
RAPPORT DE PROJET :
MARCHÉ DU TRAVAIL SIMPLIFIÉ - COURBE DE
BEVERIDGE

MU5IN254 - Modélisation et Simulation Multi-Agents

M2 Informatique - Spécialité ANDROIDE



Année universitaire 2019-2020

Sommaire

1	Modèle de base	1
1.1	Étude du modèle	1
1.1.1	Les agents, leurs attributs et leurs comportements	1
1.1.2	Algorithmes permettant de calculer le modèle	2
1.2	Implémentation du modèle en NetLogo	6
1.2.1	Paramètres de la simulation	6
1.2.2	Visualisation en temps réel des agents et de leurs interactions . . .	6
1.2.3	Comment reproduire la courbe de Beveridge à partir de l'interface? . .	7
1.3	Reproduction de la courbe de Beveridge	8
1.4	Étude de l'efficacité de ce marché du travail virtuel	10
1.4.1	Étude de l'efficacité du marché du travail pour $U=100$, $V=100$. .	10
1.4.2	Étude de l'efficacité du marché du travail pour $U=100$, $V=400$. .	11
1.4.3	Étude de l'efficacité du marché du travail pour $U=400$, $V=100$. .	12
1.4.4	Étude de l'efficacité du marché du travail pour $U=400$, $V=400$. .	13
1.5	Sensibilité aux paramètres	13
2	Extensions du modèle	19
2.1	Processus de démission des employés	19
2.2	Autres limites du modèle	20
2.3	Première extension : Système ouvert avec des agents vieillissant	22
2.4	Deuxième extension : Entreprises proposant plusieurs emplois	23
2.5	Combinaison des deux extensions	24

1 Modèle de base

1.1 Étude du modèle

1.1.1 Les agents, leurs attributs et leurs comportements

Le modèle est composé de trois types d'agents : les agents de type PERSON qui représentent des individus, ceux de type COMPANY qui représentent des entreprises et l'agent MATCHING qui joue le rôle d'environnement (i.e. le marché du travail) et permet aux deux premiers types d'agents cités d'interagir entre eux.

Attributs des agents :

Les attributs d'un agent PERSON sont les suivants :

- **employed** qui indique s'il possède un emploi ($employed = True$) ou s'il est au chômage ($employed = False$)
- **skills** qui précise ses compétences
- **location** qui indique sa position
- **salary** qui correspond au salaire minimum attendu

Les attributs d'un agent COMPANY sont presque identiques mais n'ont pas les mêmes significations :

- **filled** indique si l'unique emploi proposé par l'entreprise a été pourvu ($filled = True$) ou non ($filled = False$)
- **skills** correspond aux compétences attendues par l'entreprise pour l'emploi qu'elle propose
- **location** indique sa position
- **salary** correspond au salaire proposé pour le poste

Les attributs de l'agent MATCHING sont les suivants :

- **unemployed** qui regroupe l'ensemble des demandeurs d'emplois sous forme de liste
- **vacant** qui regroupe l'ensemble des postes vacants sous forme de liste

Comportements des agents :

A chaque itération de la simulation, les agents PERSON à la recherche d'un emploi (i.e. $employed = False$) envoient un message à l'agent MATCHING afin que celui-ci

mette à jour sa liste **unemployed**. De la même manière, les agents COMPANY à la recherche d'un employé (i.e. *filled* = *False*) l'indiquent à l'agent MATCHING qui met alors à jour sa liste **vacant**. L'agent MATCHING génère ensuite aléatoirement un certain nombre de couples (*unemployedWorker*, *vacantJob*) à partir de ses listes puis il calcule les similarités *unemployedWorker* - *vacantJob* et *vacant* - *unemployedWorker* (les calculs de similarités seront détaillés dans la section 1.1.2) afin de déterminer s'il peut les apparier ou non. L'appariement s'effectue si et seulement si la moyenne des scores de similarité *unemployedWorker* - *vacantJob* et *vacantJob* - *unemployedWorker* au sein d'un couple est supérieure à un certain seuil. Si tel est le cas, l'agent MATCHING informe l'individu et l'entreprise concernés que leur statut ont changé (respectivement *employed* = *True* et *filled* = *True*) et le nouvel employé communiquera à chaque itération suivante sa productivité afin que l'entreprise puisse évaluer ses performances. Si sa productivité est supérieure à un certain seuil, l'individu conservera sa place au sein de l'entreprise, sinon il sera renvoyé et son attribut **employed** repassera à *False* (l'attribut **filled** de l'entreprise repassera à *False*).

1.1.2 Algorithmes permettant de calculer le modèle

Les algorithmes qui ont été utilisé pour calculer l'ensemble du modèle sont les suivants :

Algorithme 1 : Boucle principale

```

procédure go()
    Demander à tous les agents PERSON d'exécuter la procédure
        persons_procedure;
    Demander à tous les agents COMPANY d'exécuter la procédure
        companies_procedure;
    Demander à l'agent MATCHING d'exécuter la procédure
        matching_procedure;
fin procédure

```

Algorithme 2 : Routine d'un agent PERSON

```

procédure persons_procedure()
    si l'agent PERSON est à la recherche d'un emploi alors
        | Ajouter cet agent à la liste unemployed de l'agent MATCHING
    fin
fin procédure

```

Algorithme 3 : Routine d'un agent COMPANY

```
procédure companies_procedure()
|
| si l'agent COMPANY est à la recherche d'un employé alors
| | Ajouter l'entreprise à la liste vacant de l'agent MATCHING
| fin
| sinon
| |  $similarity \leftarrow 0$ ;
| | pour chaque  $i \in [1, \text{taille}(\text{employe.skills})]$  faire
| | | si  $\text{employe.skills}[i] == \text{company.skills}[i]$  alors
| | | |  $similarity \leftarrow similarity + 1$ ;
| | | fin
| | fin
| |  $similarity \leftarrow similarity/5$ ;
| | Tirer aléatoirement un nombre décimal  $r1 \in [1, 2[$ ;
| |  $\text{employe.productivity} \leftarrow$ 
| |  $r1 \times \text{max\_productivity\_fluctuation} \times similarity$ ;
| | Tirer aléatoirement un nombre décimal  $r2 \in [0, 1[$ ;
| | si  $(r2 < \text{unexpected\_firing})$  ou  $(\text{productivity} < \text{firing\_quality\_threshold})$ 
| | | alors
| | | | L'employé actuel est renvoyé et le poste redevient vacant
| | fin
| fin
fin procédure
```

Algorithme 4 : Routine de l'agent MATCHING

procédure *matching_procedure()*

nb_paires $\leftarrow \min(nb_paires_max, taille(vacant), taille(unemployed))$;
considered_vacant \leftarrow tirer aléatoirement *nb_paires* éléments dans *vacant*;
considered_unemployed \leftarrow tirer aléatoirement *nb_paires* éléments dans
unemployed;
hiring_level $\leftarrow 0$;
firing_level $\leftarrow 0$;
pour chaque *employe* \in *considered_vacant* **faire**
 pour chaque *company* \in *considered_unemployed* **faire**
 similarity_e $\leftarrow compute_similarities_person(employe, company)$;
 similarity_c $\leftarrow compute_similarities_company(employe, company)$;
 si $|similarity_e - similarity_c| \leq exceptional_matching$ ou
 $\frac{similarity_e + similarity_c}{2} \geq matching_quality_threshold$ **alors**
 Retirer *company* de la liste *vacant* de l'agent MATCHING;
 Retirer *employe* de la liste *unemployed* de l'agent MATCHING;
 Passer le statut *employed* de *employe* à *True*;
 Passer le statut *filled* de *company* à *True*;
 Indiquer que *employe* et *company* sont maintenant liés;
 fin
 fin
fin
fin procédure

Algorithme 5 : Calcul de l'affinité d'un agent PERSON pour un agent COMPANYY

```
procédure compute_similarities_person(employe, company)
    similarity  $\leftarrow$  0;
    pour chaque  $i \in [1, \text{taille}(\text{employe.skills})]$  faire
        si employe.skills[ $i$ ] == company.skills[ $i$ ] alors
            similarity  $\leftarrow$  similarity + 1;
        fin
    fin
    similarity  $\leftarrow$  similarity/5;
    similarity  $\leftarrow$  similarity  $\times$  (similarity + 1 –
        distanceEuclidienne(employe, company)/max_distance;
    diff_salary  $\leftarrow$  employe.salary – company.salary;
    similarity  $\leftarrow$  similarity  $\times$  (similarity + 0.5  $\times$  (1 + diff_salary/max_salary));
    Tirer aléatoirement un nombre décimal unexpected_worker_motivation;
    similarity  $\leftarrow$  similarity/(3 + unexpected_worker_motivation);
fin procédure
```

Algorithme 6 : Calcul de l'affinité d'un agent COMPANYY pour un agent PERSON

```
procédure compute_similarities_company(employe, company)
    similarity  $\leftarrow$  0;
    pour chaque  $i \in [1, \text{taille}(\text{employe.skills})]$  faire
        si employe.skills[ $i$ ] == company.skills[ $i$ ] alors
            similarity  $\leftarrow$  similarity + 1;
        fin
    fin
    similarity  $\leftarrow$  similarity/5;
    similarity  $\leftarrow$  similarity  $\times$  (similarity + 1 –
        distanceEuclidienne(employe, company)/max_distance;
    diff_salary  $\leftarrow$  company.salary – employe.salary;
    similarity  $\leftarrow$  similarity  $\times$  (similarity + 0.5  $\times$  (1 + diff_salary/max_salary));
    Tirer aléatoirement un nombre décimal unexpected_company_motivation;
    similarity  $\leftarrow$  similarity/(3 + unexpected_company_motivation);
fin procédure
```

1.2 Implémentation du modèle en NetLogo

1.2.1 Paramètres de la simulation

Les paramètres de la simulation sont les suivants :

- **number_of_persons** : le nombre initial d'agents PERSON dans le monde
- **number_of_companies** : le nombre initial d'agents COMPANY dans le monde
- **matching_quality_threshold** : la moyenne de similarité minimale nécessaire pour qu'un appariement personne-entreprise s'effectue
- **firing_quality_threshold** : la productivité minimale nécessaire pour qu'un employé ne se fasse pas renvoyer par l'entreprise
- **unexpected_firing** : la probabilité qu'un employé se fasse renvoyer de manière inattendue
- **max_productivity_fluctuation** : le taux de fluctuation maximal de la productivité d'un employé
- **unexpected_company_motivation** : volonté d'une entreprise de trouver un employé pour le poste proposé, plus elle est élevée, plus l'affinité d'une personne pour une entreprise augmente
- **unexpected_worker_motivation** : volonté d'une personne de trouver un emploi, plus elle est élevée, plus l'affinité d'une entreprise pour une personne augmente
- **exceptional_matching** : si la différence entre l'affinité d'une personne pour une entreprise et l'affinité d'une entreprise pour une personne est inférieure à ce seuil, alors l'appariement personne-entreprise s'effectue

1.2.2 Visualisation en temps réel des agents et de leurs interactions

Afin de visualiser les agents et leurs interactions en temps réel, nous avons :

- représenté les agents PERSON en **rouge** lorsqu'ils sont à la recherche d'un emploi, en **vert** lorsqu'ils en ont un
- représenté les agents COMPANY en **rouge** lorsqu'ils sont à la recherche d'un employé, en **vert** lorsque le poste qu'elle propose a été pourvu
- représenté l'agent MATCHING en blanc
- placé l'ensemble des agents aléatoirement dans le monde
- fait en sorte que des liens (traits blancs) apparaissent entre un agent PERSON et un agent COMPANY lorsque l'agent MATCHING les apparie

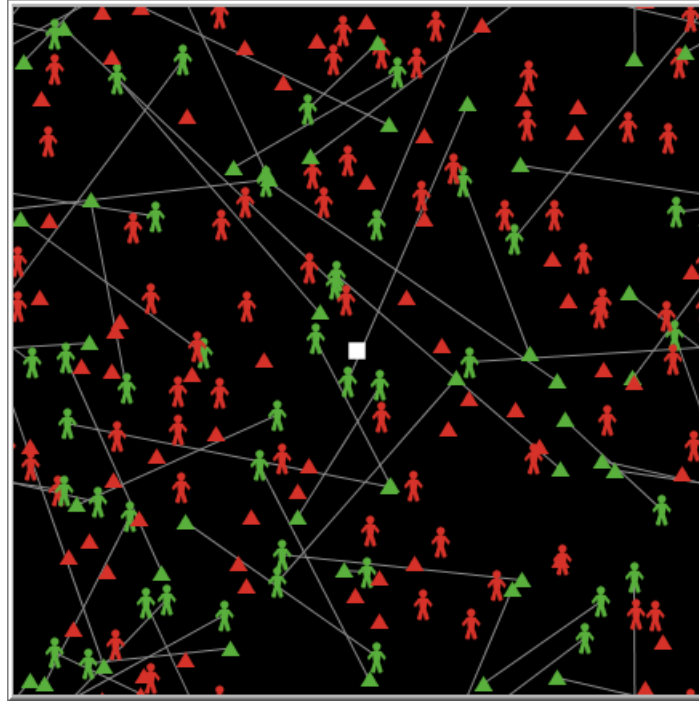


FIGURE 1 – Visualisation des agents et de leurs interactions grâce à l’interface graphique de NetLogo

1.2.3 Comment reproduire la courbe de Beveridge à partir de l’interface ?

Pour reproduire la courbe de Beveridge à partir de l’interface, il suffit de faire tourner plusieurs simulations en faisant varier le nombre d’individus et le nombre d’entreprises initialement présents dans le monde puis d’afficher les points (*vacancy_rate*, *unemployment_rate*) obtenus à la fin de chaque simulation. Décrivons cela plus en détail :

Algorithme 7 : Lancement de plusieurs simulations pour obtenir la courbe de Beveridge

```

procédure beveridge_simulations()
  pour chaque  $U \in 100, 200, 300, 400$  faire
    pour chaque  $V \in 100, 200, 300, 400$  faire
      run_simulation();
    fin
  fin
  Ajouter moyenne(u_to_plot) à list_u;
  Ajouter moyenne(v_to_plot) à list_v;
fin procédure

```

Algorithme 8 : Exécution d'une simulation

```
procédure run_simulation()
  timeout  $\leftarrow$  5000;
  convergence  $\leftarrow$  False;
  si taille(unemployment_rate_list) > 20 alors
    convergence  $\leftarrow$  ( $|vacancy\_rate_t - vacancy\_rate_{t-1}| <$ 
      convergence\_threshold and
       $|unemployment\_rate_t - unemployment\_rate_{t-1}| <$ 
      convergence\_threshold);
  fin
  sinon
    convergence  $\leftarrow$  False;
  fin
  si show_beveridge == True et (ticks  $\geq$  timeout ou convergence == True)
    alors
      Afficher le point (vacancy_rate_t, unemployment_rate_t) sur le graphique
      Courbe de Beveridge;
    fin
    Ajouter vacancy_rate_t à v_to_plot;
    Ajouter unemployment_rate_t à u_to_plot;
fin procédure
```

Remarque : Les variables *u_to_plot*, *v_to_plot*, *list_u* et *list_v* sont des variables globales.

Afin de visualiser la courbe sur notre interface, il suffit d'activer le bouton *show_beveridge*, puis cliquer sur le bouton *Beveridge Curve*. La simulation peut ensuite être observée sur la surface dédiée à cet effet.

1.3 Reproduction de la courbe de Beveridge

Les paramètres que nous avons choisi pour reproduire la courbe de Beveridge sont les mêmes que ceux donnés dans l'article, à savoir :

- 0.5 pour **matching_quality_threshold**
- 0.5 pour **firing_quality_threshold**
- 0.1 pour **unexpected_firing**
- 0.3 pour **max_productivity_fluctuation**
- 0.1 pour **unexpected_company_motivation**
- 0.1 pour **unexpected_worker_motivation**

Par ailleurs, nous avons fait varier les nombres initiaux d'agents PERSON et d'agents COMPANY de 100 à 400 et avons fixé **exceptionnal_matching** à 0.1.

La courbe de Beveridge obtenue est la suivante :



FIGURE 2 – Points obtenus expérimentalement

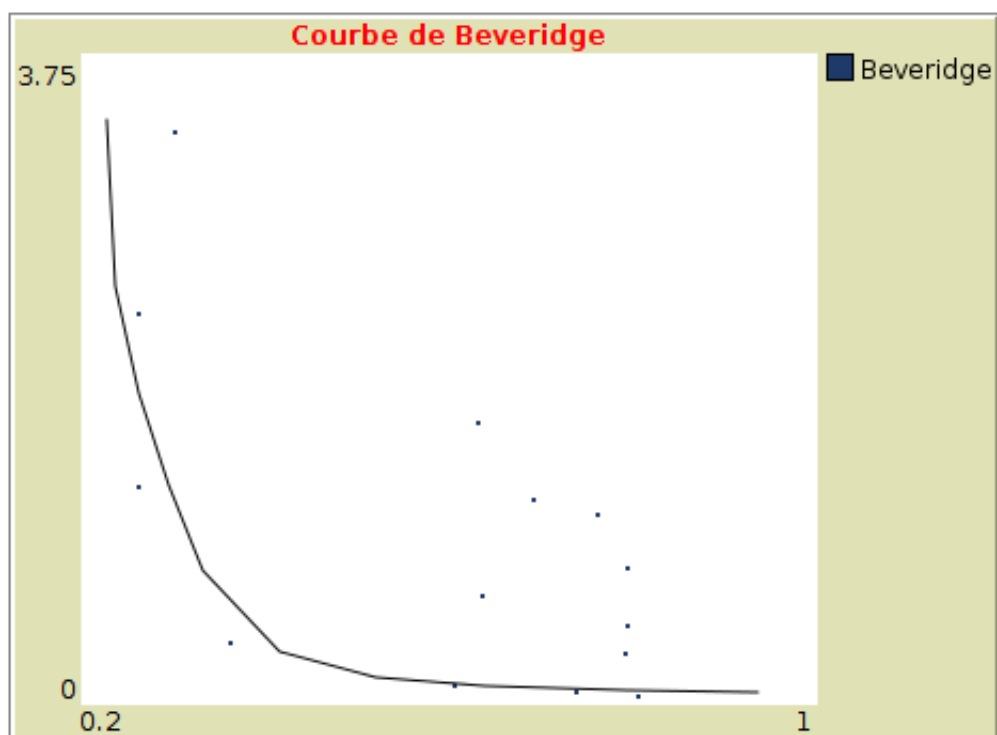


FIGURE 3 – Courbe passant au plus près de chaque point obtenu expérimentalement

On constate qu'elle a bien la même allure que la courbe présentée dans l'article étudié.

1.4 Étude de l'efficacité de ce marché du travail virtuel

1.4.1 Étude de l'efficacité du marché du travail pour U=100, V=100

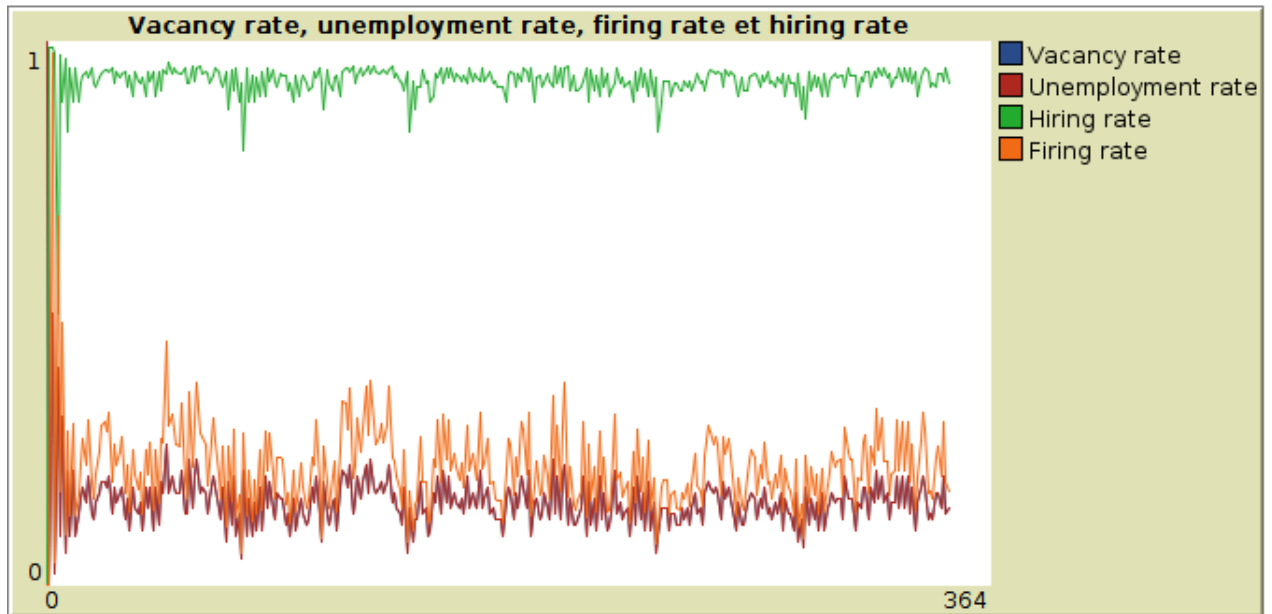


FIGURE 4 – Efficacité du marché du travail virtuel pour U=100 et V=100

La figure ci-dessus montre l'évolution des taux de postes vacants, de chômage, d'embauche et de licenciements en fonction du temps, et ce pour $U = 100$ et $V = 100$ ainsi que les mêmes paramètres que ceux utilisés pour reproduire la courbe de Beveridge.

Les résultats obtenus montrent que le taux d'embauche est élevé tandis que le taux de licenciements est bas. On constate également des taux de chômage et de vacance relativement bas, ce qui paraît assez logique puisque nous avons un taux de licenciements bas et un taux d'embauche relativement haut. En outre, à chaque instant t , le système présente le même nombre de postes vacants que de chômeurs ce qui augmente les probabilités d'embauche et réduit le chômage. En effet, un faible rapport $\frac{\text{nombre de postes vacants}}{\text{nombre de chômeurs}}$ se serait traduit par un taux de chômage élevé. Inversement, un faible rapport $\frac{\text{nombre de chômeurs}}{\text{nombre de postes vacants}}$ se serait traduit par un faible taux de postes vacants.

1.4.2 Étude de l'efficacité du marché du travail pour $U=100$, $V=400$



FIGURE 5 – Efficacité du marché du travail virtuel pour $U=100$ et $V=400$

La figure ci-dessus montre l'évolution des taux de postes vacants, de chômage, d'embauche et de licenciements en fonction du temps, et ce pour $U = 100$ et $V = 400$ ainsi que les mêmes paramètres que ceux utilisés pour reproduire la courbe de Beveridge.

Les résultats obtenus montrent que le taux d'embauche et le taux de vacance sont élevés tandis que le taux de licenciements et le taux de chômage est bas.

La différence constatée par rapport à la courbe précédente se voit notamment au niveau du taux de postes vacants. En effet, dans ce cas, le nombre de postes vacants est 4 fois plus élevé que le nombre de chômeurs à tout instant t . Ainsi, à chaque pas de temps il y a au moins $\frac{3}{4}$ des postes qui se retrouvent vacants.

Le taux de chômage quant à lui se retrouve en baisse puisque le rapport $\frac{\text{nombre de postes vacants}}{\text{nombre de chômeurs}}$ est relativement élevé. Les chômeurs ont donc plus d'opportunités de travail et leur nombre se voit baisser.

1.4.3 Étude de l'efficacité du marché du travail pour $U=400$, $V=100$



FIGURE 6 – Efficacité du marché du travail virtuel pour $U=400$ et $V=100$

La figure ci-dessus montre l'évolution des taux de postes vacants, de chômage, d'embauche et de licenciements en fonction du temps, et ce pour $U = 400$ et $V = 100$ ainsi que les mêmes paramètres que ceux utilisés pour reproduire la courbe de Beveridge.

Les résultats obtenus montrent que le taux de chômage est très élevé tandis que le taux de vacance, le taux de licenciements et le taux d'embauche est bas.

La différence constatée par rapport aux courbes précédentes réside notamment dans le taux de chômage. En effet, dans ce cas, le nombre de chômeurs est 4 fois plus élevé le le nombre de postes vacants à tout instant t . Ainsi, à chaque pas de temps il y a au moins $\frac{3}{4}$ des personnes qui se retrouvent au chômage.

Le taux de vacances quant à lui se retrouve en baisse considérable puisque le rapport $\frac{\text{nombre de chomeurs}}{\text{nombres de postes vacants}}$ est très élevé. Les postes ont donc plus d'opportunités de trouver un employé, leur nombre se voit ainsi baisser, tandis que les chômeurs ont moins de chances d'avoir du travail et leur nombre reste élevé. Le taux d'embauche reste également faible puisqu'il y a un nombre faible de postes vacants.

1.4.4 Étude de l'efficacité du marché du travail pour $U=400$, $V=400$



FIGURE 7 – Efficacité du marché du travail virtuel pour $U=400$ et $V=400$

La figure ci-dessus montre l'évolution des taux de postes vacants, de chômage, d'embauche et de licenciements en fonction du temps, et ce pour $U = 400$ et $V = 400$ ainsi que les mêmes paramètres que ceux utilisés pour reproduire la courbe de Beveridge.

Les résultats obtenus montrent que le taux d'embauche est très élevé tandis que le taux de vacance, le taux de licenciements et le taux de chômage est bas.

La courbe ci-dessus est très similaire à la courbe obtenue pour $U=100$ et $V=100$ et ceci s'explique par le fait que le rapport $\frac{U}{V}$ est identique dans les deux cas de figure.

Les cas étudiés précédemment montrent que le rapport entre U et V est très déterminant dans l'étude de l'efficacité du marché de travail virtuel. Un rapport $\frac{\text{nombre de chômeurs}}{\text{nombre de postes vacants}}$ élevé se traduit par un taux de chômage élevé et un faible taux d'embauche, tandis qu'un rapport inverse $\frac{\text{nombre de postes vacants}}{\text{nombre de chômeurs}}$ élevé se traduit par un faible taux de chômage et un taux de vacances élevé.

À l'issue de chacune des expériences précédentes, les taux se stabilisent bien autour d'une moyenne mais changent tout de même puisque le système n'est pas déterministe et qu'il y a une stochasticité à chaque pas de temps.

1.5 Sensibilité aux paramètres

Afin d'analyser la sensibilité aux paramètres de notre simulation nous avons fait varier, un à un, chaque paramètre de celle-ci (les autres étant fixés) puis nous avons observé

l'impact que cela avait sur la courbe de Beveridge expérimentale, le taux de chômage, le taux de postes vacants, le taux d'embauche et le taux de licenciements.

Impact des variations du paramètre `unexpected_firing`

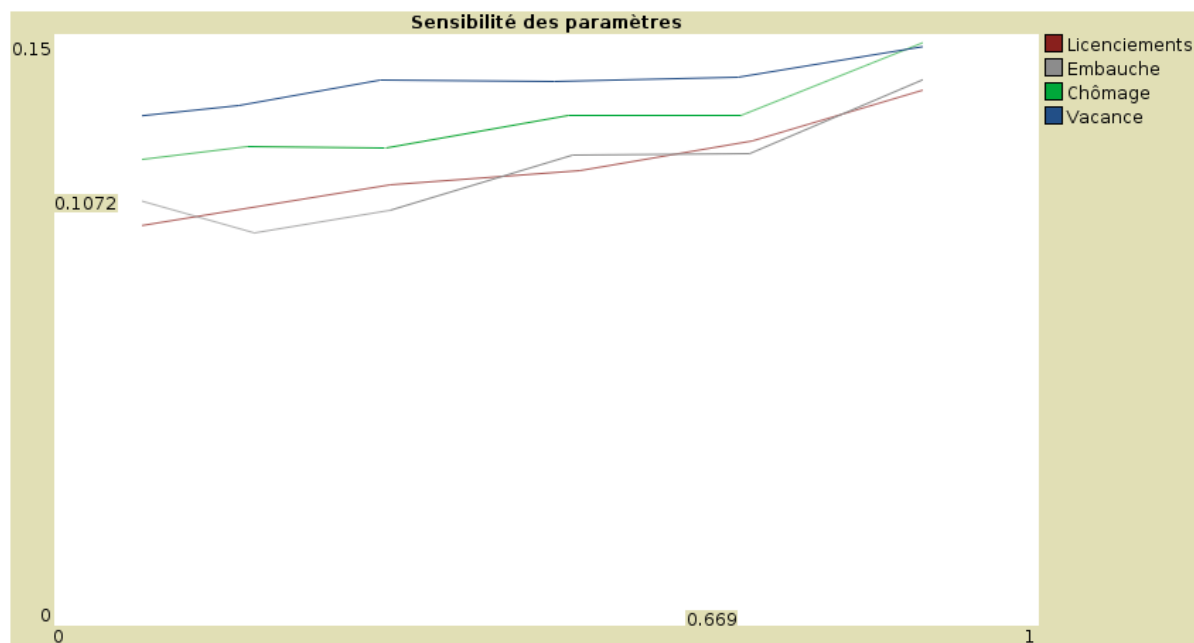


FIGURE 8 – Taux de licenciements, d'embauche, de chômage et de postes vacants en fonction de `unexpected_firing`

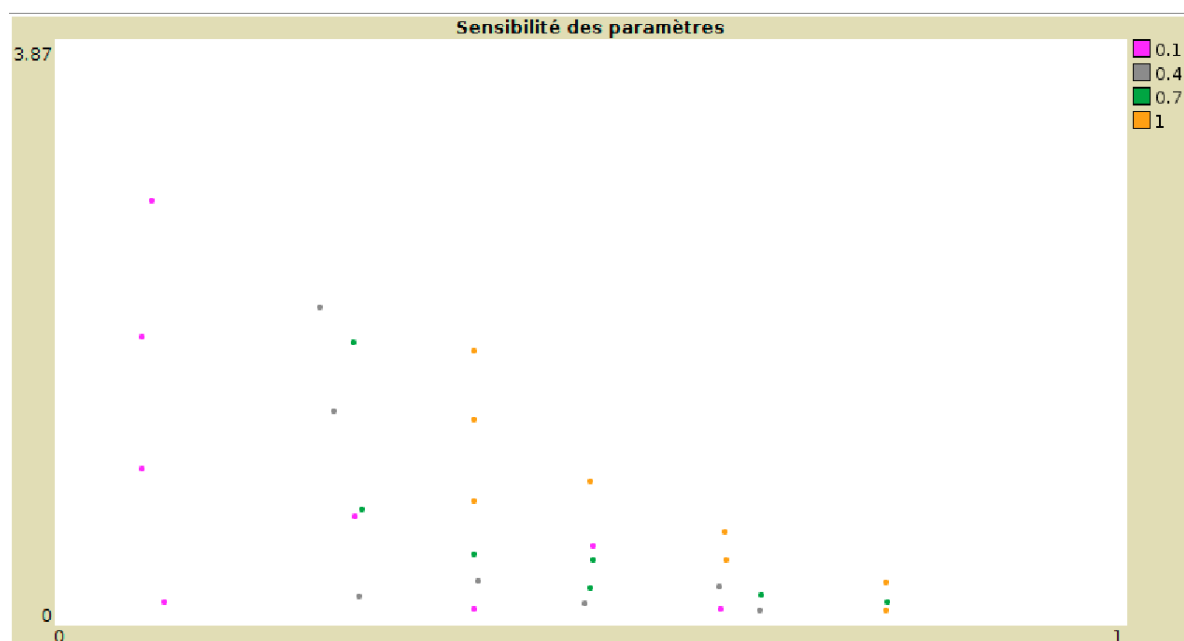


FIGURE 9 – Courbes de Beveridge obtenues selon différentes valeurs de `unexpected_firing`

La Figure 8 nous permet d'observer que, plus on augmente la probabilité de se faire renvoyer de manière inattendue, plus les taux de licenciements, d'embauche, de chômage

et de postes vacants augmentent. Cela paraît logique et coïncide avec les courbes de Beveridge obtenues à la Figure 9. En effet, on observe que lorsqu'**unexpected_firing** est maximal, la courbe de Beveridge s'éloigne des axes des abscisses et des ordonnées, ce qui correspond à une dégradation de l'appariement individu-entreprise ici causée par le fait que les employés se font trop souvent renvoyer.

Ceci se traduit dans la vie réel par le fait que des licenciements trop fréquents mènent vers un taux de chômage et un taux de vacance élevés et qu'à chaque licenciement l'ex-employé se voit dans l'obligation de chercher un autre emploi et l'entreprise un nouvel employé ce qui explique l'augmentation des taux d'embauche.

Impact des variations du paramètre **matching_quality_threshold**

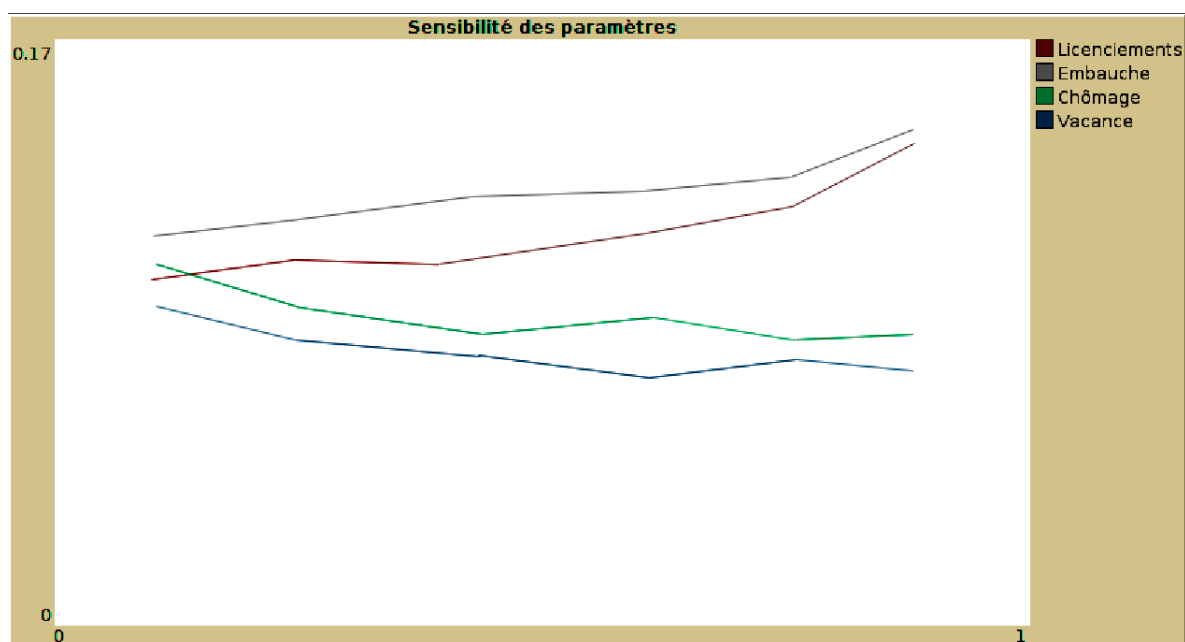


FIGURE 10 – Taux de licenciements, d'embauche, de chômage et de postes vacants en fonction de **matching_quality_threshold**

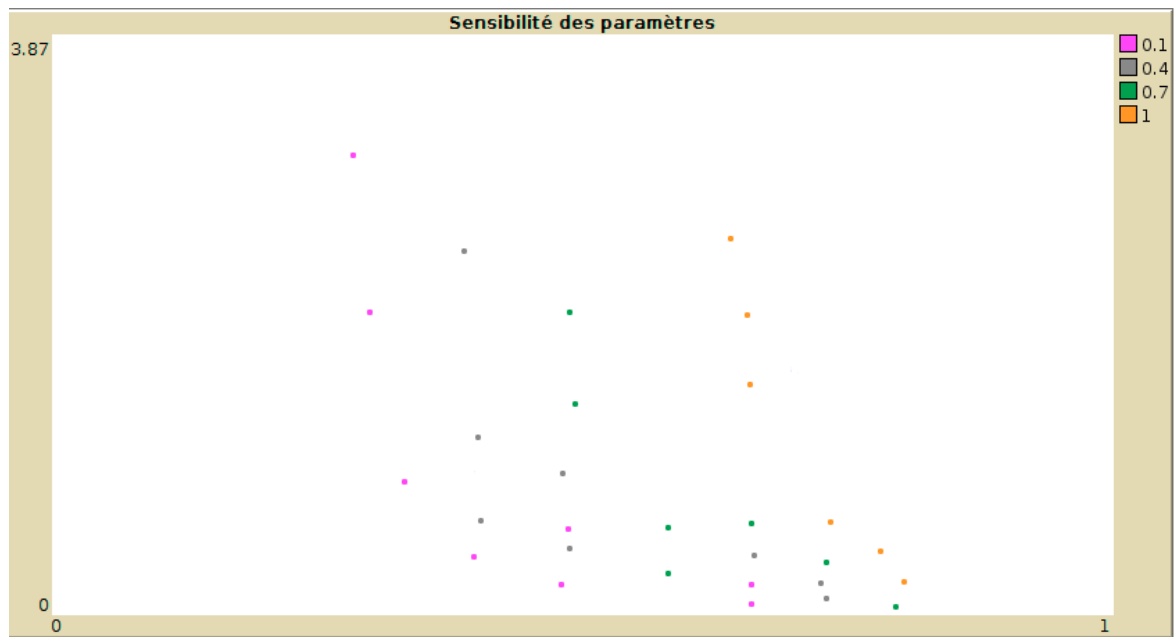


FIGURE 11 – Courbes de Beveridge obtenues selon différentes valeurs de **matching_quality_threshold**

Sur la Figure 10 on peut remarquer que, plus **matching_quality_threshold** augmente, plus les taux de licenciements et d’embauche augmentent et plus les taux de chômage et de postes vacants diminuent. Par ailleurs, plus **matching_quality_threshold** est élevé et plus nos courbes de Beveridge s’éloignent des axes des abscisses et des ordonnées (Figure 11). On en déduit que le fait de rendre plus exigeant le critère de similarité minimale entre un individu et une entreprise bouleverse grandement le marché du travail en rendant certes les appariements meilleurs mais en diminuant considérablement leur nombre. En résulte une dégradation de la correspondance entre l’offre et la demande de travail.

Impact des variations du paramètre $\text{max_productivity_fluctuation}$

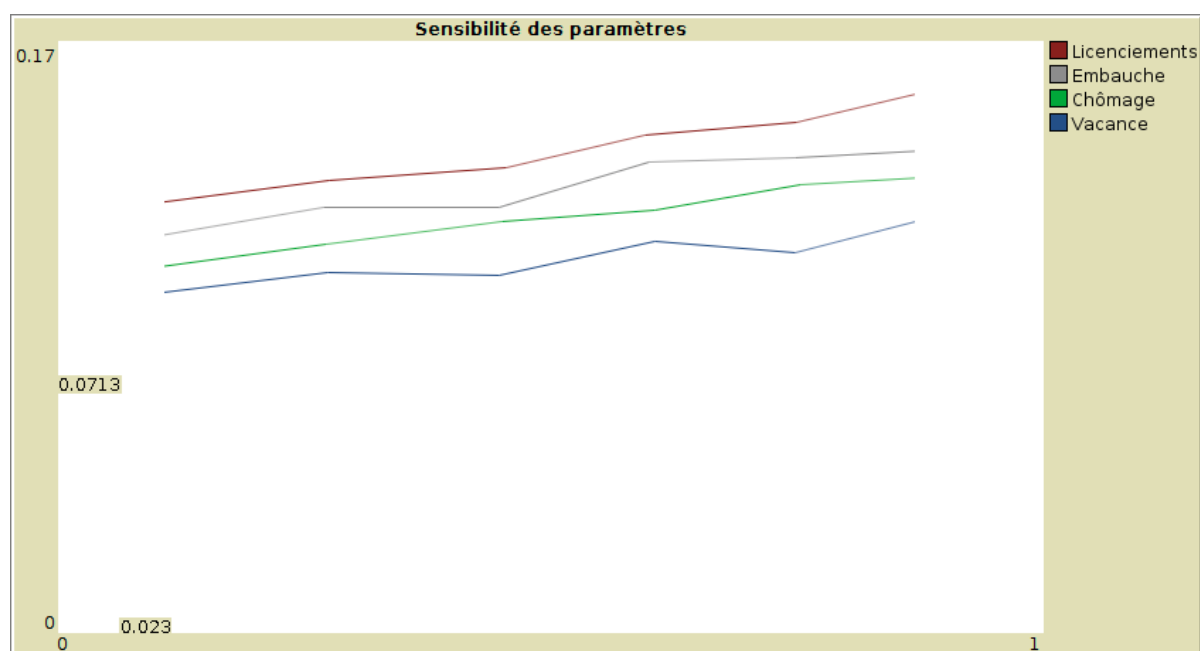


FIGURE 12 – Taux de licenciements, d’embauche, de chômage et de postes vacants en fonction de $\text{max_productivity_fluctuation}$

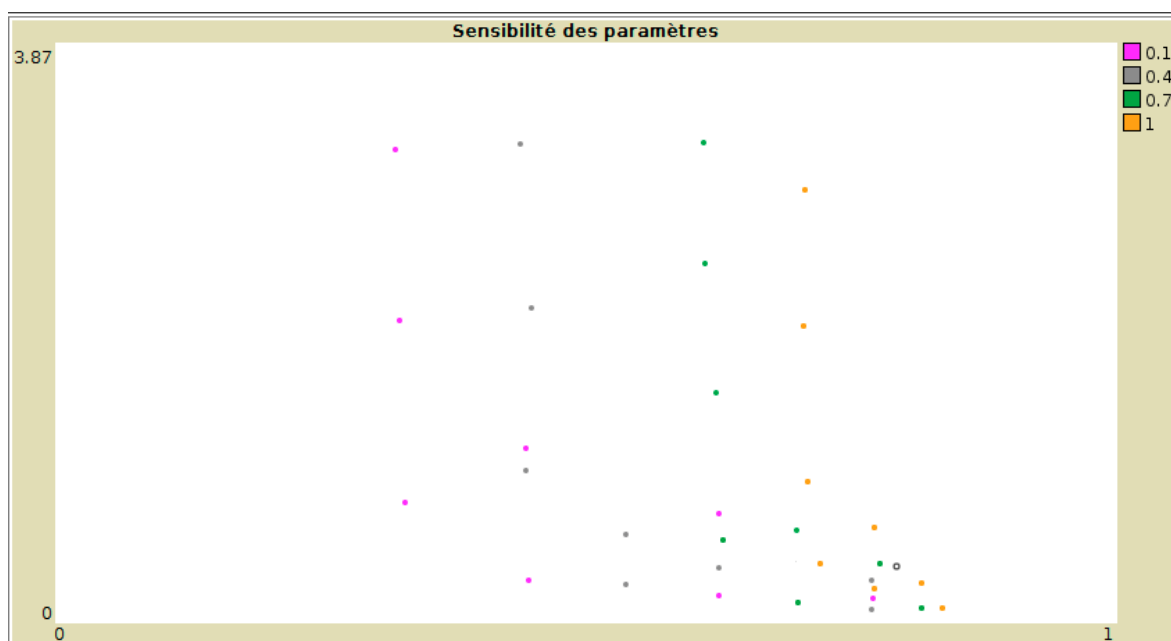


FIGURE 13 – Courbes de Beveridge obtenues selon différentes valeurs de $\text{max_productivity_fluctuation}$

En faisant varier la fluctuation maximale de productivité d’un employé, on risque davantage de lui attribuer une productivité basse et qu’il se fasse ainsi licencier. Il est donc naturel d’observer que le taux de licenciements augmente lorsque $\text{max_productivity_fluctuation}$ augmente et que, de ce fait le taux d’embauche et de postes vacants augmentent (les

employés licenciés se font réembaucher par la suite étant donné qu'ils correspondaient initialement au poste).

Impact des variations du paramètre `firing_quality_threshold`

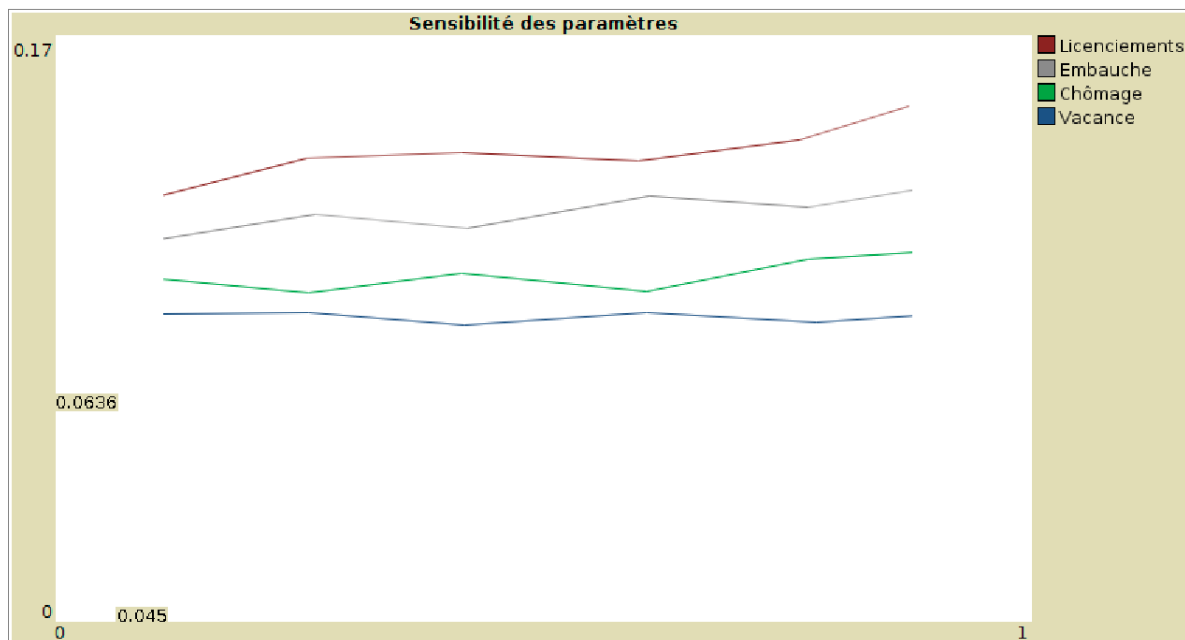


FIGURE 14 – Taux de licenciements, d’embauche, de chômage et de postes vacants en fonction de `firing_quality_threshold`

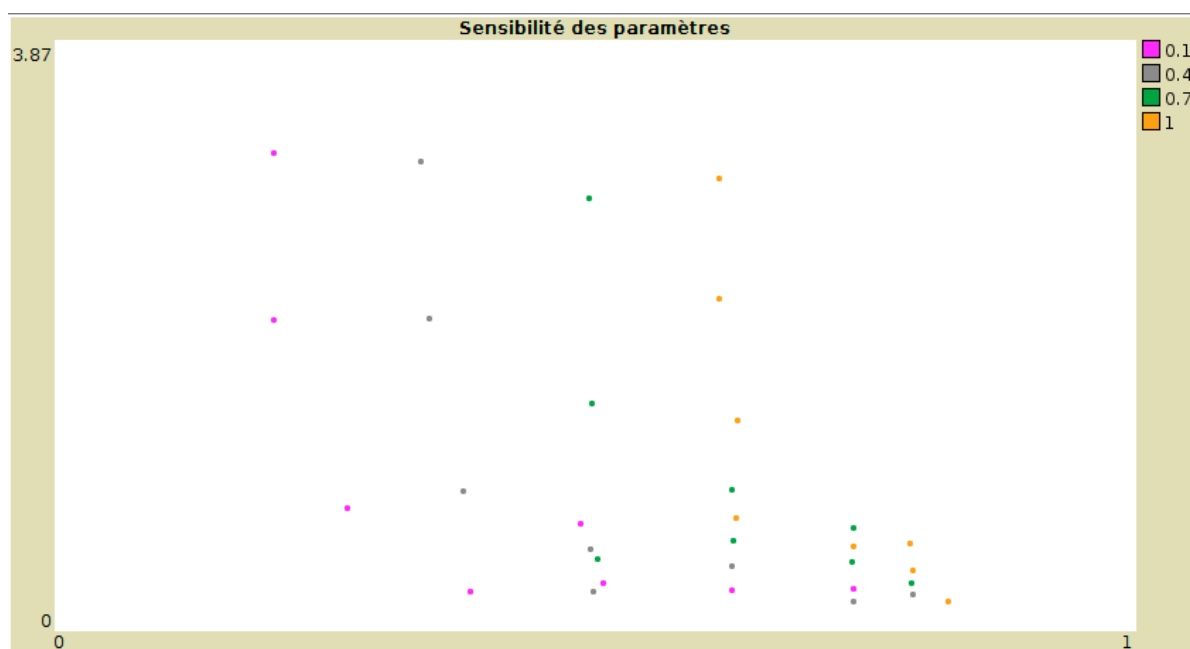


FIGURE 15

Les figures 14 et 15 nous permettent de constater que plus `firing_quality_threshold` est élevé, plus les licenciements se font nombreux et plus les courbes de Beveridge de-

viennent mauvaises. On aurait pu penser que faire varier ce paramètre aurait eu un impact sur le taux de postes vacants mais on ne l'observe pas ici.

2 Extensions du modèle

2.1 Processus de démission des employés

Afin de rendre le marché de travail virtuel plus réaliste, on introduit un processus de démission permettant à une personne donnée de démissionner de son poste. Pour ce faire, on considère les facteurs suivants :

- On suppose que l'employé connaît approximativement le marché du travail : nombre de postes vacants - une certaine valeur stochastique afin de modéliser le fait qu'il ne connaisse pas tous les postes existants et rendre notre modèle un peu plus réaliste,
- On suppose que l'employé se lasse de son travail avec une certaine probabilité qui augmente avec l'augmentation du temps écoulé depuis son embauche.
- On suppose également que les compétences de la personne influent sur son désir de démissionner puisqu'une personne qualifiée serait plus confiante et plus aisée à trouver du travail qu'une personne faiblement qualifiée.

Ce processus a été ajouté à la procédure *persons_procedure()* et a été implémenté de la manière suivante :

Algorithme 9 : Processus de démission

```

time_as_employe ← time_as_employe + 1;
similarity ← compute_similarities_person(employe, company);
nb_vacant ← taille(vacant);
Tirer aléatoirement un nombre entier  $r \in [0, nb\_vacant[$ ;
nb_vacant ← nb_vacant - r;
time_max ← 5000;
time_as_employe ← 0;
Tirer aléatoirement un nombre entier
proba ∈  $[0, \frac{time\_as\_employe + similarity + nb\_vacant}{time\_max + 1 + number\_of\_companies}]$ ;
si proba > resignation_threshold alors
    Passer le statut employed de employe à False;
    Passer le statut filled de company à False;
    Indiquer que employe et company ne sont plus liés;
fin

```

La probabilité que l'employé dépose sa démission augmentera donc avec l'augmentation des postes vacants puisque ceci augmente ses chances de trouver un nouveau travail mais également avec l'augmentation du temps passé dans l'entreprise ainsi que ses capacités.



FIGURE 16 – Évolution du taux de chômage et du taux de vacance en fonction du temps

Les figures ci-dessus montre l'évolution du taux de chômage, de vacance, de licenciements et d'embauche en fonction du temps avec $U=100$ et $V=100$. On constate que ces taux sont relativement plus élevés que lorsque le système ne présentait pas un processus de démission. En effet, l'introduction de ce dernier ajoute une dynamique supplémentaire et une incitation au chômage et se traduit donc par un taux de chômage et de postes vacants élevés.

2.2 Autres limites du modèle

Mis à part le fait que le modèle initial n'inclue pas de processus de démission, il présente les limites suivantes :

L'absence d'évolution du temps

Le monde du travail est un système ouvert dans lequel les individus entrent lorsqu'ils sont en âge de travailler et qu'ils quittent lorsqu'ils partent à la retraite. Pour que cela soit représenté dans le modèle il faudrait que chaque agent PERSON ait un attribut supplémentaire **âge** qui augmenterait à chaque pas de temps. Il faudrait également introduire un âge légal de travail ainsi qu'un âge de départ à la retraite.

Chaque entreprise n'offre qu'un seul poste

Dans ce modèle, chaque agent COMPANY propose seulement un poste. Pour rendre le modèle plus réaliste nous pourrions faire en sorte qu'une entreprise puisse proposer différents emplois n'ayant pas les mêmes caractéristiques (compétences attendues, salaire, etc.).

La simplicité du calcul de similarité entre un individu et une entreprise

Dans le modèle initial, l'agent MATCHING apparie un individu et une entreprise lorsqu'ils sont suffisamment "similaires" c'est-à-dire que la moyenne de leurs scores d'affinité tels que décrits dans les algorithmes 5 et 6 dépasse un certain seuil. Cependant, dans la réalité, un individu (resp. une entreprise) se base sur des critères bien plus complexes à implémenter et bien plus nombreux pour choisir une entreprise (resp. un nouvel employé). Pour palier ce problème, nous pourrions mener un travail de Data Science en amont pour tenter de définir des fonctions de scores d'affinité individu-entreprise et entreprise-individu puis nous les intégrerions à notre modèle pour que les appariements s'effectuent de manière plus réaliste.

La simplicité des comportements des différents agents

Les agents décrits dans le modèle de base ont des comportements relativement simples. Par exemple, un agent PERSON ne va jamais chercher à avoir de meilleures opportunités de travail lorsqu'il en possède déjà un. Par ailleurs, le fait que les compétences d'un individu évoluent au cours du temps n'est pas représenté non plus. En effet, au cours de sa vie, un agent va oublier certaines compétences qu'il avait acquies et en acquerra de nouvelles. De la même manière, une entreprise ne va pas évoluer et créer de nouveaux postes ou au contraire en supprimer. Les différents agents ne vont pas non plus déménager, ils gardent la même position pendant toute la durée de la simulation. Nous pourrions implémenter ces différents processus pour complexifier le modèle.

L'absence de compétition entre les agents

Dans la réalité, une entreprise va avoir plusieurs candidats pour un même poste et choisira le meilleur d'entre eux. De la même manière, un individu pourra être amené à choisir entre plusieurs offres d'emplois. Par ailleurs, le choix du "meilleur candidat" peut être biaisé si certains candidats font l'objet de discrimination à l'embauche. Pour implémenter cela nous pourrions tout d'abord ajouter à chaque agent PERSON des attributs tels que son **sexe**, sa **couleur de peau** et nous pourrions pénaliser/valoriser certains lieu de résidence.

Le choix du meilleur candidat s'effectuera ensuite grâce à une fonction telle que décrit en 2.2.

2.3 Première extension : Système ouvert avec des agents vieillissant

Le monde du travail est un monde dynamique dans le sens où, chaque jour, des employés partent à la retraite tandis que d'autres entrent sur le marché du travail. Ainsi, modéliser un marché de travail virtuel qui se rapproche de la réalité nécessite d'avoir un système ouvert qui modéliserait la naissance et la mort des personnes dans le système. De même, des entreprises peuvent être créées tandis que d'autres fermées. Dans cette extension nous introduisons les éléments suivants :

- Une personne possède un âge qui évolue en fonction du temps,
- Il existe un âge minimum légal pour qu'une personne soit considérée apte à travailler. Les personnes qui ont un âge supérieur à celui-ci entrent dans le processus de recrutement, taux de chômage...
- Plus l'âge d'une personne augmente, plus sa probabilité de mourir augmente (la probabilité est de 1 au delà d'un certain seuil).
- On introduit un taux de naissances et un taux de création de nouvelles entreprises suivant lequel des personnes et entreprises entrent dans le système.
- Une entreprise augmente ses probabilités de se voir fermée avec l'augmentation du temps passé sans employé (modélisation de la faillite).

Ainsi, lorsqu'une personne meurt, le poste qu'elle occupe se libérera et lorsqu'une personne naît et qu'elle dépasse un certain âge elle se retrouve au chômage. De même, lorsqu'une entreprise ferme, ses employés se retrouvent au chômage et devraient donc chercher à nouveau du travail.

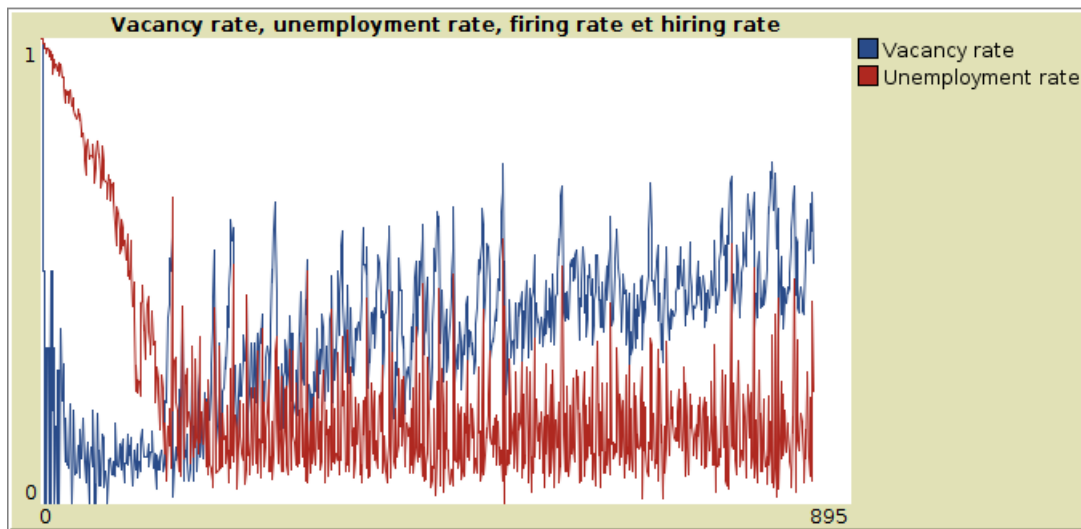


FIGURE 17 – Évolution du taux de chômage et du taux de vacance en fonction du temps

La figure ci-dessus montre l'évolution du taux de chômage et du taux de vacance en fonction du temps.

Contrairement aux cas étudiés précédemment, les taux ne convergent pas dans ce cas et présentent une grande variance. Ceci s'explique par la dynamique du système (agents entrants et agents sortant) qui rendent le système moins prévisible qu'un système fermé et relativement plus compliqué à étudier.

2.4 Deuxième extension : Entreprises proposant plusieurs emplois

Dans le monde réel, une entreprise présente rarement une seule offre d'emploi. Ainsi, nous avons introduit une fonctionnalité permettant à une entreprise de présenter plusieurs emplois. Pour ce faire, nous nous basant sur ce que suit :

- On associe à chaque entreprise un nombre d'emplois défini de manière stochastique
- Une entreprise possède une liste d'emplois, chacun avec des compétences requises et un salaire correspondant initialisés de manière stochastique,
- Une entreprise possédant un poste vacant envoie une requête à *MATCHING* et se passe des services de ce derniers lorsque tous ses postes sont pourvus.



FIGURE 18 – Évolution du taux de chômage et du taux de vacance en fonction du temps

Les résultats obtenus avec l'ajout de cette fonctionnalité ne causent pas des variations aussi importantes que celles obtenues précédemment pour le simple fait que dans ce cas de figure notre système reste fermé et est donc moins dynamique que le précédent.

2.5 Combinaison des deux extensions

La courbe ci-dessous montre les résultats obtenus en combinant les deux fonctionnalités, avec $U=100$ et $V=100$ au départ :



FIGURE 19 – Évolution du taux de chômage et du taux de vacance en fonction du temps

La combinaison des deux extensions précédentes présentent des résultats avec une grande variation et les taux ne convergent pas et ceci nous semble tout à fait prévisible puisque

le système est une fois encore ouvert ce qui permet à des entreprises et personnes d'entrer dans le processus et cause ses fluctuations.