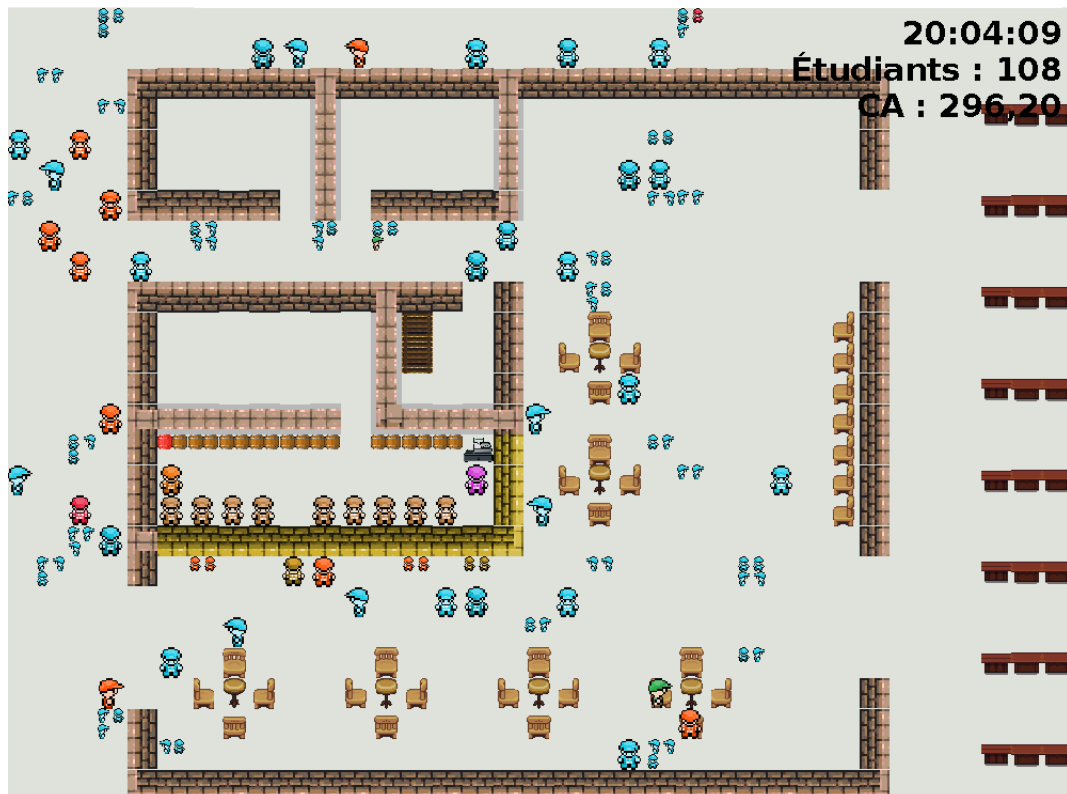


UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

IA04 – SYSTÈMES MULTI-AGENTS

SIMULATION AVEC MASON

MODÉLISATION DES COMPORTEMENTS AU PIC'ASSO



LÉA CECCARELLI, AURÉLIE DIGEON,
QUENTIN DUCHEMIN, ROMAIN HUBER

RÉSUMÉ

Ce projet, réalisé dans le cadre de l'UV IA04, vise à modéliser les comportements d'individus dans un environnement particulier : le Pic'Asso de l'UTC. Ce foyer réunit de nombreux étudiants chaque jour et propose de multiples activités; nous nous sommes consacrés à la composante de consommation des individus.

Les processus psychologiques et sociaux conduisant les participants à avoir un comportement particulier sont complexes. Pour adresser au mieux cette problématique, plusieurs méthodes ont été utilisées : étude empirique, sondage, analyse de données, modélisations comportementales...

Le résultat final prend en compte l'ensemble de ces facteurs en les modulant selon les situations. Les résultats alors obtenus peuvent être corrélés aux données « réelles » et attestent en partie de la validité du modèle.

Les sources du projet et de l'analyse des données se trouvent sur [GitHub](#).

TABLE DES MATIÈRES

1	PRÉSENTATION DU SUJET	1
1.1	Idée originelle	1
1.2	Méthodes de travail	1
1.3	Définition du projet	2
1.4	Utilité du projet	2
2	DONNÉES D'ENTRÉE	3
2.1	Sondage étudiant	3
2.1.1	Première partie : l'étudiant	4
2.1.2	Deuxième partie : habitudes au Pic'Asso	4
2.2	Données de PayUTC	5
2.3	Modélisation empirique des comportements	5
3	TRAITEMENT DES DONNÉES	7
3.1	Parsing et nettoyage	7
3.2	Vérification des données grâce à PayUTC	8
3.2.1	Préférences des étudiants	8
3.2.2	Nombre de verres moyen	10
3.2.3	Heures d'arrivée et de départ	11
3.2.4	Budget d'un étudiant	11
3.2.5	Jours de fréquentation du Pic'Asso	12
3.2.6	Autres données	12
3.3	Agrégation des données PayUTC	13
4	SIMULATION	15
4.1	Concepts généraux	15
4.1.1	Résumé	15
4.1.2	Grille	16
4.1.3	Qualification des participants	16
4.1.4	Gestion du temps	16
4.1.5	Modélisation par une machine à états	17
4.2	Agents de la simulation	18
4.2.1	Agents inanimés	18

4.2.2	Student	19
4.2.3	Barrel et CheckoutCounter	24
4.2.4	Bartender	25
4.3	Communication entre agents	26
4.4	Éléments graphiques	27
4.4.1	Code couleurs pour les états	27
4.4.2	Mise à l'échelle des agents	28
5	CONCLUSION	29
5.1	Résultats	29
5.2	Limites	29
5.3	Extensions possibles	30

1

PRÉSENTATION DU SUJET

1.1 IDÉE ORIGINELLE

La décision initiale prise collectivement dès la création du groupe a été de réaliser une **simulation**. Les exemples dont nous avons connaissance et notre brève expérience de Mason ont stimulé notre envie de poursuivre dans cette voie. Divers choix de thèmes ont été proposés par chacun, mais tous ne répondaient pas à nos exigences en termes de complexité et à nos contraintes de temps. Nous avons finalement opté pour une simulation du fonctionnement du foyer Pic'Asso.

Ce sujet nous a semblé à la fois réalisable, vaste, d'une complexité modulable en fonction du temps à notre disposition et des aspects que nous préférons explorer. Il peut sembler à première vue qu'il n'y a que peu d'agents ; cependant ceux-ci modélisent des êtres humains dont le comportement est d'une grande richesse. Un autre élément nous ayant séduit est qu'il s'agit d'une simulation du fonctionnement d'un lieu que nous fréquentons régulièrement ; elle est ancrée dans notre quotidien, dans notre expérience étudiante. Cette connaissance empirique nous a permis tout au long de l'avancée du projet d'utiliser nos expériences personnelles pour la modélisation - couplée à des données réelles comme nous le verrons par la suite.

1.2 MÉTHODES DE TRAVAIL

Le sujet établi, chacun d'entre nous a réfléchi aux paramètres qui pourraient être intégrés au sein de la simulation et à leur impact sur celle-ci en fonction de leur évolution. La densité de cette liste de paramètres nous a amené à définir des priorités sur ce que nous comptons mettre en place. De plus, il nous est apparu que certains de ces paramètres gagneraient à être conditionnés par des données réelles provenant de statistiques – nous y reviendrons par la suite.

Afin d'équilibrer la complexité voulue et la faisabilité du projet, un **développement itératif** s'est instauré naturellement, où l'objectif était d'obtenir au plus tôt une version fonctionnelle avant d'affiner les comportements – jusqu'à aboutir à la simulation la plus juste possible.

1.3 DÉFINITION DU PROJET

En plus d'un choix arbitraire des paramètres que nous allions considérer ainsi que d'un développement progressif du fonctionnement, il a été nécessaire d'instaurer des **limites** à la portée de la simulation.

Nous avons négligé l'aspect *foyer* du Pic'Asso¹ pour nous focaliser sur les consommations des étudiants ayant lieu tous les soirs de semaine. C'est en effet dans ce contexte-là que le Pic'Asso accueille le plus d'étudiants. Ce choix nous a permis par ailleurs d'avoir un grand nombre de réponses à notre sondage, et par là même, de disposer d'un échantillon statistique plus fiable.

Le Pic'Asso est ici représenté en deux dimensions le plus fidèlement possible ; les salles et les accès ont été reproduits bien que parfois simplifiés conceptuellement – le bar est par exemple considéré comme une zone à part entière réservée aux permanenciers de laquelle ils ne peuvent sortir. Les étudiants peuvent se déplacer dans les salles dont ils ont l'accès, aller acheter des bières pour les consommer par la suite, recharger leur compte PayUTC et discuter avec d'autres étudiants. Les permanenciers servent les bières, changent les fûts si ceux-ci sont vides et s'occupent des transactions.

1.4 UTILITÉ DU PROJET

Il nous tenait à cœur que quel que soit le sujet choisi, nous puissions tirer des conclusions de notre simulation exploitables **réellement**. En d'autres termes, nous voulions qu'il ait une finalité autre que celle de réaliser l'exercice demandé.

L'équipe du Pic'Asso nous a transmis les statistiques qu'elle avait à sa disposition concernant la consommation des étudiants, la popularité de chaque bière, le chiffre d'affaires, etc. La comparaison de ces données réelles avec celles issues de notre simulation nous permettra de déterminer si celle-ci est fidèle à la réalité ou non. Si tel est le cas, il nous sera possible d'ajuster les divers paramètres tels que le nombre d'entrées, le nombre de permanenciers, d'instaurer un nombre de bières à partir duquel un étudiant n'est plus servi, etc. Ces modifications auront un impact sur le chiffre d'affaires du foyer ainsi que sur le bon déroulement de la soirée et nous permettront d'obtenir des **recommandations** sur la meilleure stratégie financière mais aussi des conseils de **prévention** qui pourront être utilisés par la suite par le Pic'Asso.

1. Rappelons que cet aspect est d'une grande richesse, par toutes ses activités au long de la journée.

2 | DONNÉES D'ENTRÉE

Dans le but de comprendre et de modéliser la complexité des comportements humains, nous avons souhaité utiliser des **données réelles**. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur deux sources différentes et complémentaires.

Cette partie se propose d'expliquer et de justifier la méthodologie utilisée afin de récolter les données, qui constituent la pierre angulaire du modèle ainsi construit. Tout l'intérêt du projet reposant sur l'existence de données valides et avec le moins de biais possibles, nous jugeons important de détailler ce point.

2.1 SONDAGE ÉTUDIANT

Dans un premier temps, nous avons souhaité collecter des informations concernant le comportement des étudiants au Pic'Asso. Nous sommes passés par un **formulaire**, posté sur le groupe Facebook de l'UTC, qui dispose d'une très large audience parmi les étudiants.

La création et diffusion d'un formulaire par et pour les étudiants de l'UTC est une chose courante. Chaque année, des dizaines de groupes de projet utilisent ce moyen pour récolter les données qui leur sont nécessaires. De fait, la profusion de demandes de réponse à des formulaires risque de noyer le nôtre, entraînant un nombre de réponses insuffisantes pour permettre une bonne exploitation.

Pour palier ce problème, nous avons veillé à trois points. Premièrement, nous avons travaillé le message accompagnant le formulaire, pour nous distinguer des autres groupes et attirer l'attention des étudiants. Ensuite, nous avons activement demandé à nos connaissances de répondre au poste, pour assurer notre visibilité. Finalement, nous avons travaillé le formulaire pour qu'il soit le plus court possible, avec des questions claires et conserve un aspect amusant.

Nous avons réussi à obtenir **336 réponses** dans un court laps de temps, confirmant de succès de notre stratégie de collecte de données, et l'intérêt des étudiants pour le Pic'Asso.

La suite de cette section reproduit les questions posées au étudiant au sein du sondage.

2.1.1 Première partie : l'étudiant

- Genre;
- Age;
- Activité à l'UTC : si la personne est un étudiant en tronc commun, branche, doctorant, enseignant-chercheur, etc;
- Semestre : si nécessaire, par exemple G104;
- Est-ce que la personne va au Pic'Asso.

2.1.2 Deuxième partie : habitudes au Pic'Asso

- Consommation d'alcool ou de softs;
- Préférences en termes de boisson alcoolisées proposées au Pic'Asso ¹;
- Nombre de bières moyen par soir;
- Temps moyen pour boire une bière en minute;
- Heure d'arrivée et de départ du Pic'Asso;
- Budget maximum par soir;
- Habitude alimentaire avant ou pendant la soirée ²
- Jours de présence au Pic'Asso;
- Sensibilité à l'alcool : une note entre 1 et 5;
- Nombre d'amis avec lesquels l'étudiant passe sa soirée.

La troisième partie est réservée au permanencier et comprend une unique question, qui est le nombre de secondes estimé pour servir une bière.

1. Pour ce faire, nous avons sélectionné une dizaine de bières qui selon nous étaient les plus consommées et avons demandé l'avis sur celles-ci (de *J'adore!* à *Je déteste* en passant par *Jamais goûté*).

2. En particulier, on demande à l'étudiant s'il mange avant de venir au Pic'Asso, ou bien s'il mange quelque chose une fois arrivé (Menu fournit par le Pic'Asso ou bien snacks) ou encore s'il ne mange pas du tout.

Ces données nous ont permis de configurer nos agents pour qu'ils se comportent le plus réellement possible. Pour autant, avant de pouvoir les utiliser, nous avons dû passer par une étape de nettoyage, puis de validation. Ces deux étapes seront décrites dans la prochaine partie avec les conclusions du sondage.

2.2 DONNÉES DE PAYUTC

Notre seconde source de données est un fichier de type CSV contenant toutes les transactions PayUTC de la période du 1er février au 30 mars. Il nous a été fourni par un gestionnaire du service.

PayUTC est système de paiement avec porte-monnaie électronique. Il est utilisé au sein des associations de l'Université de Technologie de Compiègne. Les utilisateurs peuvent recharger leur porte-monnaie en ligne à l'aide de leur carte bancaire. Ils peuvent ensuite dépenser l'argent présent sur leur compte dans toutes les associations participantes.

Le fichier qui nous a été fourni a été au préalable anonymisé, c'est-à-dire qu'il ne contient aucune information permettant de relier un étudiant précis aux données. En pratique, cela se traduit par le fait que la seule information dont nous disposons sur l'acheteur est un identifiant.

Le fichier contient toutes les transactions faites avec PayUTC, que ce soit au Pic'Asso ou dans les autres services et associations l'utilisant (le Polar, les résidences universitaires, etc.). Il a donc fallu filtrer ses données pour ne garder uniquement celles concernant le Pic'Asso ainsi que la consommation de boissons alcoolisées.

2.3 MODÉLISATION EMPIRIQUE DES COMPORTEMENTS

Enfin, les simples attributs qualitatifs ou quantitatifs issus du sondages ou des données de PayUTC ne sont pas suffisants à donner des règles permettant de modéliser fidèlement le comportement des étudiants. Nous avons oeuvré à modéliser empiriquement certains comportements moins triviaux, à la fois à l'aide de notre expérience personnelle et de l'idée que nous nous faisons des comportements des groupes sociaux.

Cette réflexion a permis de dégager les grandes lignes essentielles que nous détaillerons dans la section consacrée aux agents de la simulation. Pour illustrer, voici quelques principes généraux que nous avons utilisé pour construire notre modèle :

- Les étudiants ont tendance à suivre leurs habitudes ;
- Plusieurs facteurs déterministes ont tendance à faire dévier ces habitudes : le jour de la semaine, le nombre d'amis présents, la quantité de travail. . .
- L'augmentation du taux d'alcoolémie induit des comportements plus extrêmes ;
- L'heure d'arrivée est beaucoup plus certaine que l'heure de départ ;
- La vitesse de consommation des bières est souvent inversement proportionnelle au temps restant avant de partir ou avant la fermeture ;
- Les étudiants ont tendance à se regrouper et à moins se déplacer alors, etc.

Ces quelques idées, très simples, forment la base pour décrire le choix des actions effectuées par les étudiants ; combinées et adjointes à d'autres règles plus subtiles, elles permettent de se rapprocher d'un comportement unique par individu.

3 | TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données que nous avons récupérées sont des données brutes, difficilement exploitables. Nous avons donc dû passer par plusieurs étapes avant de pouvoir les utiliser pour la création de nos agents.

Cette partie détaille la méthodologie et les résultats produits après nettoyage, traitement et analyse des données. Ces résultats serviront directement de données d'entrées de la simulation et ne seront jamais modifiés, ce qui leur donne une importance capitale par rapport aux autres données empiriques que nous nous autorisons à modifier.

3.1 PARSING ET NETTOYAGE

Le **nettoyage des données** est nécessaire, car le fichier comporte des valeurs aberrantes et d'autres dans un mauvais format. Cela peut être dû à une mauvaise compréhension de la question, au format demandé pour la réponse, ou à une erreur de saisie. Il faut donc faire en sorte que ces valeurs ne rendent pas l'intégralité de nos données inutilisable.

Nous avons décidé de nous baser majoritairement sur nos propres observations et notre *bon sens* pour définir des minimum et maximum pour chaque donnée ¹ et une cohérence entre les données ².

Nous avons également décidé de remplacer toute donnée incohérente par la **moyenne** de la variable concernée. Cela permet de ne pas supprimer l'individu entièrement, tout en faisant en sorte que la valeur de la variable n'ait que peu d'incidence sur la simulation. Il a été décidé de ne garder que les réponses des personnes ayant indiqué aller au Pic'Asso et consommer de l'alcool.

La dernière étape de traitement de données a consisté à transformer celles-ci pour les rendre plus lisibles afin de paramétrer les agents avec une plus grande facilité. Il s'agit majoritairement de remplacer des valeurs dont la formulation a été pensée pour

1. À titre d'exemple, il semble cohérent que l'âge soit compris entre 15 et 90 ans.

2. Par exemple, si la personne a noté qu'elle était en tronc commun, son semestre doit être de la forme TCXX où XX représente le numéro du semestre.

une meilleure compréhension du sondé par des valeurs plus significatives pour notre simulateur³.

En pratique, le parser lit un fichier CSV contenant toutes les réponses aux sondages et écrit un nouveau fichier CSV contenant les données, nettoyées et traitées.

3.2 VÉRIFICATION DES DONNÉES GRÂCE À PAYUTC

Une fois les données prêtes à être utilisées, il a fallu s'assurer de leur validité. En effet, même si notre échantillon d'étudiants est correct, avec 336 réponses, il faut encore vérifier s'il est **représentatif** de l'ensemble des étudiants fréquentant le Pic'Asso. En effet, du fait du moyen de diffusion utilisé pour obtenir nos réponses au sondage, nous risquons d'introduire un biais en excluant une catégorie d'étudiant.

Pour pouvoir garantir la **validité** de ces données, nous avons utilisé les données de PayUTC décrite précédemment. Pour cette analyse, nous avons mis en place une base de données, importé nos CSV, puis effectué nos analyses avec des requêtes SQL. Les scripts utilisés sont disponibles dans les sources du projet.

Par ce biais, la majorité des questions du sondage ont pu être vérifiées. Nous n'avons cependant pas pu vérifier que le profil des étudiants de notre sondage était représentatif, car les données fournies par PayUTC sont anonymes ; nous ne disposons d'aucune information sur les acheteurs.

3.2.1 Préférences des étudiants

Nous avons tout d'abord voulu vérifier si les préférences annoncées par les étudiants dans le sondage étaient **cohérentes** avec la réalité. Pour cela, nous avons commencé par regarder la répartition de vente des bières, comme présenté dans la figure 1.

Une des premières limitations de notre questionnaire se retrouve ici ; pour ne pas ennuyer l'étudiant, nous avons voulu proposer une sélection réduite des bières proposée au Pic'Asso. À ce titre, nous retrouvons une catégorie *autre*, qui représente toutes les bières non proposées dans le sondage.

3. Cela se traduit majoritairement par une transposition des mentions qualitatives en valeurs numériques quantitatives. À titre d'exemple, pour la notation de la bière, *J'adore* devient une note, ici 5.

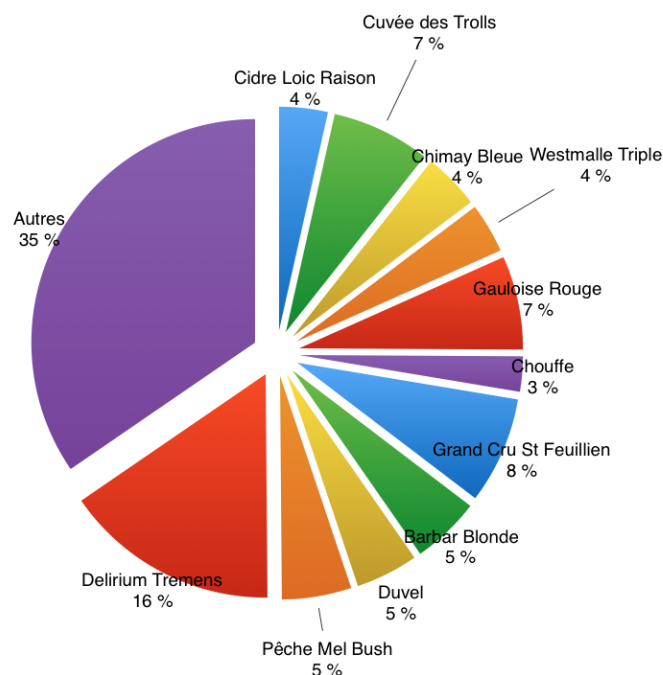


FIGURE 1 – Répartition des ventes de bières au Pic'Asso selon les données PayUTC.

Nous couvrons cependant 67% de la consommation de bières du Pic'Asso. La catégorie « Autres » regroupe de nombreuses bières, consommées en faible quantité par rapport à celles sélectionnées.⁴

Nous avons voulu dans un second temps ne prendre en compte que les bières que nous avons proposées dans le sondage et vérifier si leur répartition de vente correspondait aux préférences exprimées dans le sondage. Pour cela, nous avons compté le nombre de fois où chaque bière avait reçu la note maximale dans le sondage et comparé cette dernière avec la répartition notée dans les données réelles de PayUTC.

La figure 2 montre que le sondage a produit une assez bonne représentation des préférences de consommation des étudiants. En effet, même si on observe quelques écarts – d'au plus 5% –, la répartition est relativement fidèle à la réalité.

4. Notons que cette catégorie comprend également deux autres bières très consommées. D'une part, la Carolus Triple représente 6% du total et aurait dû faire partie de notre sélection. D'autre part, la Triple Karmeliet représente 13% de la consommation mais n'est plus distribuée au Pic'Asso depuis plusieurs semaines ; nous avons par conséquent choisi de ne pas la proposer.

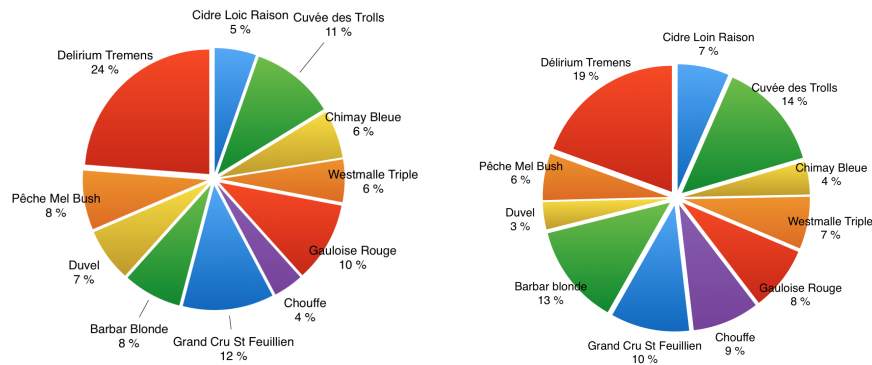


FIGURE 2 – Répartition des ventes de bières au Pic'Asso selon les données PayUTC à gauche et selon notre sondage à droite.

3.2.2 Nombre de verres moyen

Nous avons ensuite vérifié la validité des données que nous avons obtenues concernant le **nombre moyen de verres bus** par un étudiant par soir. C'est une information très importante dans notre simulation, puisque – avec le temps nécessaire pour la consommation de ladite bière – c'est une donnée qui conditionnera la consommation globale de la soirée, et donc le CA du Pic'Asso, l'état d'ébriété et beaucoup d'autres variables que nous souhaiterions calculer.

La figure 3 montre que nos données sont très fidèles à la réalité⁵.

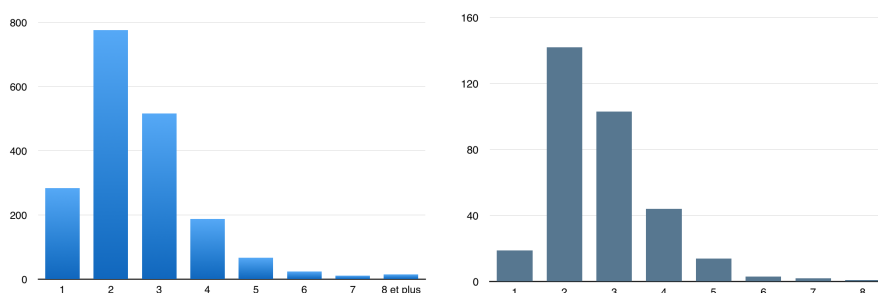


FIGURE 3 – Nombre de bières moyen par soir selon les données PayUt à gauche et selon notre sondage à droite.

5. On pourra noter, à juste titre, que la proportion réelle d'étudiants prenant uniquement une bière est plus importante dans les données réelles que dans les données de notre sondage, mais la répartition est tout de même équivalente.

3.2.3 Heures d'arrivée et de départ

Nous voulons maintenant valider l'**heure d'arrivée** des étudiants au Pic'Asso. Tout d'abord, il faut tenir compte du fait que lors du sondage, certains étudiants avaient tendance à arrondir leur heure d'arrivée au quart d'heure, mais pour la plupart arrondissaient à la demi-heure. Cette différence de comportement explique l'aspect erratique des données du sondage quant à l'heure d'arrivée. Cela se traduit, lors de la représentation des heures d'arrivées sous forme de graphe, par des pics importants.

Pour adresser ce problème, nous avons affiché la **moyenne glissante** sur le graphe pour nous permettre d'avoir une approximation de la véritable fonction représentant l'arrivée des étudiants.

La figure 4 montre que la répartition des arrivées selon les données du sondage n'est pas cohérente avec celle de PayUTC. En effet, même si on observe un pic d'arrivée vers 20 heures des deux côtés, on voit également que le pic de 18 heures 30 n'est pas présent dans les données de notre sondage.

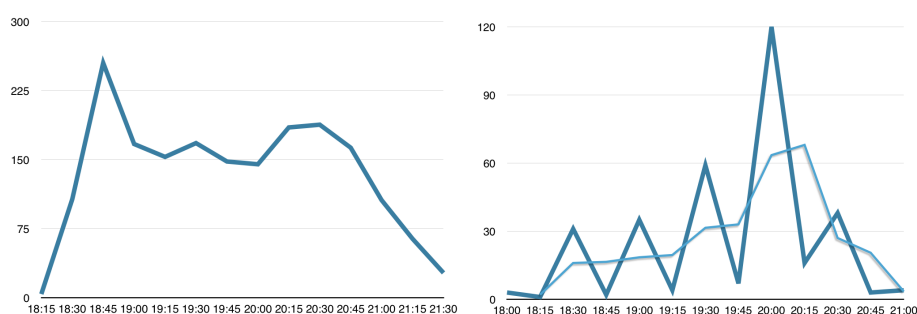


FIGURE 4 – Heure d'arrivée au Pic'Asso selon les données PayUt à gauche et selon notre sondage à droite (avec approximation par moyenne glissante).

On ne peut donc pas ici valider nos données.

Il est inutile d'essayer de deviner l'heure de départ des étudiants à partir des données PayUTC, car comme la vente de bière se finit à 21h30, nous n'aurions aucun moyen de vérifier les départs après cette heure.

3.2.4 Budget d'un étudiant

Intéressons-nous maintenant au budget maximum par étudiant. On peut ici aussi observer des différences entre la réalité et les données de notre sondage. En effet, la

figure 5 montre que le budget maximum est **plus linéaire** en réalité, quand les données de notre sondage indique un pic à la valeur 10.

On peut encore ici expliquer cette différence par le fait que la plupart des étudiants vont arrondir leur réponse, et que donc la valeur 10 euros de notre sondage regroupe en fait des valeurs pouvant aller de 6 à 13 euros. Si on prend cela en considération, on peut estimer que nos données ne sont pas incohérentes avec la réalité.

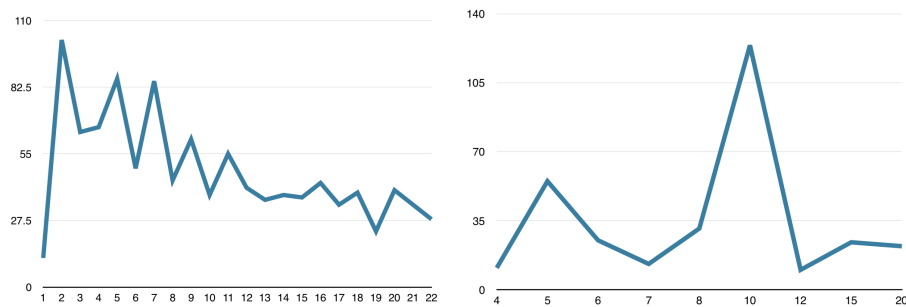


FIGURE 5 – Budget maximum des étudiants au Pic'Asso selon les données PayUt à gauche et selon notre sondage à droite (avec approximation par moyenne glissante).

Il faudra néanmoins prendre en compte ce phénomène dans notre simulation, par exemple en **modulant** le budget maximum des étudiants.

3.2.5 Jours de fréquentation du Pic'Asso

Pour terminer, nous avons voulu vérifier l'exactitude des jours de fréquentation du Pic'Asso. On peut très nettement dire, en observant la figure 6, que nos données sont plus que fidèles à la réalité.

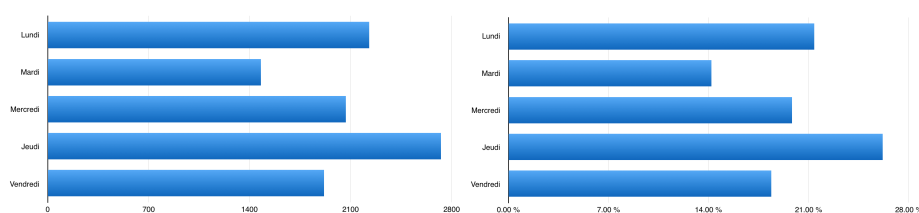


FIGURE 6 – Jours de fréquentation selon les données PayUt à gauche et selon notre sondage à droite (avec approximation par moyenne glissante).

3.2.6 Autres données

Il nous est impossible de vérifier le reste des données de notre sondage à partir des données de PayUTC mises à notre disposition. Il faudra donc compter sur notre

bon sens et l'étude empirique de l'environnement pour pouvoir intégrer ses données à notre simulation le plus intelligemment possible.

L'ensemble des analyses faites dans cette section confirment que la plupart des données obtenues par le sondage sont conformes à la réalité. Nous utiliserons précisément les données du sondage dans la simulation, en attribuant des **pro-fils** à chaque étudiant correspondant à une réponse du sondage. De ce fait, l'individualité des étudiants permet d'enrichir les comportements obtenus.

3.3 AGRÉGATION DES DONNÉES PAYUTC

Le but de notre projet étant notamment de valider notre simulation, en retrouvant des données réelles, il est nécessaire que nous récupérions en premier lieu ces données à partir des informations fournies par PayUT. Nous avons calculé⁶ le nombre d'étudiants par soir ayant consommé une ou plusieurs bières ainsi que le chiffre d'affaires (CA) du Pic'Asso pour chaque soir. Ces données sont visibles dans le tableau 1.

6. Toutes les requêtes SQL visant à produire les résultats présentés sont également présentes dans les scripts fournis avec les sources du projet.

Date	Nombre d'étudiants	CA
27 février	987	5724.7
1 mars	540	2635.85
2 mars	628	3315.25
3 mars	668	3657.65
6 mars	348	1464.95
7 mars	452	1951
8 mars	427	1828.8
9 mars	569	3005.7
10 mars	107	385.3
13 mars	365	1472.45
14 mars	421	1772.5
15 mars	454	1896.45
16 mars	546	2442.75
17 mars	618	3310.2
20 mars	234	1050.65
21 mars	331	1517.05
22 mars	353	1635.7
23 mars	556	2816
24 mars	523	3028.85
25 mars	336	2093.9
27 mars	294	1287.2
28 mars	274	1231.1
29 mars	293	1207.4
30 mars	428	1537.2

TABLE 1 – Chiffre d'affaires par jour et par nombre d'étudiants au Pic'Asso.

La première information va nous servir afin de créer le bon nombre d'agents dans la simulation, en fonction du jour choisi, tandis que la seconde information nous permettra de vérifier si la modélisation de consommation est conforme à la réalité.

4

SIMULATION

Dans cette section, nous présentons les concepts et implémentations à la base de la simulation mise en place.

Après avoir introduit les concepts généraux permettant de faire tourner la simulation à proprement parler, nous détaillons le fonctionnement effectif de la simulation et la prise à compte de la temporalité « humain ».

Ensuite, nous expliquons la manière dont nous avons modélisé formellement les comportements et interactions des agents et nous terminons par de brèves considérations graphiques.

4.1 CONCEPTS GÉNÉRAUX

Cette section présente les éléments de base de la simulation lui permettant de s'exécuter correctement, c'est-à-dire conformément à notre vision physique et temporelle du Pic'Asso, mais aussi aux données d'entrées.

4.1.1 Résumé

La simulation reprend une **vue de dessus** du Pic'Asso. Des murs délimitent le bâtiment et ce dernier contient divers objets esthétiques. Les étudiants peuvent interagir avec les permanenciers pour commander une bière, puis la consommer librement.

Un comptoir sépare les étudiants des permanenciers, et fonctionne sur le modèle de **file d'attente**. Les permanenciers, quant à eux, manipulent des fûts – ainsi que leur maintenance, leur remplissage. . . – et une caisse enregistreuse.

Les étudiants sont libres de se déplacer, de parler avec des amis, de s'asseoir, de commander ou non, de choisir la vitesse de consommation, etc. Ces points sont détaillés par la suite.

4.1.2 Grille

L'ensemble du Pic'Asso est représenté, tant graphiquement qu'en interne, sous forme d'une **grille**. Chaque cellule de la grille est à même de contenir un ou plusieurs agents¹, c'est pourquoi notre choix s'est porté sur la classe `SparseGrid2D` fournie par MASON.

Le choix d'un espace *discret* nous permet de modéliser plus facilement l'idée de superposition ou de coprésence. Cette grille n'est pas bornée, mais nous définissons des limites artificielles correspondant à l'affichage graphique.

4.1.3 Qualification des participants

Les participants à la simulation peuvent être de plusieurs sortes : tandis que les « objets du décor » – que nous formalisons ci-après – sont fixes en nombre et en position, les participants dynamiques sont susceptibles de varier.

C'est en particulier le cas des **étudiants** et des **permanenciers**, les deux entités vivantes principales de notre modèle :

- Les permanenciers sont en nombre fixe et sont présents initialement dans la simulation derrière le comptoir. Même si la représentation est un peu caricaturale, elle n'impacte pas les résultats de la simulation.
- Le nombre d'étudiants participant *effectivement* à la simulation varie en fonction des exécutions mais aussi de la date. Un mélange des données du sondage et de différents facteurs empiriques permet de déterminer s'il en font partie.

4.1.4 Gestion du temps

Dans notre simulation, la notion de **temps** subsiste au mécanisme d'**itérations** ; en d'autres termes, les itérations ne sont **pas indépendantes**.

Cela s'explique par plusieurs facteurs, en particulier par le besoin de modéliser une horloge correspondant au temps « humain » de la simulation. En effet, il faut trivialement gérer les heures d'ouverture et de fermeture. Chaque étudiant, pour prendre ses décisions, doit avoir conscience du moment présent, mais aussi du passé et du futur.

1. Comme nous le verrons, cela peut être le cas des étudiants ou des permanenciers, mais aussi des objets du décor, comme les fûts.

De plus, certains actes sociaux ou économiques ne peuvent se reproduire à chaque itération, et l'utilisation d'une horloge permet d'introduire des notions de **temporisation** sur lesquelles notre modèle s'applique facilement.

En pratique, le temps est géré par un agent `Clock`, dont la méthode `step()` est appelée à chaque itération. Son rôle se résume à incrémenter l'horloge de la simulation² et à l'arrêter lorsque l'heure limite est atteinte.

Le jour sur lequel se déroule la simulation est également géré, en particulier pour pouvoir déterminer le nombre d'étudiants participants et moduler les règles.

4.1.5 Modélisation par une machine à états

Plus formellement, le comportement des agents dynamiques est modélisé par une **machine à états**. Ce choix est naturel, car les étudiants comme les permanenciers n'agissent pas de la même manière en fonction des situations : des états triviaux sont par exemple l'attente dans une file ou bien le déplacement. Comme chacun de ces états peut aboutir, selon le modèle, à des états différents, cet outil s'y prête bien.

En particulier, on peut dès lors dégager deux types d'actions conduisant à une transition entre états : les actions **ponctuelles** et les actions **récurrentes**.

Les actions ponctuelles sont des cas où l'agent est amené à prendre une décision qui induira **systématiquement** un changement d'état interne ou externe. Par exemple, lorsqu'un permanencier prend en charge une commande, il a une décision à prendre. Cette décision est ponctuelle car en l'absence de sollicitation, aucune transition n'est effectuée.

À l'inverse, les actions récurrentes sont des cas où l'agent doit faire un choix à chaque itération : rester dans l'état actuel ou bien en sortir. Ces actions sont plus sujettes à l'introduction d'une **temporisation**, dans la mesure où un changement d'état par itération n'est pas envisageable³.

2. Nous ne le détaillons pas ici, mais le temps écoulé à chaque itération est paramétrable dans les constantes et la simulation est prévue pour s'adapter à ce temps – en particulier pour les probabilités se basant sur le temps.

3. Pour donner un exemple parlant, un étudiant ne va pas se demander toutes les secondes s'il doit commander une bière, ou bien le cas est *très* particulier.

Les actions ponctuelles sont rares et induisent une transition d'un état vers un autre. Les actions récurrentes sont fréquentes et n'induisent pas forcément de transition. Elles sont traitées séparément par la simulation par un mécanisme introduit plus loin.

En interne, les états sont modélisés par de simples constantes d'énumérations, et les transitions par tout le modèle que nous expliquons brièvement dans les sections suivantes.

4.2 AGENTS DE LA SIMULATION

Dans cette section, nous présentons les différents agents participant à la simulation et résumons leur comportement.

Pour commencer, la simulation sépare grossièrement deux types d'agents :

- Les agents **statiques**, qui ne bougent pas mais peuvent cependant interagir avec leur environnement. Ils ne prennent cependant pas d'initiatives.
- Les agents **dynamiques**, qui peuvent se déplacer et initier les interactions avec d'autres agents statiques ou dynamiques.

Dans les prochains paragraphes, nous détaillons en particulier le fonctionnement des agents dont les actions **participent au résultat** de la simulation. D'autres agents sont à considération purement esthétique.

4.2.1 Agents inanimés

Une catégorie générale d'agents est dite **inanimée** : ceux-ci n'implémentent pas `Steppable` et ne réalisent donc pas d'actions à chaque étape. On peut les séparer en deux catégories :

- Les éléments graphiques ;
- Les objets interactifs.

Bien que nous ne détaillons pas le fonctionnement de chacun, l'on peut résumer chaque catégorie. Dans les éléments graphiques, on peut par exemple citer les murs

et le bar. Ceux-ci, en plus d'être graphiques, ont un impact sur les déplacements des étudiants puisqu'ils ne peuvent pas passer à travers.

Les objets interactifs sont quand à eux manipulés par les autres agents. Il s'agit notamment des fûts, de la caisse enregistreuse et des files d'attente. Bien qu'ils n'implémentent pas `Steppable`, ceux-ci ont tout de même un état. Par exemple le fût peut être vide, cassé, utilisé ou disponible. Ces états varient selon l'utilisation des permanenciers. Les files d'attente et la caisse enregistreuse n'ont pas vraiment d'états mais, tout comme le fût, ont une liste d'attente pour connaître la prochaine personne à utiliser l'objet (ou à être servi dans le cas de la file d'attente).

Une nuance supplémentaire s'applique aux objets inanimés : selon qu'ils implémentent ou non l'interface `Invalid`, ils peuvent être « traversés », ou occupés, par les étudiants ; c'est le cas des files d'attentes ou des chaises, par exemple.

4.2.2 Student

Le comportement simplifié de l'étudiant est présenté figure 7. Les états représentés et leurs transitions n'incluent pas les actions systématiques et toutes les conditions nécessaires, que nous détaillons ci-après.

En particulier, l'étudiant peut avoir un comportement de consommation à chaque itération. Les paragraphes suivants détaillent certains des comportements de l'étudiant.

Avant ceci, nous expliquons le modèle général utilisé pour prendre des décisions. Il est basé sur deux choses : des **règles** et des **probabilités**. Les règles sont déterminées à partir de notre modélisation empirique et font l'objet des prochains paragraphes.

Les probabilités, quant à elles, viennent tempérer l'aspect binaire de certains comportements. Prenons pour comprendre l'exemple de l'entrée de l'étudiant dans le Pic'Asso : la règle générale serait de valider son entrée lorsque :

- L'horaire d'arrivée indiqué dans le sondage est passé ;
- Le jour actuel est un des jours où il se rend au Pic'Asso ;
- Il n'est pas déjà entré un nombre trop important de fois au Pic'Asso.

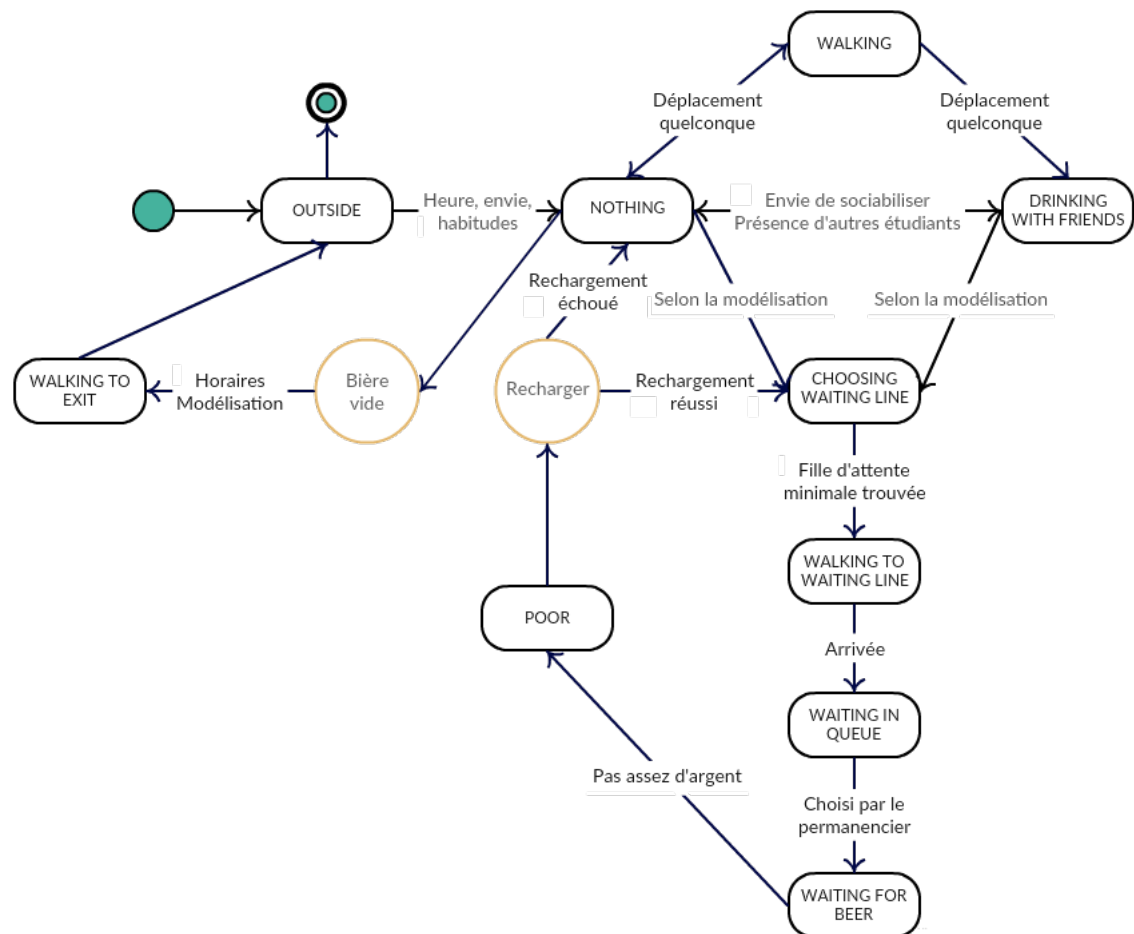


FIGURE 7 – Machine à état modélisant le comportement d'un étudiant.

Pour autant, ces règles ne rendent pas compte des comportements réels : certains étudiants peuvent venir un jour exceptionnel, venir à un horaire différent en fonction des événements et menus proposés. . .

Probabilité et facteur de saturation

Il est alors important d'introduire une probabilité venant moduler ces règles et hétérogénéiser les comportements, *i.e.* les rendre moins systématiques.

Mais ce cas pose un autre problème : si l'étudiant ne rentre pas à un instant donné déterministe, l'évaluation de la transition de l'état OUTSIDE vers l'état NOTHING constitue une **action récurrente**. Si elle était évaluée avec la même probabilité à chaque itération, l'action serait presque immédiate en « temps Pic ».

L'idée est alors, ici, d'ajouter un **facteur de saturation** pour toutes les actions récurrentes : celui-ci va venir diviser la probabilité générale qu'un événement se produise pour lui donner une véritable réalité temporelle. En fait, ce facteur de saturation permet à la probabilité réelle d'être, en moyenne, *véritablement évaluée* au bout d'un intervalle de temps défini.

Prenons un exemple : dans le cas où l'intervalle de temps par itération soit de une minute, avec une probabilité de $\frac{1}{2}$ et un facteur de saturation de 500, chaque itération conduit à évaluer une probabilité *effective* de $\frac{1}{1000}$. Ainsi, en moyenne, au bout de 500 secondes, le comportement aura eu *en moyenne* une probabilité de $\frac{1}{2}$ de se réaliser.

C'est la solution retenue pour la temporisation des actions récurrentes car elle permet de répartir les actions dans le temps. Une solution alternative, choisie dans un premier temps, est de ne tester la probabilité que sur un certain *modulo* du temps « humain ». Cette idée produit les mêmes comportements *in fine*, mais n'est pas satisfaisante car les actions deviennent **trop synchrones** et l'affichage perd de son sens et de son réalisme.

Gestion du budget

Le budget des étudiants est géré à travers deux classes : BankAccount et PayUTCAccount. Ces deux classes héritent d'une classe plus générale, Account. Cette classe gère les logiques de rechargement, de transferts, de paiement. . .

Initialement, l'étudiant dispose de son budget sur son compte bancaire par convention. Lors d'un acte d'achat, si son budget PayUTC est insuffisant, il a la possibilité d'effectuer un virement sur ce dernier depuis son compte bancaire. La seule condition mise en place actuellement est le fait de disposer d'assez de fonds sur son compte bancaire ; l'étudiant recharge **systématiquement** dès lors que son acte d'achat a été motivé.

Modélisation de l'ivresse

Le taux d'alcoolémie influe sur beaucoup de comportements de l'étudiant, et a été modélisé de la façon suivante.

Les bières comportent toutes le **même taux d'alcool** par simplification et tous les étudiants l'assimilent de la même façon – nous n'avons en effet pas de données concernant leur poids notamment. Cependant, d'après leurs indications fournies dans le sondage, tous n'ont pas la même résistance face à l'alcool. Cette résistance a été convertie de façon approximative en un taux d'alcoolémie au-delà duquel l'étudiant est ivre⁴. L'étudiant peut avoir mangé au cours de la soirée un vrai repas, un menu au Pic'Asso ou bien des snacks. Tous lui apporteront une plus grande résistance à l'alcool qui diminuera cependant durant le temps de digestion – qui a été fixé arbitrairement à soixante minutes à partir de leur arrivée au foyer.

Nous avons donc un taux d'alcoolémie augmentant à chaque gorgée de bière et diminuant à chaque itération face à une sorte de taux d'alcoolémie maximal toléré par l'étudiant. Dès lors que son taux d'alcoolémie dépasse sa limite théorique, l'étudiant est considéré comme étant ivre.

Le fait qu'il soit ivre induira un nouveau comportement et influera sur deux autres :

- Il risquera désormais de renverser sa bière, qui ne comptera pas dans le total des bières consommées, et par là même, l'incitera à en reprendre une ;
- Si son ivresse est trop forte, il aura de plus grandes chances de ne plus consommer ou de quitter plus tôt le Pic'Asso que prévu pour se reposer.

4. Pour information, avec un degré de sensibilité défini entre 1 et 5, l'estimation de ce seuil est évaluée à $2 \times \sqrt{3}$.

Fréquence des gorgées

Les étudiants ont chacun un nombre moyen de bières qu'ils consomment habituellement en soirée, convertissable en un **nombre de gorgées prévues** en fonction de leur capacité d'absorption. En fonction de l'heure à laquelle ils arrivent et de celle à laquelle ils comptent partir – ou de l'heure de fin de service, on extrapole une vitesse d'absorption. Plus ils ont de temps pour boire leur bière, plus ils boiront lentement et inversement.

Le temps moyen entre deux gorgées est modulé par des probabilités, comme d'habitude. On peut tout de même noter que dans notre la simulation, la *fréquence de gorgées* a tendance à être **croissante**. En particulier, si l'heure d'arrivée et l'heure de départ sont proches et que le nombre moyen de bières est élevé, elle a même tendance à être **exponentielle**. Dans le cas contraire, elle est plutôt **logarithmique**; ces deux cas sont relativement rares.

Acte de commande

Au-delà de la prise en compte des conditions évidentes, telles que la nécessité d'avoir suffisamment d'argent pour aller passer commande ou le fait que le Pic'Asso serve des bières à cette heure précise, l'étudiant doit satisfaire un certain nombre de conditions non triviales.

Tout d'abord, il ne peut commander de bière s'il en possède déjà une, pas même pour en offrir à un ami. Dans le cas où il est ivre, il aura également tendance à diminuer sa consommation. Il a également conscience du temps lui restant pour consommer sa bière, et si celui-ci est suffisant ou non pour la finir (à raison d'une gorgée *potentielle* par itération). Si les conditions sont remplies, l'étudiant va considérer le temps moyen qu'il met à boire sa bière entièrement et si celui-ci est inférieur au temps restant, s'interroger sur le jour de la semaine. Dans le cas où le week-end approche, *i.e.* le jeudi ou vendredi, la probabilité qu'il commande une nouvelle bière sera augmentée; de même que s'il n'a pas encore atteint le nombre de bières qu'il consomme habituellement en une soirée.

Au-delà de ces facteurs purement logiques, des **probabilités dégressives** sont introduites pour modéliser certains comportements, tel que le fait de boire une bière supplémentaire ou au contraire de retarder la consommation des bières habituelles.

Arrivée au Pic'Asso

L'étudiant a la possibilité d'entrer au Pic'Asso quand il le souhaite durant les horaires d'ouverture. Il a en revanche des heures de fréquentation habituelles qu'il est plus susceptible de respecter.

S'il est déjà venu plus tôt au cours de la soirée, il est moins probable en revanche qu'il revienne poursuivre celle-ci au foyer - d'autant plus s'il n'a plus d'argent à dépenser en consommations.

Départ du Pic'Asso

Le départ s'effectue invariablement au plus tard à la fermeture du foyer. Cependant l'étudiant a la possibilité de quitter celui-ci plus tôt. Il a une heure de départ habituelle, qui peut être décalée certains soirs (peu de travail, occasion spéciale. . .).

Différents facteurs peuvent l'inciter à rentrer en avance; s'il a dépensé le quota d'argent prévu, s'il a bu plus de bières qu'à l'accoutumée ou bien s'il est ivre. Quoi qu'il en soit, il est interdit de quitter le foyer sans avoir vidé son verre; l'étudiant est tenu de terminer celui-ci.

Comportements esthétiques

De tels comportements viennent ajouter un certain réalisme au déroulement de la situation, mais influe relativement peu sur les résultats : il s'agit par exemple de se déplacer aléatoirement ou vers des amis, de discuter avec ces derniers. . . Le seul point à noter ici est que l'étudiant qui discute avec ses amis aura une propension plus forte à délayer la commande de sa prochaine bière.

4.2.3 Barrel et CheckoutCounter

Barrel et CheckoutCounter, respectivement fût et caisse enregistreuse, sont deux agents inanimés mais qui sont plus complexes que les murs ou que le bar. En effet, ceux-ci possèdent une liste d'attente car ils seront utilisés par les permanenciers et doivent implémenter un mécanisme d'**exclusion mutuelle**. Il faut donc gérer le fait qu'ils ne peuvent pas être utilisés simultanément. Chaque permanencier doit donc se mettre dans la liste d'attente, et l'utiliser quand c'est son tour, c'est-à-dire si ils sont en haut de la liste.

De plus, l'agent fût peut avoir d'autres états que occupé ou inoccupé. En effet, celui-ci a une faible chance de se **casser** à chaque fois qu'il est utilisé, le permanencier dont c'est le tour doit alors le réparer, mais il peut aussi se vider, devant alors être rempli. Ces différents événements ralentissent alors le service des permanenciers et tendent à contraindre les actes de consommation du Pic'Asso.

Enfin, la caisse enregistreuse est associée à un compte PayUTC qui permet de calculer le chiffre d'affaire global.

4.2.4 Bartender

Le permanencier, Bartender dans la simulation, se situe derrière le bar et est chargé de servir les étudiants. Un permanencier est lié à une file d'attente, c'est donc dans celle-ci qu'il va choisir un étudiant à servir. Cet étudiant est choisi au hasard parmi les trois premiers de la file. Cette façon de choisir tente de reproduire la réalité du pic, où le permanencier choisit généralement au hasard parmi les étudiants devant le bar.

Servir un étudiant se déroule alors en plusieurs étapes, de 2 à 6 selon les péripéties.

1. Le permanenciers prend la commande de l'étudiant : cette étape est obligatoire.
2. Il utilise la caisse enregistreuse, en faisant la queue si besoin est.
3. Il se dirige vers le fût correspondant à la bière concernée par la commande, toujours avec un mécanisme de file d'attente.
4. Selon l'état du fût, le permanencier peut avoir à le réparer, le remplir ou l'utiliser, voire abandonner si la réparation est déjà en cours.
5. Si le fût casse pendant le service effectif du permanencier, celui-ci prévient l'étudiant afin qu'il choisisse une autre bière parmi la liste des bières disponibles.
6. Le permanencier remplit alors le verre si possible, et amène la commande à l'étudiant.

Le temps pour réparer le fût ou le remplir est actuellement fixe, c'est l'une des améliorations possibles de cet agent.

Le fonctionnement de l'agent peut être représenté avec le diagramme d'états visible figure 8 :

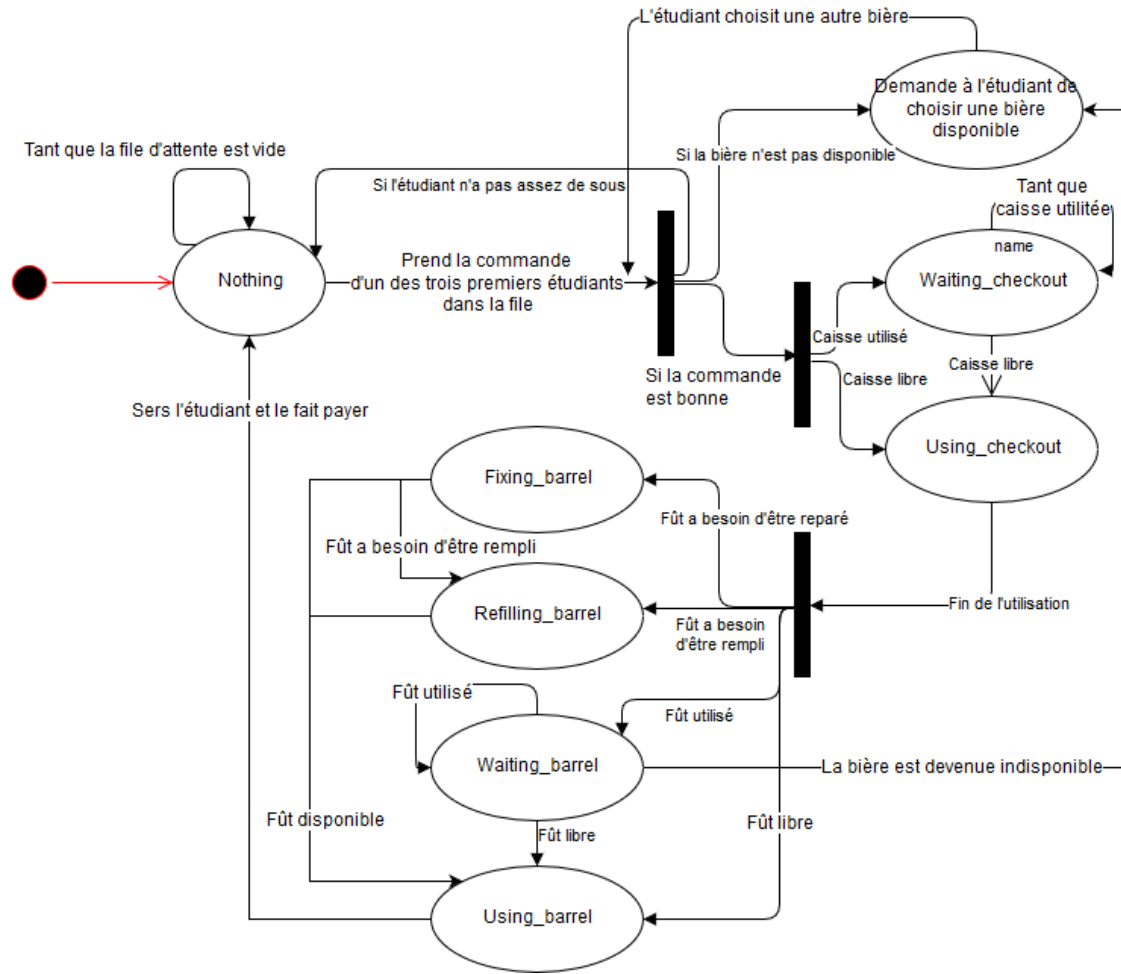


FIGURE 8 – Diagramme d'état du permanencier

4.3 COMMUNICATION ENTRE AGENTS

Comme on a pu l'entrevoir lors des paragraphes précédents, les agents interagissent, ou *collaborent*, pour réaliser les différentes actions. L'action la plus complexe et qui requiert le plus d'interaction est l'action de **service**.

L'interaction entre les différents agents a déjà été décrite dans le paragraphe précédents, et complétée par le diagramme 8. On note en particulier que quatre agents interagissent, le permanencier étant systématiquement **initiateur** de ces interactions.

Cependant ce n'est pas le seul exemple d'interaction dans le système. Tout d'abord les étudiants interagissent entre eux car ils ont pour vocation de se regrouper lorsqu'ils se déplacent, afin de ne pas avoir des individualités éparpillées, mais des groupes d'étudiants pour être plus fidèle à la réalité.

De même, lors de ces déplacements les étudiants ont des interactions avec les agents inanimés puis qu'ils les évitent ou se place dessus. On ne peut, en revanche, pas considérer ces interactions comme des actes de communication comme pour de l'action de servir.

4.4 ÉLÉMENTS GRAPHIQUES

Tout d'abord, il faut bien différencier les agents inanimés et les autres. Les agents inanimés ont une position fixe, définie au début de la simulation, et – à part les fûts – une couleur fixe.

Les agents sont tous associés à une texture et la carte du Pic est représentée par une constante. Il est aisé de la modifier car la construction de la carte logique est dynamique.

4.4.1 Code couleurs pour les états

La couleur des fûts, tout comme celles des étudiants et des permanenciers, change au gré de la simulation selon leur état. Ce code couleur permet de voir graphiquement l'état de chaque agent. Le code couleur est le suivant :

- Fût :
 - Disponible : Jaune ;
 - Cassé : Rouge ;
 - Vide : Bleu ;
 - Utilité : Cyan ;
- Permanencier :
 - Disponible : Rouge ;
 - Utilise ou attend pour utiliser la caisse : Rose ;
 - Attend pour utiliser un fût : Bleu ;

- Utilise un fût : Noir
- Remplit un fût : Cyan;
- Répare un fût : Orange.
- Etudiant :
 - Bourré : Noir;
 - Se déplace avec une bière : Orange;
 - Quitte le pic : Rose;
 - N'a plus assez d'argent pour boire : Rouge;
 - Va chercher une bière : Bleu;
 - Boit avec ses amis : Blanc.

4.4.2 Mise à l'échelle des agents

MASON ne propose pas de solution pour permettre l'affichage sans pertes d'entités simultanées sur une même case. La seule méthode prenant en compte cette idée est `hitOrDraw()` de laquelle héritent toutes les classes filles de `ObjectGridPortrayal2D`. Cette méthode permet simplement de sélectionner les entités à afficher en **superposition**.

Or, considérant que le nombre d'étudiants sur le nombre de case est régulièrement inférieur au nombre d'étudiants⁵, il est plus pertinent de proposer un système de visualisation prenant en compte les entités.

C'est le rôle de la classe abstraite `ScalablePortrayal`, que peuvent implémenter toutes les représentations ayant besoin de cette fonctionnalité. Dans notre cas, elle concerne les étudiants, les permanenciers et les fûts. Cette classe calcule un **facteur de répartition** basé sur le nombre d'entités de même classe sur la case. Ce facteur permet de mettre à l'échelle l'image associée à l'entité. Les coordonnées effectives sont calculées en fonction de la **position** de l'entité dans la liste des entités de même type.

5. C'est systématiquement le cas pour les files d'attentes, mais également pour les case où les étudiants discutent.

5 | CONCLUSION

5.1 RÉSULTATS

La simulation doit maintenant être validée à partir des valeurs de CA précédemment calculée. Pour cela, nous enregistrons les CA obtenu avec notre simulation, et itérons cinq fois pour obtenir une moyenne représentative du comportement de notre simulation. On peut voir le résultat dans la figure 9.

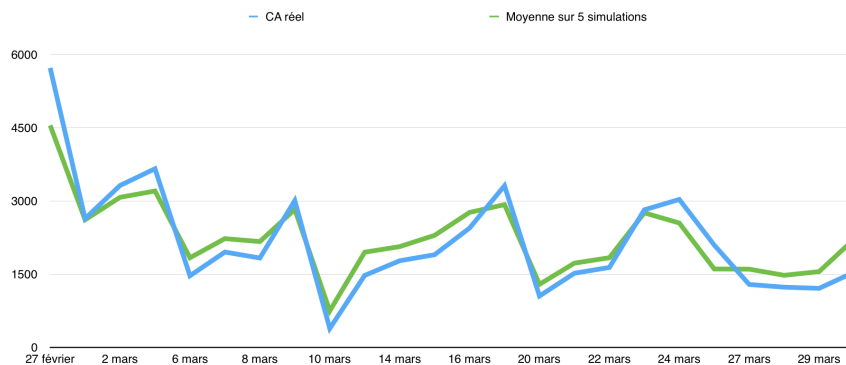


FIGURE 9 – Comparaison du CA réel et de la moyenne des CA obtenu avec la simulation.

On voit très nettement que les données concordent, ce qui confirme que notre simulation fonctionne correctement, ou tout du moins en cohérence avec le comportement réel des étudiants au Pic'Asso.

Il faut tout de même nuancer ce résultat avec le fait que nous utilisons le nombre réel d'étudiant présent chaque soir au Pic'Asso, nous ne le calculons pas. Cela nous permet de ne pas avoir d'incohérence en cas de jours "spéciaux", comme les semaines de médians ou de finaux.

5.2 LIMITES

La simulation comporte des limites intrinsèques que nous expliquons dans cette section.

En particulier, nous avons constaté des décalages entre les données fournies par le Pic'Asso ainsi que les réponses au sondage. Ceux-ci expliquent en partie que certains résultats ne soient tout à fait exacts. L'exemple le plus typique est celui de l'heure d'arrivée moyenne des étudiants. Alors que le sondage tablait sur 20h, le Pic'Asso nous indique qu'elle est plutôt aux alentours de 18h45, soit après la fin des cours.

De plus, si nous avons une base concrète concernant l'heure d'arrivée au Pic'Asso, nous n'en avons pas pour l'heure de départ au-delà de l'heure de dernière commande, qui n'est pas vraiment comparable.

Enfin, les informations concernant le budget maximal par soir sont discutables, certains étudiants ayant en effet indiqué une valeur ne correspondant pas à leur quota de bières habituel par soir.

Si ces limites sont relativement négligeables en ce qui concerne les résultats de la simulation, il apparaît cependant que deux autres points majeurs affectent considérablement certains résultats :

- D'une part, les événements au Pic'Asso – en particulier **les permanences** – ne sont pas modélisés dans la simulation. Pourtant, ceux-ci impactent les actes de consommation, et peuvent induire une différence notable de chiffre d'affaires entre deux soirs classiques au même nombre d'étudiants.
- D'autre part, la prise en compte des potentielles difficultés financières en fin de mois est hasardeuse à modéliser, et peut également induire des différences entre plusieurs jours similaires par le nombre d'étudiants et le type d'événements.

5.3 EXTENSIONS POSSIBLES

De nombreuses fonctionnalités n'ont au final pas pu être implémentées par manque de temps. Elles sont pour la plupart plus subtiles et nous en citons quelques unes dans cette section par souci d'exhaustivité. La modélisation valide de ces idées au sein de la simulation pourrait permettre de se rapprocher d'autant plus des données réelles, et même de **modéliser des événements futurs**.

Les relations entre étudiants forment un domaine extrêmement vaste, puisqu'il demande de prendre en compte des éléments de sociologie et de psychologie comportementale. Celles-ci influent sur la formation de groupes, dont les membres présentent

parfois des similitudes par leurs activités ou leurs personnalités (groupe d'étudiants travaillant leurs projets, de rugbymen, de doctorants etc.). Ces relations peuvent aussi influencer sur la vitesse de service – un permanencier étant plus susceptible de servir rapidement un de ses amis.

Dans la continuité du point précédent, la notion d'activité n'a été introduite que très sommairement dans la simulation ; les étudiants ne pouvant que boire, errer ou discuter entre eux. Or, il arrive que les étudiants dansent, participent aux animations mises en place par les permanenciers, jouent aux consoles disponibles, regardent un film avec le rétroprojecteur etc. Celles-ci ont un impact sur le nombre d'étudiants présents dans la soirée ainsi que sur leur répartition spatiale sur le site, voire sur leur consommation. La fatigue du permanencier est aussi un facteur impactant, tout comme son gain d'expérience au fil de la soirée et au fil de ses permanences.

Les **permanences spéciales**, c'est-à-dire les événements faisant varier considérablement le nombre d'étudiant, ne sont pas non plus prises en compte pour l'instant. Parmi celles-ci on peut citer la semaine blanche (pas de bières pendant une semaine), les semaines de médians et finaux, les estus, etc.

L'impact du genre aurait pu être mis en avant par plusieurs facteurs dans la simulation. Même si nous ne trouvons pas d'exemples immédiats, il faudrait en particulier étudier l'existence de différences dans les comportements de services ou bien dans l'évolution du taux d'alcoolémie.

L'extension de la durée d'ouverture à toute la journée, en vendant de ce fait autre chose que de la bière, pourrait être un axe d'amélioration très important. Dans le cadre de notre modèle, il faudrait aussi prendre en compte la vente de bières en bouteilles concernant la vente de boissons alcoolisées.

Enfin, et pour être complets, il pourrait être intéressant de modéliser l'apparition **spontanée** d'événements aléatoires, comme des chutes ou des mouvements de foule. Ces événements imprévisibles peuvent, dans certains cas, bouleverser considérablement les comportements de consommation.

Les améliorations les plus pertinentes pour la simulation concernent la prise en compte des permanences spéciales, l'extension des horaires ainsi que la modélisation d'autres comportements que celui de consommation de boissons. Ces évolutions pourraient permettre de produire d'autres statistiques significatives.