:

Soit $\underline{ERH}^t$ la matrice ligne représentant le nombre de ressources humaines dans les quatre unités de l'entreprise au début de l'année t, alors:

$$\underline{ERH}^t = [\underline{ERH}_1^t, \underline{ERH}_2^t, \underline{ERH}_3^t, \underline{ERH}_4^t,] \\ \underline{ERH}^{t+1} = \underline{ERH}^t * M \dots \dots \dots (9)$$

La formule (9) représente le nombre de ressources humaines à prévoir pour l'année $t+1$ en multipliant la matrice ligne du nombre de ressources humaines de l'année t par la matrice de probabilité de transition M donnée par l'expression suivante:

$$\begin{matrix} & & M & & \\ \begin{matrix} DS \\ PG \\ PS \\ PB \end{matrix} & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} P_{11} + P_{10}P_{01} & P_{12} + P_{10}P_{02} & \dots & P_{14} + P_{10}P_{04} \\ P_{21} + P_{20}P_{01} & P_{22} + P_{20}P_{02} & \dots & P_{24} + P_{20}P_{04} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{41} + P_{40}P_{01} & P_{42} + P_{40}P_{02} & \dots & P_{44} + P_{40}P_{04} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Où: $P_{ij} = (P_{i0})(P_{0j})$

La matrice ci-dessus est interprétée comme suit : la probabilité de maintien des ressources humaines dans l'unité **DS** est la somme de la proportion de maintien dans la même unité, ajoutée au produit de la matrice de probabilité de recrutement et de la matrice de départ définitif de l'unité. Cette interprétation s'applique à toutes les unités. Pour extraire les paramètres du modèle, nous utilisons les données recueillies sur les flux et les mouvements des ressources humaines pour l'entreprise CEVITAL au cours des trois années 2017-2018-2019, comme indiqué dans les tableaux suivants (1-2-3-4).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

À partir des résultats du tableau (04) montrant le total des mouvements des ressources humaines entre les différentes unités (transferts, promotions, mutations, etc.) ainsi que les recrutements et les départs, et en utilisant l'équation (8), nous obtenons les trois matrices suivantes:

- Matrice de probabilité de transition P:

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} DS & PG & PS & PB \end{matrix} \\ \begin{matrix} DS \\ PG \\ PS \\ PB \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.9586 & 0.0188 & 0.0103 & 0.0006 \\ 0 & 0.9948 & 0.0032 & 0 \\ 0.0011 & 0.0024 & 0.9955 & 0 \\ 0.0006 & 0 & 0.0025 & 0.9923 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

À partir de la matrice de probabilité mentionnée ci-dessus, nous observons que la probabilité de rester dans l'unité DS est de 95,87 %, la probabilité de transition des ressources humaines de l'unité DS vers l'unité DG est de 1,89 %, la probabilité de transition de l'unité DS vers l'unité PS est de 1,04 %, et ainsi de suite pour les autres unités. Matrice de départ définitive P_{i0} :

$$P_{i0} = \begin{matrix} & \begin{matrix} DS \\ PG \\ PS \\ PB \end{matrix} \\ \begin{matrix} DS \\ PG \\ PS \\ PB \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.0117 \\ 0.0020 \\ 0.0010 \\ 0.0046 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Dans cette matrice, nous remarquons que la probabilité de départ des ressources humaines de l'unité DS est de 1,17 %, ce qui est relativement plus élevé par rapport aux autres unités où le taux de départ est de 0,2 % pour l'unité industrielle du pôle des matières grasses, 0,1 % pour le pôle industriel du sucre, et 0,4 % pour l'unité industrielle des eaux minérales et des boissons.

- La matrice d'embauche P_{0j} :

$$P_{0j} = [0.0208 \quad 0.5417 \quad 0.2708 \quad 0.1667]$$

En examinant les résultats de la matrice d'embauche, nous constatons que la direction industrielle du pôle des matières grasses à la part du lion dans le recrutement de nouvelles ressources humaines avec un taux de 54,17 %, suivie du pôle industriel du sucre avec un taux de 27,08 %, puis du pôle des eaux minérales avec un taux de 16,67 %. En dernière position, nous avons les directions de soutien dont le taux d'embauche ne dépasse pas 3 %. En utilisant les résultats des trois matrices et en effectuant les opérations de multiplication et d'addition de matrices, nous obtenons la matrice de

transition probabiliste de Markov **M**, qui peut être utilisée pour la prédiction des années à venir, comme suit :

$$M = \begin{bmatrix} 0.9588 & 0.02514 & 0.01346 & 0.00255 \\ 0.0000416 & 0.99588 & 0.0037416 & 0.0003334 \\ 0.0011208 & 0.0029417 & 0.9957708 & 0.0001667 \\ 0.00069568 & 0.00249182 & 0.00374568 & 0.9930682 \end{bmatrix} /$$

$$[P] + [P_{10}][P_{0j}]$$

$$[P_{10}][P_{0j}] = \begin{bmatrix} 0.0024336 & 0.00633789 & 0.00316836 & 0.00195039 \\ 0.000416 & 0.0010834 & 0.0005416 & 0.0003334 \\ 0.000208 & 0.0005417 & 0.0002708 & 0.0001667 \\ 0.0009568 & 0.00249182 & 0.00124588 & 0.00076682 \end{bmatrix}$$

Et en se référant à l'équation (9), en multipliant la matrice **M** par la matrice des effectifs des ressources humaines pour l'année 2019 (matrice ligne), on obtient la répartition des ressources humaines pour l'année 2020. Ensuite, nous répétons le même processus pour les quatre années suivantes pour obtenir les résultats mentionnés dans (**Tableau : 05**).

Les résultats présentés dans le tableau (**tableau 05**) indiquent que les directions de soutien et la direction industrielle du pôle sucre ont des taux variables de perte de ressources humaines, estimés à 7 employés dans les directions de soutien et 12 employés dans le pôle sucre. Cela peut être dû à plusieurs raisons telles que la fin du contrat de travail, la retraite anticipée et d'autres conditions de travail. En revanche, les directions industrielles du pôle oléagineux et du pôle eaux minérales et boissons montrent une probabilité élevée d'embauche, ce qui confirme la validité de la deuxième hypothèse partielle selon laquelle les mouvements de personnel entre les différents pôles de l'entreprise influencent la composition future.

Après avoir testé l'application de la méthode des chaînes de Markov de transition sur l'entreprise étudiée, nous avons pu prédire la composition future attendue des ressources humaines en se basant sur les mouvements des employés entre les différentes unités industrielles et les départements de soutien. Cette conclusion est en accord avec l'étude réalisée par Ezugwu & Ologun (2017), qui a démontré que cette méthode peut être utilisée pour prédire la composition future des ressources humaines en suivant leurs mouvements jusqu'à leur départ de l'entreprise, que ce soit par expiration des contrats de travail, préretraite, démission, etc. Pour obtenir des résultats précis en utilisant cette méthode, il est essentiel de disposer d'un système d'information efficace lié à la gestion des ressources humaines, comme celui mis en place par l'entreprise Cevital.

CONCLUSION

Cette étude de cas est une source précieuse d'informations pour CEVITAL Industries Alimentaires et d'autres entreprises du secteur alimentaire, leur permettant de prendre des décisions stratégiques éclairées en matière de gestion des ressources humaines. Les résultats obtenus peuvent contribuer à optimiser la planification des effectifs, à identifier les écarts potentiels entre l'offre et la demande de main-d'œuvre, et à mettre en place des politiques de recrutement et de rétention plus efficaces.

L'utilisation de la méthode des chaînes de Markov de transition nous a permis de déterminer le nombre de départs de ressources humaines dus à la démission, la mutation, le licenciement, ainsi que le nombre de départs à la retraite prévus. Ces deux méthodes nous ont aidés à évaluer l'écart entre l'offre et la demande en ressources humaines dans les différents départements industriels de l'entreprise d'ici 2024, et à proposer des mesures nécessaires pour y remédier afin d'éviter les problèmes de pénurie ou de surplus.

En conclusion, cette étude propose une approche novatrice pour relever les défis de la gestion des ressources humaines en utilisant les chaînes de Markov. Elle met en évidence l'importance de l'analyse prévisionnelle pour une planification stratégique efficace des ressources humaines. Les résultats obtenus peuvent avoir un impact significatif sur la performance organisationnelle et la prise de décision, tant pour l'entreprise CEVITAL Industries Alimentaires que pour d'autres organisations similaires.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Achoui, N. (2006). Les méthodes scientifiques de planification des ressources humaines au niveau de l'entreprise. *Journal of North African Economies*. Volume3. N4. 155-180. <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/9/3/4/1506>
- [2] Ezugwu, V.O., & Ologun, S. (2017). Markov chain: a predictive model for manpower planning. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 21(3):557. <https://doi:10.4314/jasem.v21i3.17>
- [3] Li, P., Liu, F., & Li, C. (2018). Markov-Based Forecasting Model for Enterprise Human Resources Internal Supply. *Advances in Computer Science Research*, Volume 80, pp 427.
- [4] Mahdjouba, H. (2021). Predictive Management of Human Resources at the Organizational

- Level: A Theoretical and Applied Study. (*Doctoral dissertation*). University of Ain Temouchent. Algeria.
- [5] Oczki, J. (2014). Forecasting Internal Labour Supply with a Use of Markov Chain Analysis. *International Journal of Knowledge, innovation and Entrepreneurship*. Vol 2, N2. Pp 39-49. https://www.ijkie.org/IJKIE_August2014_JAROSLAW%20OCZKI.pdf
- [6] Syafawati Ab Saad, Farah Adibah Adnan, Haslinda Ibrahim, Rahela Rahim. (2014). Manpower planning using Markov Chain model. *AIP Conference Proceedings 10 July 2014*; 1605 (1): 1123–1127. <https://doi.org/10.1063/1.4887748>

TABLEAUX

Tableau (01)

Mouvements des ressources humaines dans l'entreprise pour 2017

 Vers j à partir de i	(1) DS	(2) PG	(3) PS	(4) PB	L_i	$ERH_i^{(2017)}$
(1) DS	1544	26	19	0	9	1598
(2) PG	0	626	07	0	1	634
(3) PS	0	0	1428	0	4	1432
(4) PB	0	0	0	660	1	661
Recrutement j	0	10	6	4	//	20

Source: Élaboré par les chercheurs sur la base des données du service Reporting-RH pour la période 2017-2019.

Tableau (02)

Mouvements des ressources humaines dans l'entreprise pour 2018

 Vers j à partir de i	(1) DS	(2) PG	(3) PS	(4) PB	L_i	$ERH_i^{(2018)}$
(1) DS	1252	35	11	0	9	1307
(2) PG	0	842	0	0	0	842
(3) PS	3	5	1475	0	0	1483
(4) PB	1	0	0	696	1	698
Recrutement j	2	17	13	7	//	39

Source: Élaboré par les chercheurs sur la base des données du service Reporting-RH pour la période 2017-2019.

Tableau (03)

Mouvements des ressources humaines dans l'entreprise pour 2019

 Vers j à partir de i	(1) DS	(2) PG	(3) PS	(4) PB	L_i	$ERH_i^{(2019)}$
(1) DS	1151	17	13	3	28	1212
(2) PG	0	1002	1	0	4	1007
(3) PS	2	6	1548	0	0	1556
(4) PB	0	0	5	572	7	584
Recrutement j	0	25	7	5	//	37

Source: Élaboré par les chercheurs sur la base des données du service Reporting-RH pour la période 2017-2019.

Tableau (04)

Total des mouvements des ressources humaines dans l'entreprise pendant la période 2017-2019

 Vers j à partir de i	(1) DS	(2) PG	(3) PS	(4) PB	L_i	$ERH_i^{(2017-2019)}$
(1) DS	3947	78	43	3	46	4117
(2) PG	0	2470	8	0	5	2483
(3) PS	5	11	4451	0	4	4471
(4) PB	1	0	5	1928	9	1943
Recrutement j	2	52	26	16	//	96

Source: Élaboré par les chercheurs sur la base des données du service Reporting-RH pour la période 2017-2019.

Tableau (05)

Répartition des mouvements des ressources humaines pour les cinq prochaines années (sans prendre en compte les départs à la retraite)

Les Années	DS	PG	PS	PB	$\sum ERH^t$
2020	1210	1009	1554	589	4362
2021	1208	1012	1549	599	4368
2022	1206	1014	1547	604	4371
2023	1204	1014	1544	609	4372
2024	1203	1018	1542	619	4382

Où:

(1) DS : Les directions de soutien;

(2) PG : La direction industrielle du pôle des matières grasses;

(3) PS : La direction industrielle du pôle sucre;

(4) PB : La direction industrielle du pôle des eaux minérales et boissons;

L_i : Les ressources humaines ayant quitté définitivement leur unité;

$ERH_i^{(t)}$: Effectif des ressources humaines au début de l'année t ;