

Gestion de flux dans le réseau

TD n ° 6

Modélisation mathématique

Q4

Sibylle Roux

Juliette Arazo

Nicolas Le Gallo

Tanguy Thomas

13 décembre 2017

Table des matières

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Etude de la file M/M/1 | 3 |
| 1.1 | Conception d'une représentation informatique | 3 |
| 1.2 | Conception et développement d'un algorithme de simulation en scilab | 3 |
| 1.3 | Simulation de trajectoires | 4 |
| 1.3.1 | Simulation de l'évolution d'un file d'attente | 4 |
| 1.3.2 | Distribution statistiques de la taille de la file d'attente . . | 4 |
| 1.3.3 | Temps de service supérieur en moyenne aux temps inter- arrivées | 5 |
| 1.3.4 | Temps de service inférieur en moyenne aux temps inter- arrivées | 6 |
| 1.3.5 | Temps de service égaux en moyenne aux temps inter-arrivées | 8 |
| 2 | Etude de la file à 3 serveurs | 9 |
| 2.1 | Simulation de stratégie circulaire | 9 |
| 2.1.1 | Etude numérique du temps de traversée du système pour une requête | 11 |
| 2.1.2 | Etude numérique du nombre de requêtes dans le système | 12 |
| 2.1.3 | Recherche d'un régime stationnaire | 12 |
| 2.2 | Simulation de la stratégie d'affection aléatoire proportionnelle . . | 12 |
| 2.2.1 | Simulation | 12 |
| 2.2.2 | Etude numérique du temps de traversée du système pour une requête | 14 |
| 2.2.3 | Etude numérique du nombre de requêtes dans le système | 15 |
| 2.3 | Autres stratégies, aléatoires ou/et déterministes | 15 |
| 2.3.1 | Stratégie semi-circulaire | 15 |
| 2.3.2 | Stratégie d'attribution selon la taille de la file d'attente . | 17 |
| 3 | Conclusion | 18 |
| A | Stratégie circulaire - Etude numérique du nombre de requêtes dans le système | 19 |

1 Etude de la file M/M/1

1.1 Conception d'une représentation informatique

Pour stocker les valeurs simulées on utilisera un tableau de la forme :

| instant t | $q(t)$ | incrément |
|-------------|--------|-----------|
|-------------|--------|-----------|

Cette représentation est idéale : elle réunit toutes les informations utiles du fonctionnement des serveurs :

- l'instant où se passe l'événement
- le type d'événement (entrée ou sortie d'un client dans le système)
- le nombre de clients présent dans le système

Cette dernière valeur nous sera utile pour avoir la taille de la file d'attente :

$$taille_file = \max(q(t) - 1, 0) \quad (1)$$

1.2 Conception et développement d'un algorithme de simulation en scilab

Nous avons à notre disposition une fonction SciLab *insere*(q, ta, ts) avec :

- **q** : Matrice de notre représentation informatique de la file
- **ta** : Temps actuel
- **ts** : Temps de service

```
function newq = insere(q, ta, ts)
    if q($, 1) < ta then
        q($+1,:) = [ta, 1, 1];
    else
        ind = sum(q(:, 1) < ta);
        q(ind+2:$+1, :) = q(ind+1:$, :);
        q(ind+1,:) = [ta, q(ind,2), 1];
        q(ind+1:$,2) = q(ind+1:$,2) + 1;
    end
    s = q($, 1) + ts
    q($+1, :) = [s, q($, 2) - 1, -1];
    newq = q
endfunction
```

Nous avons aussi la fonction *randExp*($n, lambda$) qui génère un vecteur de taille n de valeurs aléatoires suivant la loi exponentielle de paramètre $\lambda = lambda$

```
function t = randExp(n, lambda)
    t = -log(1 - rand(n,1)) / lambda
endfunction
```

C'est à l'aide de ces deux fonctions citées plus haut que l'on peut définir la fonction : *queue(Tmax, lambda, mu)* où :

- **Tmax** : Instant maximal de la représentation de la file
- **lambda** : λ correspondant aux temps inter-arrivées
- **mu** : λ correspondant aux temps de service

```
function a=queue(Tmax, lambda, mu)
    Q = [0, 0, 0];
    t = 0; // temps courant
    while (t < Tmax)
        t_ia=randExp(1,lambda);
        t=t+t_ia;
        ts=randExp(1,mu);
        Q=insere(Q,t,ts);
    end
    a = Q (Q(:,1)<Tmax,:);
endfunction
```

1.3 Simulation de trajectoires

1.3.1 Simulation de l'évolution d'un file d'attente

Pour simuler les différentes trajectoires, on va utiliser une fonction Scilab *traj(n, lambda, mu)* où :

- **n** : correspondant à l'instant maximal de la représentation de la file
- **lambda** : λ correspondant aux temps inter-arrivées
- **mu** : λ correspondant aux temps de service

```
function traj(n,lambda,mu)
    for i=1:50 // 50 trajectoires
        Q = queue(n, lambda, mu); // lambda est 5 fois plus grand que mu
        plot2d2(Q(:,1), max(Q(:,2) - 1, 0), style=2) // trace la courbe
    end
endfunction
```

1.3.2 Distribution statistiques de la taille de la file d'attente

Pour avoir la distribution statistique de des trajectoires, on va utiliser une fonction Scilab *distrib(n, lambda, mu)* où :

- **n** : correspondant à l'instant maximal de la représentation de la file
- **lambda** : λ correspondant aux temps inter-arrivées
- **mu** : λ correspondant aux temps de service

```
function Qi=distrib(n,lambda,mu)
    Qi = zeros(500, 1);
    for i=1:500
        Q = queue(n, lambda, mu);
```

```

        Qi(i) = Q($, 2);
    end
    distr = tabul(Qi,'i')
    bar(distr(:,1),distr(:,2)/500)
    legend("Distribution de Q"+string(n))
endfunction

```

Lorsque l'amplitude sera très grande, on optera plutôt pour une autre version de cette fonction *distribv2(n,lambda,mu)* :

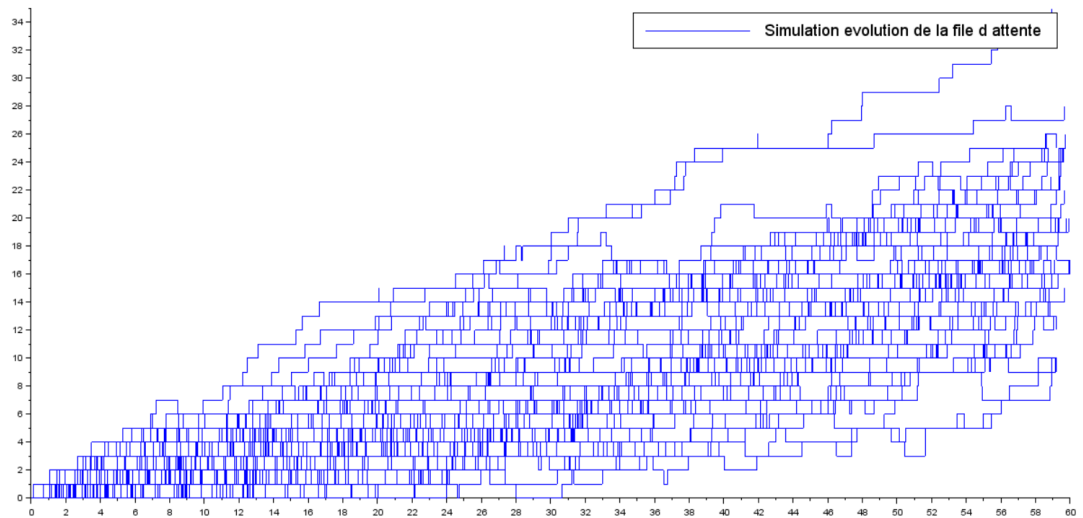
```

function Qi=distribv2(n,lambda,mu)
    Qi = zeros(500, 1);
    for i=1:500
        Q = queue(n, lambda, mu);
        Qi(i) = Q($, 2);
    end
    histplot(20,Qi)
    legend("Distribution de Q"+string(n))
endfunction

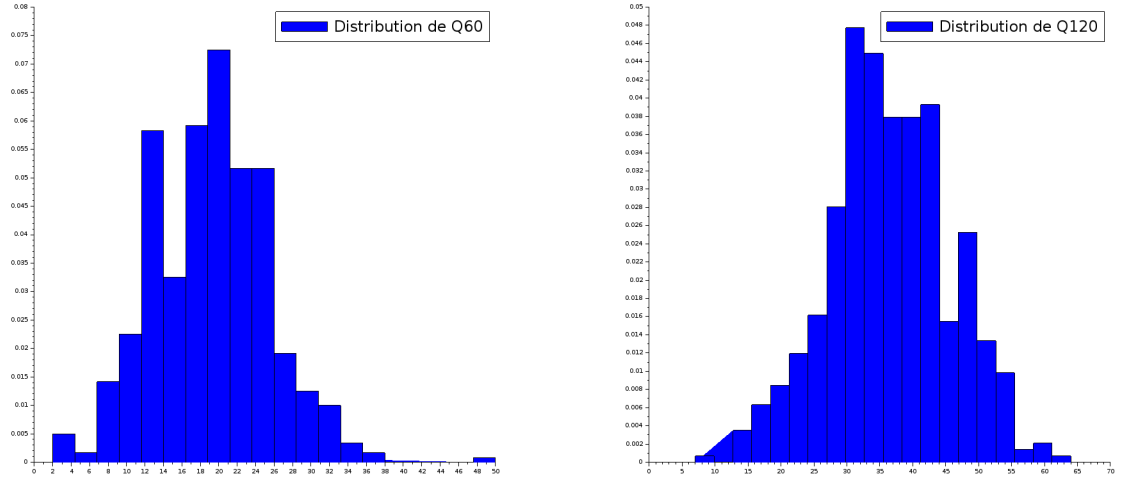
```

1.3.3 Temps de service supérieur en moyenne aux temps inter-arrivées

Paramètre : $n = 60$; $\lambda = 0.5$; $\mu = 0.2$



On remarque bien que la file d'attente ne semble pas se stabiliser, mais augmente de manière continue.

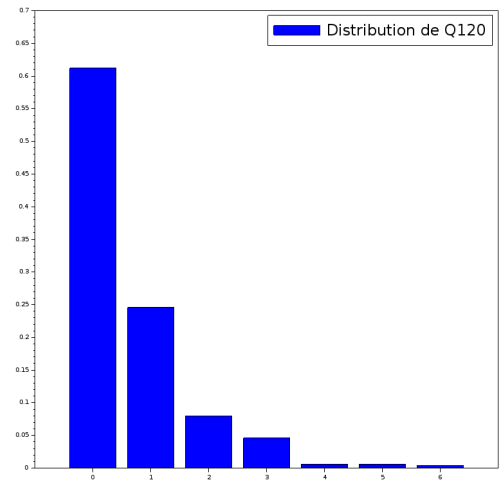
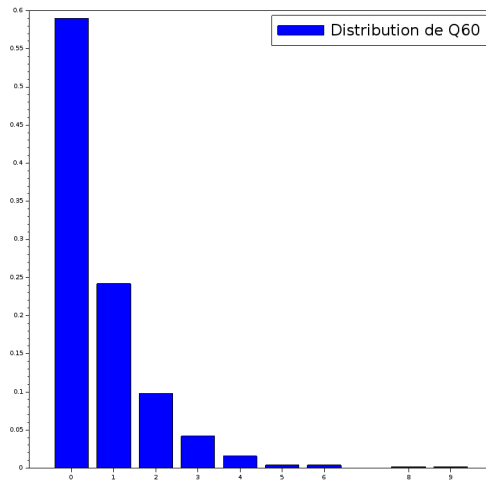
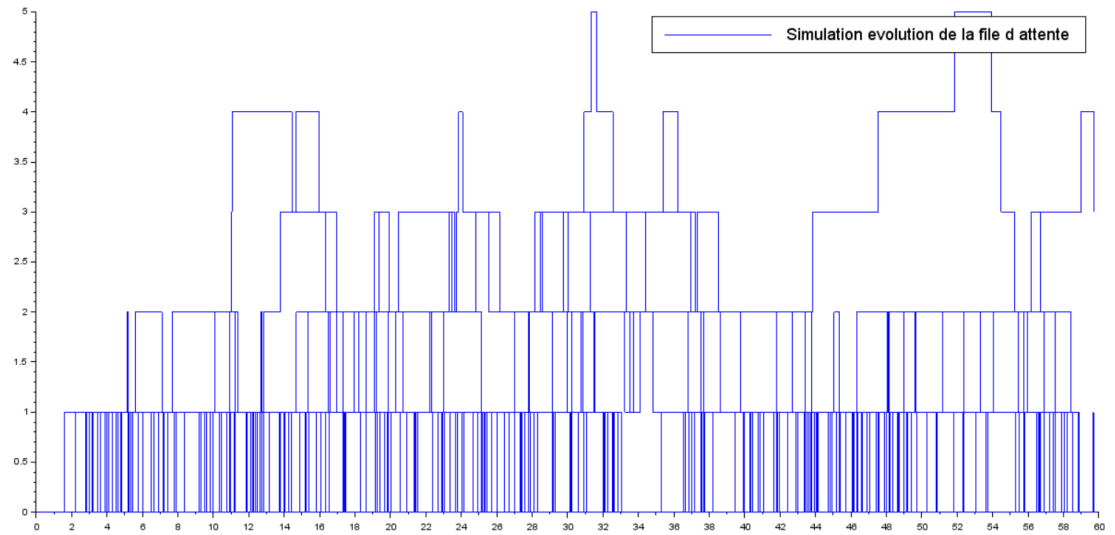


| | Q60 | Q120 |
|------------|-----------|-----------|
| mean() | 18.54 | 36.806 |
| variance() | 40.212826 | 81.158681 |

Quand on étudie la distribution de la file d'attente pour 60 et 120 secondes, on voit bien que les 2 moyennes et variances sont très différents, en effet l'évolution de la file d'attente ne se stabilise pas mais semble augmenter continuellement : $mean(Q60) < mean(Q120)$.

1.3.4 Temps de service inférieur en moyenne aux temps inter-arrivées

Paramètre : $n = 60$; $lambda = 0.2$; $mu = 0.5$

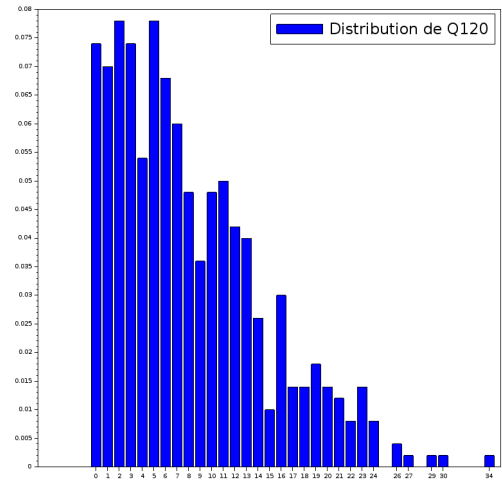
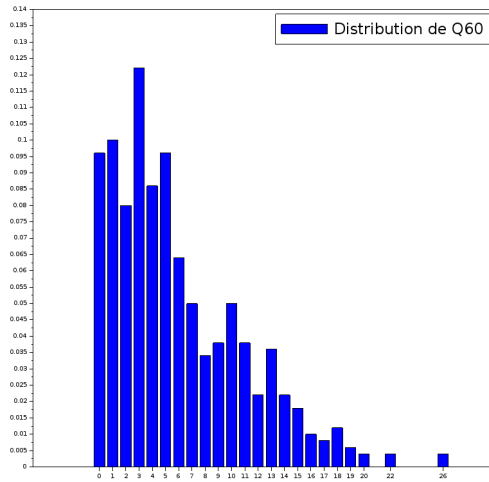
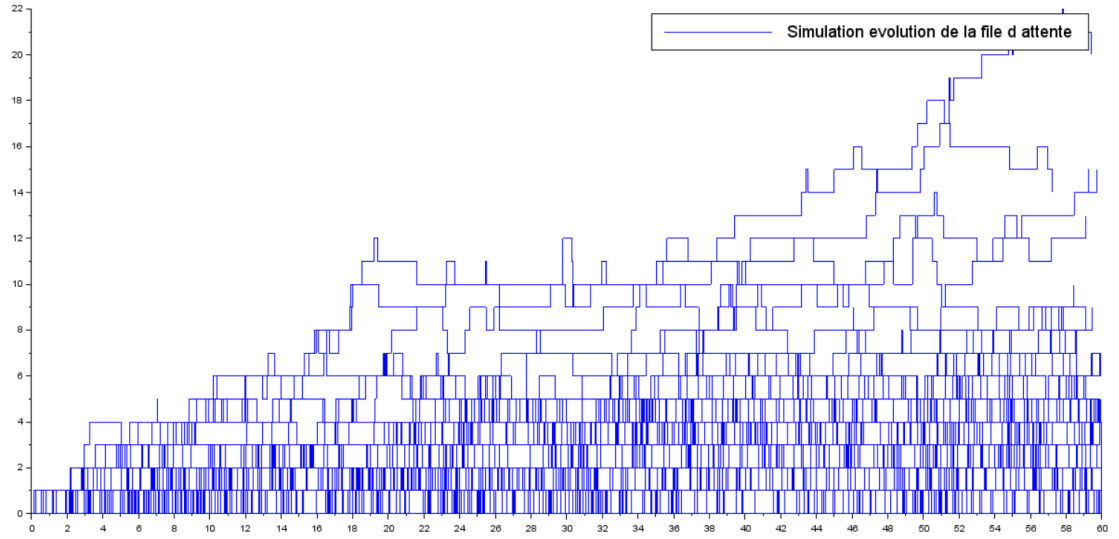


| | Q60 | Q120 |
|------------|-----------|-----------|
| mean() | 0.582 | 0.704 |
| variance() | 0.9611984 | 1.1787415 |

On peut bien voir d'après ces graphiques, que la file d'attente est toujours inférieure à 10 et majoritairement proche de 0, on en déduit que le serveur est donc sous-utilisé.

1.3.5 Temps de service égaux en moyenne aux temps inter-arrivées

Paramètre : $n = 60$; $\lambda = 0.5$; $\mu = 0.5$



| | Q60 | Q120 |
|------------|-----------|-----------|
| mean() | 5.726 | 8.476 |
| variance() | 24.792509 | 46.350124 |

On voit sur ces graphiques que la plupart des valeurs de la file d'attente sont entre 0 et 10, la taille de la file d'attente tend vers un régime stationnaire.

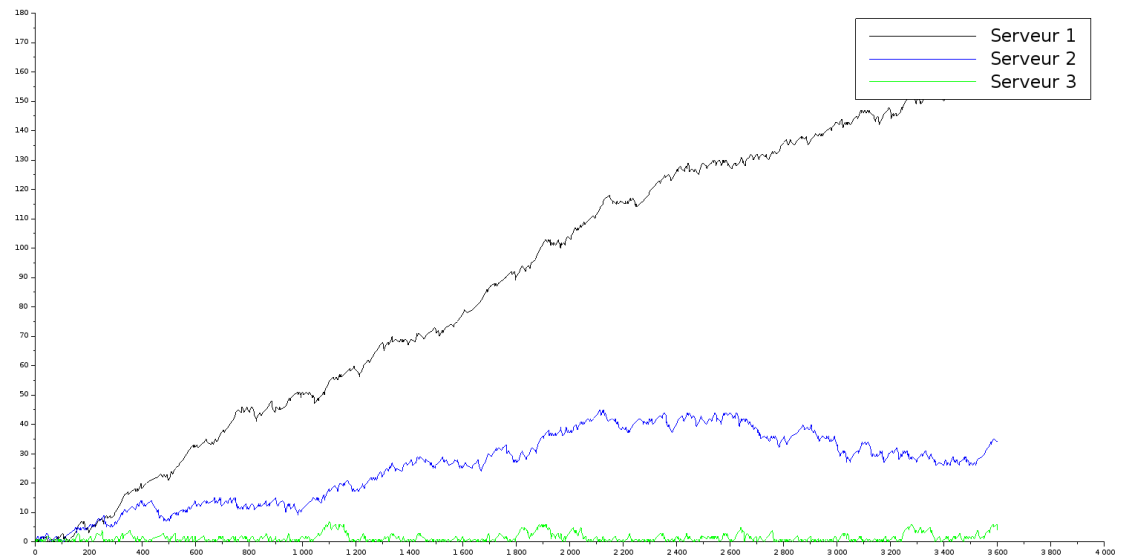
2 Etude de la file à 3 serveurs

2.1 Simulation de stratégie circulaire

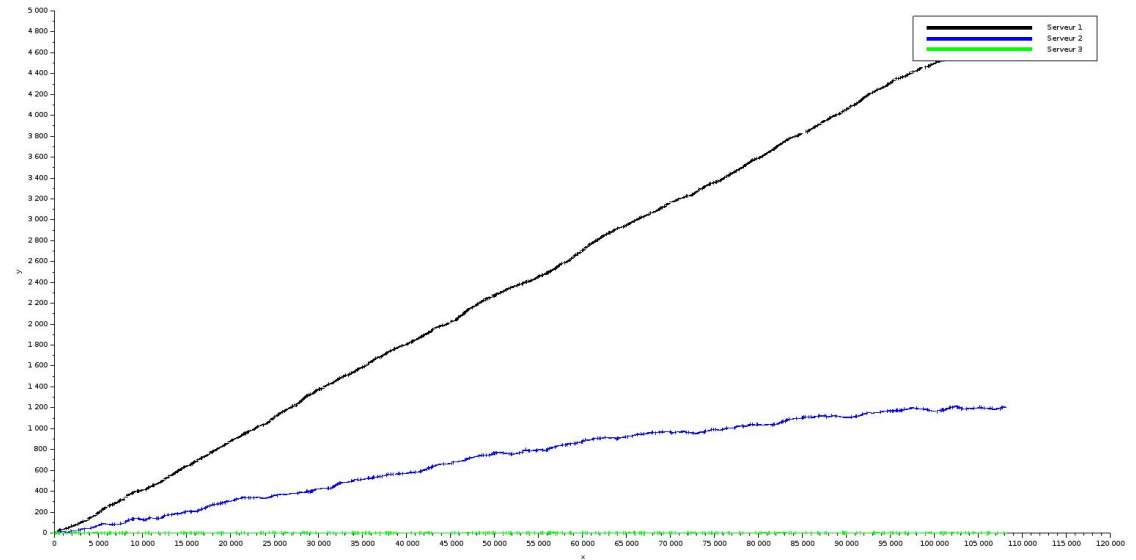
Pour simuler la stratégie circulaire, on va utiliser la fonction *circul*(*Tmax*, *lambda*, *mu*)
où :

- **Tmax** : Durée en seconde de la simulation
- **lambda** : λ correspondant aux temps inter-arrivées
- **mu** : vecteur contenant les λ correspondant aux temps de service des 3 serveurs

```
function [Q1, Q2, Q3] = circul(Tmax, lambda, mu)
    Q1 = [0, 0, 0]; Q2 = Q1; Q3 = Q1;
    i = 0;
    ta = 0;
    while (ta < Tmax)
        ia = randExp(1, lambda)
        i = i+1
        ta = ta + ia
        nq = modulo(i, 3) + 1
        ts = randExp(1, mu(nq))
        select nq
        case 1.
            Q1 = insere(Q1, ta, ts)
        case 2
            Q2 = insere(Q2, ta, ts)
        else
            Q3 = insere(Q3, ta, ts)
        end
    end
    Q1 = Q1(Q1(:,1)<Tmax,:)
    Q2 = Q2(Q2(:,1)<Tmax,:)
    Q3 = Q3(Q3(:,1)<Tmax,:)
endfunction
```



Simulation sur 1 heure



Simulation sur 30 heures A partir de ces 2 graphiques, on peut clairement voir que :

- Le serveur 3 est sous utilisé

- Le serveur 2 reçoit légèrement trop de requête qu'il ne peut traiter, il finit par grimper doucement mais sûrement vers l'infini
- Le serveur 1 est complètement 'largué', la taille de sa file d'attente croît de manière vertigineuse

2.1.1 Etude numérique du temps de traversée du système pour une requête

Outil de calcul Pour calculer les temps de traversée du système, on a créé une fonction Scilab *texecute*(*Q1, Q2, Q3*) où :

- **Q1, Q2, Q3** : correspondent aux représentation des files

```
function [t1,t2,t3,t_mr] = texecute(Q1,Q2,Q3)
    //requetes sorties
    Q_s1 = Q1(Q1(:,3) == -1,1)
    Q_s2 = Q2(Q2(:,3) == -1,1)
    Q_s3 = Q3(Q3(:,3) == -1,1)

    //length file d'attentes requetes sorties
    l_s1 = length(Q_s1)
    l_s2 = length(Q_s2)
    l_s3 = length(Q_s3)

    //requetes entrées
    Q_re1 = Q1(Q1(:,3) == 1,1)
    Q_re2 = Q2(Q2(:,3) == 1,1)
    Q_re3 = Q3(Q3(:,3) == 1,1)

    //nb requetes entrées = nb requetes sorties
    Q_e1 = Q_re1(1:l_s1,1)
    Q_e2 = Q_re2(1:l_s2,1)
    Q_e3 = Q_re3(1:l_s3,1)

    //temps sortie - temps entrée
    t_e1 = Q_s1 - Q_e1
    t_e2 = Q_s2 - Q_e2
    t_e3 = Q_s3 - Q_e3

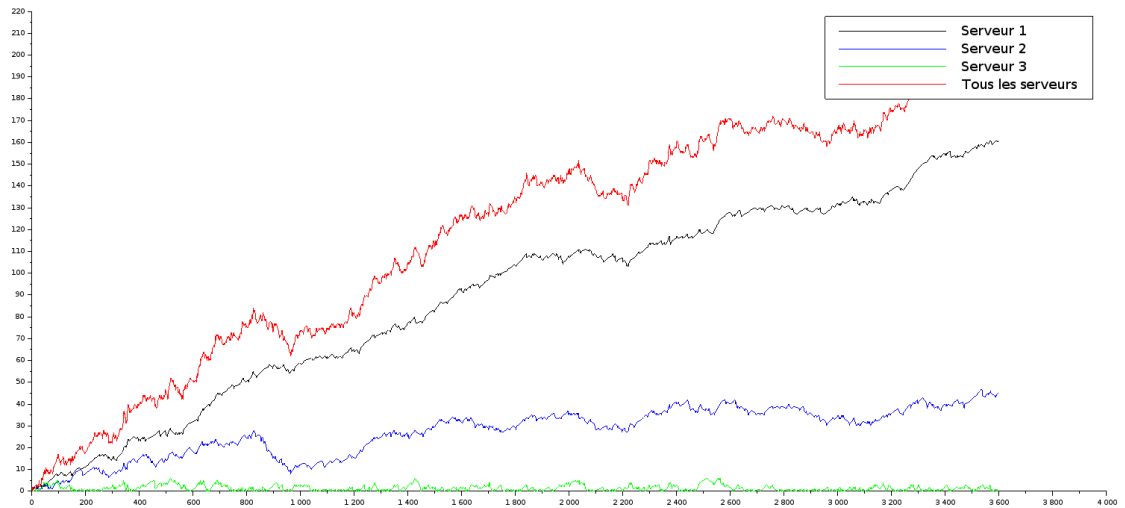
    //temps moyen requete par serveur
    t1 = mean(t_e1)
    t2 = mean(t_e2)
    t3 = mean(t_e3)

    //temps moyen systeme
    t_mr = (t1+t2+t3)/3
endfunction
```

Résultats pour une simulation Les résultats peuvent varier, mais sont proches de ces résultats :

| | Serveur 1 | Serveur 2 | Serveur 3 | Tous |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| moyenne | 820.60768 | 246.56614 | 12.08801 | 359.75394 |

2.1.2 Etude numérique du nombre de requêtes dans le système



[Lien vers le code](#)

2.1.3 Recherche d'un régime stationnaire

Au vu des résultats, on peut en conclure que la stratégie circulaire n'est pas du tout optimale, on remarque aisément que la taille de la file d'attente du service ne fait que croître sans jamais se stabiliser.

On va donc chercher d'autres stratégies qui seraient plus adaptées et plus optimale pour le service.

2.2 Simulation de la stratégie d'affectation aléatoire proportionnelle

2.2.1 Simulation

Pour simuler la stratégie d'affectation aléatoire proportionnelle, on utilise la fonction $aleaProp(Tmax, lambda, mu)$ où :

- **Tmax** : Durée en seconde de la simulation
- **lambda** : λ correspondant aux temps inter-arrivées
- **mu** : vecteur contenant les λ correspondant aux temps de service des 3 serveurs

```

function [Q1, Q2, Q3] = aleaProp(Tmax, lambda, mu)
    Q1 = [0, 0, 0]; Q2 = Q1; Q3 = Q1;
    i = 0;
    ta = 0;
    while (ta < Tmax)
        ia = randExp(1, lambda)
        i = i+1
        ta = ta + ia
        nq = num_serv()
        ts = randExp(1, mu(nq))
        select nq
        case 1
            Q1 = insere(Q1, ta, ts)
        case 2
            Q2 = insere(Q2, ta, ts)
        else
            Q3 = insere(Q3, ta, ts)
        end
    end
    Q1 = Q1(Q1(:,1)<Tmax,:)
    Q2 = Q2(Q2(:,1)<Tmax,:)
    Q3 = Q3(Q3(:,1)<Tmax,:)
endfunction

```

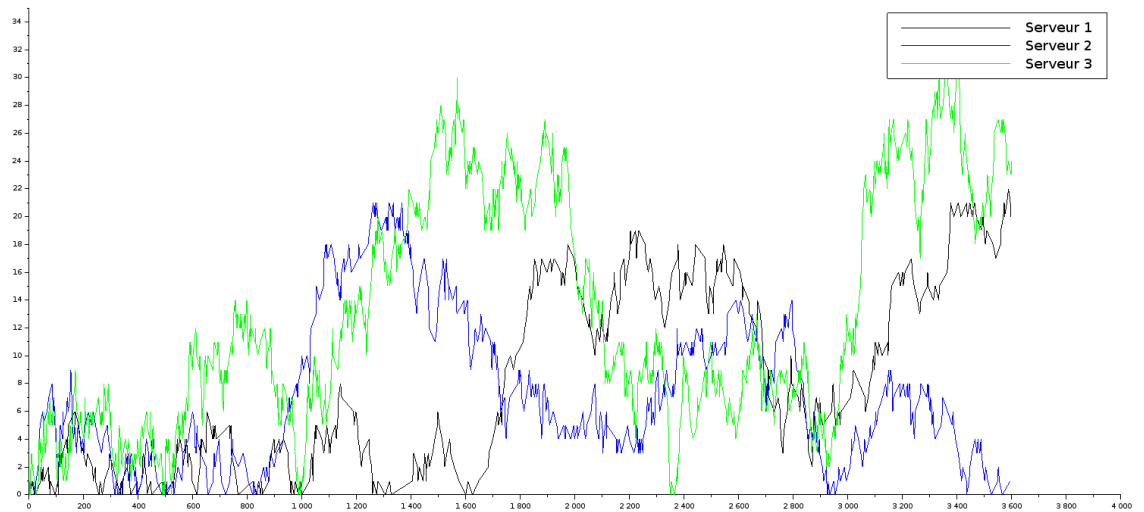
Dans la fonction précédente, on utilise la fonction suivante : *num_serv()*, qui génère le numéro de serveur à allouer généré aléatoirement de manière proportionnelle aux temps de service des différents serveurs.

```

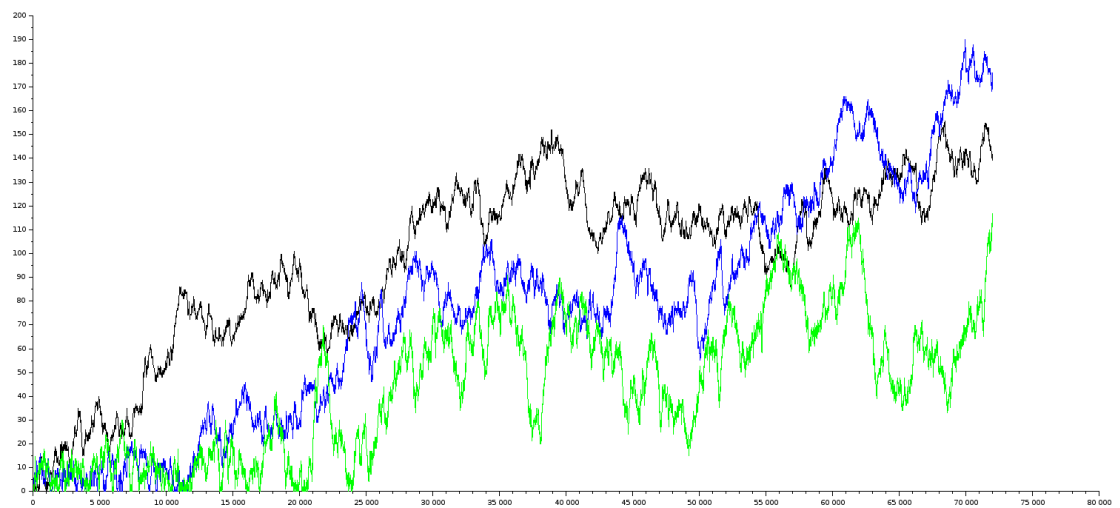
function nq = num_serv()
    u = rand()
    if u < 0.2 then
        nq = 1
    elseif u < 0.5
        nq = 2
    else
        nq = 3
    end
endfunction

```

Résultats



Représentation de l'évolution des files d'attente pendant 20 heures



2.2.2 Etude numérique du temps de traversée du système pour une requête

Résultats pour une simulation Les résultats peuvent varier, mais sont proches de ces résultats :

| | Serveur 1 | Serveur 2 | Serveur 3 | Tous |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| moyenne | 182.58103 | 101.34571 | 115.17009 | 133.03228 |

On remarque que les résultats semblent plus équilibrés, et que les serveurs sont généralement mieux utilisés qu'avec la stratégie circulaire.

2.2.3 Etude numérique du nombre de requêtes dans le système

2.3 Autres stratégies, aléatoires ou/et déterministes

2.3.1 Stratégie semi-circulaire

| Choix du serveur | Temps restants S1 | Temps restants S3 | Temps restant S2 |
|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 1 | 15 | | |
| 3 | 12 | 6 | |
| 2 | 9 | 3 | 10 |
| 3 | 6 | 6 | 7 |
| 3 | 3 | 9 | 4 |
| 1 | 15 | 6 | 1 |
| 2 | 12 | 3 | 10 |
| 3 | 9 | 6 | 7 |
| 3 | 6 | 9 | 4 |
| 2 | 3 | 6 | 11 |
| 1 | 15 | 3 | 8 |
| 3 | 12 | 6 | 5 |
| 2 | 9 | 3 | 12 |
| 3 | 6 | 6 | 9 |
| 3 | 3 | 3 | 6 |
| 1 | 15 | 0 | 3 |
| 2 | 12 | 0 | 10 |
| 3 | 9 | 6 | 7 |
| 3 | 6 | 9 | 4 |
| 2 | 3 | 6 | 11 |
| 1 | 15 | 3 | 8 |
| 3 | 12 | 6 | 5 |
| ... | ... | ... | ... |

La solution que nous proposons ici est une solution déterministe, semi-circulaire, basée sur une suite d'attribution optimisée. Pour ce faire, nous sommes partis d'une idée simple : attribuer les requêtes aux différents serveurs, en choisissant à chaque fois le serveur qui présente le temps de traitement restant le plus petit.

Ainsi, au fur et à mesure des attributions, il en ressort une suite récurrente composée de 10 éléments :

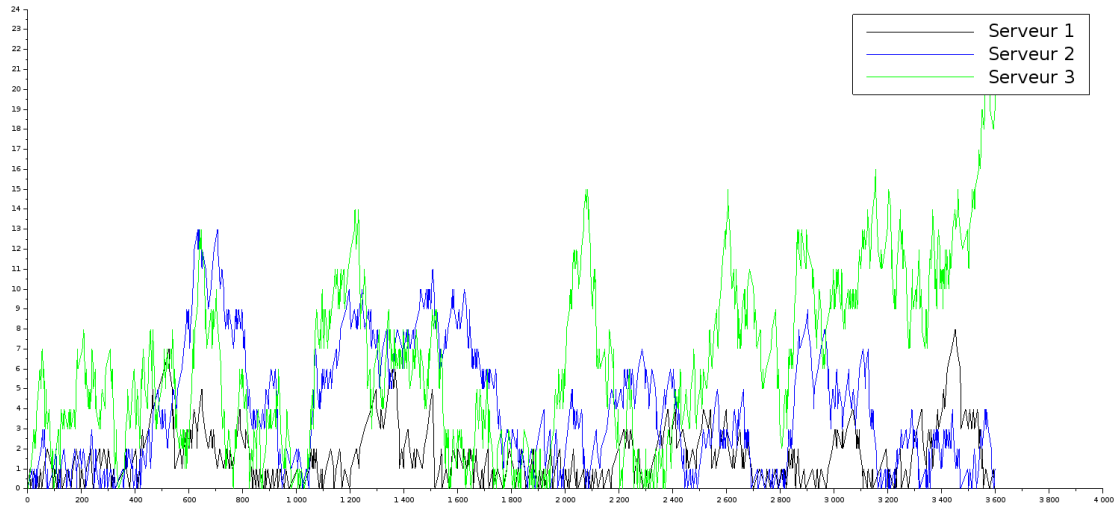
$$[1, 3, 2, 3, 3, 1, 2, 3, 3, 2]$$

On parcourt ensuite cette suite pour obtenir un ordre d'attribution plutôt optimisé.

On obtient donc la fonction suivante *semicircul*(*Tmax*, *lambda*, *mu*) :

```
function [Q1, Q2, Q3] = semicircul(Tmax, lambda, mu)
    Q1 = [0, 0, 0]; Q2 = Q1; Q3 = Q1;
    tab=[1,3,2,3,3,1,2,3,3,2];
    ta = 0;
    while (ta < Tmax)
        for i=1:10
            nq=tab(i);
            ia = randExp(1, lambda)
            ta = ta + ia
            ts = randExp(1, mu(nq))
            select nq
            case 1
                Q1 = insere(Q1, ta, ts)
            case 2
                Q2 = insere(Q2, ta, ts)
            else
                Q3 = insere(Q3, ta, ts)
            end
        end
    end
    Q1 = Q1(Q1(:,1)<Tmax,:);
    Q2 = Q2(Q2(:,1)<Tmax,:);
    Q3 = Q3(Q3(:,1)<Tmax,:);
endfunction
```

Résultat de la simulation



2.3.2 Stratégie d'attribution selon la taille de la file d'attente

Cette solution pour l'attribution des requêtes aux différents serveurs fonctionne de la sorte : pour chaque nouvelle requête, on observe le nombre de requêtes file d'attente de chaque serveur. On pondère ensuite ce nombre par le temps de traitement des requêtes moyen de chaque serveur. On choisit finalement le serveur qui obtient le plus petit résultat pour lui attribuer la nouvelle requête.

On obtient donc la fonction suivante *choix*(*Tmax*, *lambda*, *mu*) :

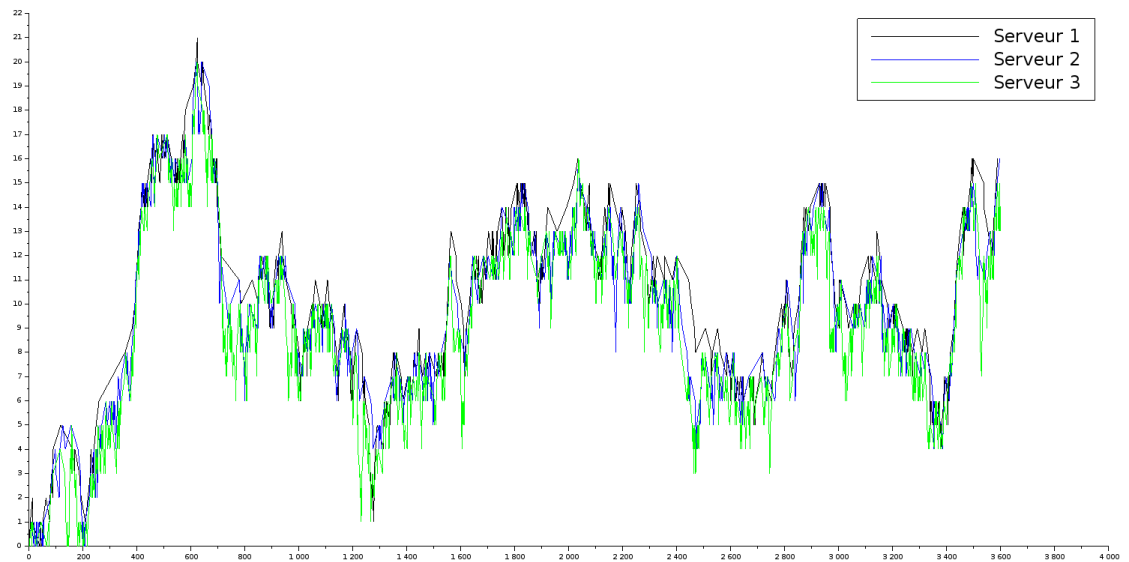
```
function [Q1, Q2, Q3] = choix(Tmax, lambda, mu)
    Q1 = [0, 0, 0]; Q2 = Q1; Q3 = Q1;
    i = 0;
    ta = 0;
    while (ta < Tmax)
        ia = randExp(1, lambda)
        i = i+1
        ta = ta + ia
        ind1 = sum(Q1(:,1)<ta)// on récupère les files d'attentes de chaque serveur
        ind2 = sum(Q2(:,1)<ta)
        ind3 = sum(Q3(:,1)<ta)
        tq1 = Q1(ind1,2)
        tq2 = Q2(ind2,2)
        tq3 = Q3(ind3,2)
        minserv=min(tq1,tq2,tq3)
        if tq1 == minserv then // enfin on choisit le serveur qui a le plus petit résultat
            nq = 1
        elseif tq2 == minserv
```

```

        nq = 2
    else
        nq = 3
    end
    ts = randExp(1, mu(nq))
    select nq
    case 1
        Q1 = insere(Q1, ta, ts)
    case 2
        Q2 = insere(Q2, ta, ts)
    else
        Q3 = insere(Q3, ta, ts)
    end
end
Q1 = Q1(Q1(:,1)<Tmax,:)
Q2 = Q2(Q2(:,1)<Tmax,:)
Q3 = Q3(Q3(:,1)<Tmax,:)
endfunction

```

Résultat de la simulation



3 Conclusion

A Stratégie circulaire - Etude numérique du nombre de requêtes dans le système

```
plot2d(Q1(:,1), Q1(:,2), style= 1)
plot2d(Q2(:,1), Q2(:,2), style= 2)
plot2d(Q3(:,1), Q3(:,2), style= 3)

Q=[Q1;Q2;Q3]
Qt=[0,0,0]
Qt=gsort(Q,'r','i')
total=0;
for i=1:length(Q(:,1))
Qt(i,2)=total;
[a,b]=find(Q(:,1)==Qt(i,1),1);
increment=Q(a,3);
Qt(i,3)=increment;
total=total+increment
end

plot2d(Qt(:,1), Qt(:,2), style = 5)

legend("Serveur 1","Serveur 2","Serveur 3", "Tous les serveurs")
```