1

ÉTUDES MATHÉMATIQUES

Jeux de simulation

par Claude BOUCHER (Sherbrooke, Québec, Canada)

Certains phénomènes, en particulier dans le domaine des sciences humaines, sont si complexes que l'on est incapable de les exprimer au moyen d'équations mathématiques, ou bien, quand on réussit à le faire, les équations obtenues sont trop compliquées pour se prêter à une solution. Dans ce cas, la simulation sur un modèle du phénomène permet tout de même de répondre à un grand nombre des questions que l'on se pose à son propos.

L'utilisation de modèles que l'on soumet à des expérimentations diverses est une technique bien connue. Par exemple, l'ingénieur en aéronautique pourra étudier les qualités aérodynamiques d'un nouvel avion ou d'une nouvelle fusée en soumettant une maquette de cet avion ou de cette fusée aux tensions provoquées par une soufflerie. Les défectuosités du projet apparaîtront immédiatement sans que l'on ait à subir les pertes humaines et financières qu'occasionnerait la mise au point de prototypes inadéquats.

On peut de façon semblable construire dans un laboratoire un modèle réduit d'un barrage, le soumettre aux tensions qu'exercera une houle miniature, bref, vérifier sur cette maquette si le barrage que l'on projette de bâtir est capable de résister aux conditions physiques auxquelles il sera éventuellement soumis.

C'est à des techniques assez semblables que l'on recourt, lorsque l'on veut en sciences humaines expérimenter sur certaines situations. Nous voudrions présenter dans cet article deux exemples qui permettront de faire toucher du doigt aux élèves les méthodes qui sont mises en oeuvre pour réaliser de telles expérimentations. L'un se rapportera à la recherche du nombre optimal d'ouvriers qui devraient être affectés à la réparation des machines dans une usine. L'autre concernera le choix de la meilleure parmi plusieurs politiques de réapprovisionnement des stocks dans une entreprise commerciale.

Atelier de réparation

Considérons donc une usine où l'on trouve trois machines et un ouvrier affecté à la réparation de celles-ci. (1) Il peut arriver qu'une, deux et même trois machines soient simultanément défectueuses, pendant que l'ouvrier s'affaire à réparer l'une d'elles. Quand les machines attendent à ne rien faire le moment d'être réparées, il s'ensuit bien entendu une perte financière causée par le manque de production de ces machines. Pour éviter au maximum ce type de perte, on pourrait concevoir que l'on engage trois ouvriers chargés de la réparation, mais alors on risquerait que plusieurs de ces ouvriers aient à se croiser les bras la plupart du temps, d'où, cette fois-ci, une perte causée par la trop grande oisiveté forcée de certains employés.

Pour trancher ce dilemme de la façon la plus efficace possible, il conviendra de se livrer à des expérimentations capables de répondre aux questions qui nous intéressent. Nous allons décrire ici la méthode que l'on pourrait utiliser pour réaliser (sans dommage, sans perte inutile de temps et d'argent) une telle expérimentation à laquelle on donnera le nom de *simulation*. Nous demanderons à cette simulation de répondre aux deux questions suivantes :

"Quel pourcentage du temps les machines sont-elles occupées à produire ?

Quel pourcentage du temps l'ouvrier affecté à la réparation est-il occupé ? "

---

(1) L'exemple que nous présentons ici nous a été suggéré par la lecture de Emshoff, J.R. & R.L. Sisson, *Design and Use of Computer Simulation Models*, Macmillan, 1970.

CONSTRUCTION D'UN MODELE DE L'USINE

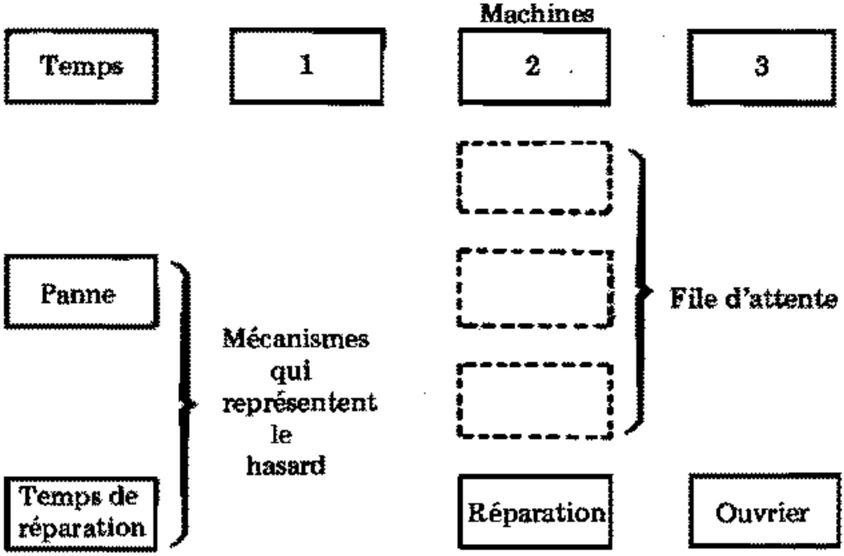

Figure 1.

On se procurera un ensemble de 55 cartes. Des cartes de 7×9 cm suffisent, bien que, pour expérimenter devant une classe, il soit préférable d'utiliser des cartes plus grandes. Ces cartes serviront aux usages que nous décrirons maintenant.

Temps

On prendra 31 cartes que l'on numérotera dans l'ordre de 0 à 30 et que l'on placera dans le coin gauche du haut de la table. Ces cartes représenteront une horloge, chaque carte correspondant à 15 minutes. Par exemple, si la carte qui apparaît au haut du paquet est marquée du nombre 10, cela indiquera que la simulation est commencée depuis 10 quarts d'heure, c'est-à-dire deux heures et demie. Il va de soi que la simulation ne se fait pas "en temps réel", c'est-à-dire que si, par exemple, on tournait une carte en moyenne à toutes les minutes, il suffirait d'une minute pour représenter 15 minutes du temps simulé.

Ouvrier

L'ouvrier affecté à la réparation sera représenté par une carte. Celle-ci nous servira en même temps à accumuler des informations qui nous aideront à déterminer le pourcentage du temps où l'ouvrier était occupé à la réparation des machines. Cette carte aura l'allure suivante :

Ouvrier

Début du travail	*Fin du travail*	*Durée*
______	______	______
______	______	______
______	______	______

Machines

On utilisera trois cartes pour représenter les machines. Sur chacune, on écrira le numéro de la machine. On utilisera aussi cette carte pour accumuler certaines statistiques fournies par la simulation en rapport avec la machine représentée ; ce que l'on peut faire de la façon suivante :

Machine 2

Moment de la panne	*Moment où la réparation est achevée*	*Durée de la panne*
______	______	______
______	______	______
______	______	______

Lorsqu'une machine est en état de fonctionnement, on placera la carte qui lui correspond au haut de la table (voir la Fig. 1). Lorsqu'elle est en panne, on placera la carte correspondante dans la file d'attente des machines à réparer. Si l'ouvrier n'est pas occupé, on placera la première carte de la file d'attente au point REPARATION. Lorsque la machine est réparée. la carte correspondante est remise à sa position initiale et la première carte de la file d'attente est amenée à *REPARATION*.

Probabilité de panne

Supposons que l'expérience ait montré qu'une machine se brisait en moyenne à toutes les 150 minutes, c'est-à-dire qu'en un quart d'heure, elle a 1 possibilité sur 10 de subir une panne. On représentera ce fait de la façon suivante : on prendra 10 cartes ; sur 9 d'entre elles, on écrira *NON* et sur la 10^e, on écrira *OUI*. Ces cartes seront brassées et on en choisira une au hasard. Si la carte choisie est marquée *OUI*, on conclura qu'il y a une panne à ce moment-là ; si la carte choisie est *NON*, on conclura qu'il n'y a pas de panne.

Durée d'une réparation

Les réparations des machines sont rarement de la même durée. Elles sont tantôt plus longues, tantôt plus courtes. Supposons que l'observation ait permis d'établir qu'en moyenne sur 10 réparations, 3 sont effectuées en un quart d'heure, 2 en une demi-heure, 2 en trois quarts d'heure, 2 en une heure et 1 en une heure et quart. On prendra donc 10 cartes et

sur 3 d'entre elles, on écrira 1

sur 2 d'entre elles, on écrira 2

sur 2 d'entre elles, on écrira 3

sur 2 d'entre elles, on écrira 4

sur 1 d'entre elles, on écrira 5.

Pour déterminer la durée d'une réparation donnée, on mêlera ces cartes et on en choisira une au hasard. La nombre qui s'y trouve indiquera le nombre de quarts d'heure exigés par la réparation.

Processus de simulation

Nous avons maintenant à notre disposition les instruments qui nous permettront de mener à bien notre simulation. Il nous manque cependant une chose fort importante : les règles du jeu que nous allons exécuter. Voici ces règles.

(1) Placer les cartes sur la table aux endroits appropriés, le paquet de cartes *TEMPS* indiquant le moment 0.

(2) S'il reste au moins une carte dans le paquet *TEMPS*, tourner cette carte et passer à l'étape 3. Sinon, passer à l'étape 24.

(3) Si la machine 1 est en état d'opération, passer à l'étape 4. Sinon, passer à l'étape 7.

(4) Choisir une carte au hasard dans le paquet *PANNE*. Si la carte choisie est *OUI*, passer à l'étape 5. Sinon, passer à l'étape 7.

(5) Enregistrer sur la carte de la machine 1 le moment de la panne (nombre qui apparaît sur la carte du haut dans le paquet *TEMPS*).

(6) Placer la carte de la machine 1 dans la file d'attente des machines à réparer.

(7) Si la machine 2 est en état d'opération, passer à l'étape 8. Sinon, passer à l'étape 11.

(8) Choisir au hasard une carte dans le paquet *PANNE*. Si la carte choisie est *OUI*, passer à l'étape 9. Sinon, passer à l'étape 11.

(9) Enregistrer sur la carte de la machine 2 le moment de la panne.

(10) Placer la carte de la machine 2 dans la file d'attente des machines à réparer.

(11) Si la machine 3 est en état d'opération, passer à l'étape 12. Sinon, passer à l'étape 15.

(12) Choisir au hasard une carte dans le paquet *PANNE*. Si la carte choisie est *OUI*, passer à l'étape 13. Sinon, passer à l'étape 15.

(13) Enregistrer sur la carte de la machine 3 le moment de la panne.

(14) Placer la carte de la machine 3 dans la file d'attente des machines à réparer.

(15) S'il y a une machine en réparation, passer à l'étape 16. Sinon, passer à l'étape 18.

(16) Si on a atteint le moment où la réparation de la machine est achevée, (le nombre au bas de la deuxième colonne de la carte de la machine doit alors être égal au nombre indiqué par le paquet *TEMPS*), on passe à l'étape 17. Sinon, on passe à l'étape 2.

(17) On remet la carte de la machine réparée à sa position initiale.

(18) S'il y a au moins une carte dans la file d'attente, on place la première de la file au point de réparation et on passe à l'étape 19. Sinon, on passe à l'étape 23.

(19) Si l'ouvrier n'était pas occupé, on inscrit le nombre indiqué par le paquet *TEMPS* dans la première colonne de la carte de l'ouvrier et on passe à l'étape 20. Sinon, on passe immédiatement à 20.

(20) On choisit au hasard une carte dans la paquet *TEMPS DE REPARATION*.

(21) On ajoute le nombre obtenu à l'étape 20 au nombre indiqué par le paquet *TEMPS* et on inscrit ce nombre dans la deuxième colonne de la carte de la machine en réparation.

(22) On passe à l'étape 2.

(23) Si l'ouvrier était occupé, on écrit dans la deuxième colonne de la carte de l'ouvrier le nombre qu'indique le paquet *TEMPS* et on passe à l'étape 2. Sinon, on passe immédiatement à 2.

(24) On calcule les durées des pannes pour chacune des machines en soustrayant les nombres des deuxièmes colonnes à ceux des premières colonnes.

(25) On fait la somme de toutes les durées des pannes.

(26) On calcule le pourcentage du temps où les machines sont occupées à produire :

$$\frac{3 \times \text{Dernier nombre du paquet } \textit{TEMPS} - \text{Total des durées des pannes}}{3 \times \text{Dernier nombre du paquet } \textit{TEMPS}} \times 100$$

(27) On calcule les durées des tâches de l'ouvrier en faisant la différence entre les nombres de la deuxième colonne de la carte de celui-ci et ceux de la première et on fait la somme de ces valeurs.

(28) On calcule le pourcentage du temps où l'ouvrier était occupé :

$$\frac{\text{Somme des durées des tâches}}{\text{Dernier nombre du paquet } \textit{TEMPS}} \times 100$$

(29) On s'arrête.

Le tableau suivant nous montre une expérience de simulation qui a été réalisée.

TEMPS	*EVENEMENTS*
1	————
2	————
3	————
4	Panne de la machine 3 Durée de la réparation = 4 Réparation achevée en 8
5	————
6	————

7	Panne de la machine 1
8	Retour de la machine 3 Début de la réparation de la machine 1 Durée de la réparation = 1 Réparation achevée en 9
9	Retour de la machine 1
10	Panne de la machine 3 Durée de la réparation = 5 Réparation achevée en 15
11	
12	
13	
14	
15	Retour de la machine 3 Panne de la machine 1 Durée de la réparation = 2 Réparation achevée en 17
16	
17	Retour de la machine 1
18	
19	Panne de la machine 2 Durée de la réparation = 1 Réparation achevée en 20
20	Retour de la machine 2
21	
22	
23	Panne de la machine 1 Durée de la réparation = 4 Réparation achevée en 27
24	Panne de la machine 2
25	
26	

27	Retour de la machine 1 Début de la réparation de la machine 2 Durée de la réparation = 4 Réparation achevée en 31
28	———————
29	———————
30	———————

Tableau 1.

Cette expérience nous donne les statistiques suivantes :

Ouvrier

Début du travail	*Fin du travail*		*Durée*
4	9		5
10	17		7
19	20		1
23	30		7
		Total	20

(* voir remarque à la fin du tableau)

Machine 1

Moment de la panne	*Moment où la réparation est achevée*		*Durée de la panne*
7	9		2
15	17		2
23	27		4
		Total	8

Machine 2

Moment de la panne	*Moment où la réparation est achevée*		*Durée de la panne*
19	20		1
24	30		6
		Total	7

(* voir remarque à la fin du tableau)

Machine 3

Moment de la panne	*Moment où la réparation est achevée*	*Durée de la panne*
4	8	4
10	15	5
	Total	9

Tableau 2.

* Dans le cas de la dernière panne de la machine 2, on éprouve une petite difficulté quand on veut calculer la durée de la panne. La simulation doit se terminer au 30e quart d'heure et la réparation doit être achevée au 31e quart d'heure. Nous avons résolu cette difficulté de façon arbitraire en supposant, dans ce cas, que la réparation était achevée au 30e quart d'heure.

On arrivera alors aux résultats suivants :

Pourcentage du temps où l'ouvrier est occupé :

$$\frac{20}{30} \times 100 = 66,7~\%$$

Durée totale des pannes = 24

Temps total d'utilisation = 3 × 30 = 90

Pourcentage du temps de production des machines

$$\frac{90 - 24}{90} \times 100 = 73,3~\%$$

Si on avait réuni les statistiques appropriées, on aurait également pu déterminer le pourcentage d'activité de l'ouvrier affecté à la réparation.

On pourrait aussi recommencer la simulation, mais en affectant cette fois-ci deux ouvriers plutôt qu'un à la réparation des machines. On pourrait alors accumuler des statistiques du même type et les comparer aux statistiques précédentes. Si l'on connaît les coûts que l'on peut assigner au manque de production causée par la panne d'une machine de même que le salaire d'un ouvrier, on pourra déterminer s'il vaut mieux ou non accroître le nombre d'ouvriers affectés à cette tâche. On pourrait aussi par des méthodes semblables établir s'il serait souhaitable de remplacer ces machines par des machines plus coûteuses, mais qui auraient une probabilité de panne plus faible, etc.

Il va de soi que pour certaines simulations, on peut préférer utiliser une autre unité de temps que le quart d'heure. Dans l'exemple qui va suivre, l'unité de temps sera égale à une journée. On peut aussi faire porter la simulation sur une durée beaucoup plus grande que les 30 périodes de l'exemple précédent. En fait, il est possible de montrer que plus le nombre de périodes est grand, plus les prévisions faites à partir de la simulation seront rapprochées de la réalité que l'on veut simuler et meilleures seront les conclusions que l'on pourra en tirer. Une façon commode d'accroître la durée de la simulation consiste à accumuler tous les résultats partiels obtenus par les élèves. Les résultats cumulés obtenus par 25 élèves qui ont chacun fait une simulation portant sur 30 périodes équivalent à peu près à ceux qu'on obtiendrait en faisant une simulation globale portant sur 750 périodes.

Simulation d'une politique de réapprovisionnement

L'autre exemple que nous allons maintenant examiner consiste, comme nous l'avons déjà indiqué, à rechercher parmi plusieurs politiques de réapprovisionnement celle qui semblerait occasionner les frais les moins élevés.

Supposons qu'une entreprise commerciale vende un certain type d'article pour lequel elle a constaté que la demande obéissait à la loi suivante :

dans 40% des cas, la demande est égale à 0 unité par jour

dans 30% des cas, la demande est égale à 1 unité par jour

dans 20% des cas, la demande est égale à 2 unités par jour

dans 10% des cas, la demande est égale à 3 unités par jour

On voit donc que la demande journalière moyenne sera

$$0{,}40 \times 0 + 0{,}30 \times 1 + 0{,}20 \times 2 + 0{,}10 \times 3 = 1$$

Supposons aussi que le stockage d'une unité de cet article coûte 5 F par jour. On pourrait alors conclure que l'entreprise a tout intérêt à garder en stock un nombre d'articles qui soit le moins élevé possible. Cependant, avant de tirer une telle conclusion, il importe de tenir compte de deux autres facteurs.

Chaque commande occasionne des frais de diverses natures : frais de secrétariat, de transport, de manutention, d'assurances, etc. On a donc intérêt à commander un nombre d'articles suffisamment grand pour ne pas multiplier indûment le nombre de commandes. D'autre part, si le nombre d'articles en stock est insuffisant, il peut se produire des pénuries qui se traduiront par la perte d'un profit et par le bénéfice d'un concurrent. On évaluera à 100 F le coût fixe d'une commande, auquel il faudra ajouter 25 F par article commandé. Quant à la pénurie, on évaluera à 200 F la perte occasionnée pour chaque article demandé par un client que l'on n'a pas pu satisfaire.

Il existe aussi un autre élément dont il faut tenir compte dans l'étude d'une telle situation. Le réapprovisionnement ne se fait pas instantanément. Il existe des délais de livraison et la durée de ces délais est susceptible de varier. On supposera que l'on a pu établir que

dans 1 cas sur 4, le délai de livraison est d'une journée

dans 2 cas sur 4, le délai est de 2 jours

dans 1 cas sur 4, le délai est de 3 jours.

On voit donc que le marchand a tout intérêt à faire des commandes qui ne soient ni trop fréquentes, ni trop espacées et que ces commandes doivent être faites au moment où le niveau des stocks n'est ni trop élevé, ni trop bas. En somme, il importe de déterminer les valeurs qu'il faut assigner à deux variables pour minimiser le coût total formé du coût de stockage, du coût de réapprovisionnement et du coût de pénurie. Ces variables sont d'une part la quantité d'articles à commander (représentée par Q) et d'autre part le point de commande (représenté par R), c'est-à-dire le niveau que les stocks doivent avoir atteint pour que l'on juge prudent de commander à nouveau.

Le but du jeu de simulation que l'on exposera ici sera de comparer les coûts de quatre politiques de réapprovisionnement envisagées par le marchand et de choisir la meilleure. Ces politiques seront schématiquement représentées par le tableau suivant :

R	Q
4	11
3	12
4	13
6	14

La simulation exigera cette fois-ci un ensemble de 41 cartes, deux pièces de monnaie et un certain nombre de feuilles de papier.

Comme dans l'exemple précédent, 31 de ces cartes, numérotées de 0 à 30, serviront à simuler le passage du temps. Nous adopterons la journée comme unité de temps, de sorte que le fait de tourner une carte du paquet *TEMPS* simulera le passage d'un jour. Les dix autres cartes serviront à simuler la demande journalière de l'article qui nous intéresse.

4 de ces cartes seront marquées 0

3 de ces cartes seront marquées 1

2 de ces cartes seront marquées 2

1 de ces cartes sera marquée 3.

A chaque jour de temps simulé, on choisira une carte au hasard dans le paquet *DEMANDE*. La nombre inscrit sur la carte indiquera la demande pour cette journée.

Les pièces de monnaie permettront de simuler les délais de réapprovisionnement. Au moment où une commande sera expédiée, on lancera les pièces de monnaie en l'air. Si on obtient deux piles, le délai sera fixé à une journée. Une pile et une face indiquent un délai de deux jours. Enfin, deux faces donneront un délai de trois jours.

Quant aux feuilles, elles serviront à la comptabilité journalière des demandes, des stocks et des ventes que l'on n'a pas pu réaliser à cause d'une pénurie ; c'est pourquoi elles porteront un en-tête formée de quatre titres : Temps, Demande, Stock à la fin du jour, Ventes perdues.

Pour faciliter la simulation, on supposera que l'évaluation des stocks se fait à la fin du jour après que les demandes ont été enregistrées. Si on constate alors que le stock a atteint une valeur inférieure ou égale au point de commande R, on expédiera une commande de Q articles et on déterminera au moyen des pièces de monnaie le délai de livraison. Cette livraison se fera à la fin du jour déterminé, après que les demandes de cette journée ont été enregistrées.

Les règles de la simulation seront les suivantes :

(1) Choisir une valeur de Q et de R.

(2) Mettre les cartes en place, le paquet *TEMPS* indiquant le moment 0.

(3) Inscrire sur la feuille de comptabilité la valeur initiale du stock.

(4) S'il reste au moins une carte dans le paquet *TEMPS*, tourner cette carte et passer à l'étape 5. Sinon, passer à l'étape 10.

(5) Choisir une carte au hasard dans le paquet *DEMANDE* et inscrire le résultat sur la feuille de comptabilité.

(6) Si la demande est supérieure au stock du jour précédent, inscrire 0 dans la colonne *Stock* et inscrire la différence entre la demande et le stock précédent dans la colonne *Ventes perdues*, puis passer à l'étape 8. Sinon, passer à l'étape suivante.

(7) Calculer le stock à la fin du jour en soustrayant la demande du jour au stock du jour précédent et en ajoutant la valeur de Q, s'il y a une livraison qui doit être faite ce jour-là. Inscrire le résultat dans la colonne appropriée.

(8) Si le stock à la fin du jour est inférieur ou égal à R, faire une commande et déterminer à l'aide des pièces de monnaie le délai de réapprovisionnement.

(9) Passer à l'étape 4.

(10) Faire la somme des colonnes *Stock* et *Ventes perdues* et calculer le nombre de commandes effectuées.

(11) Calculer le coût de l'entreposage :
Somme de la colonne *Stock* $\times$ coût journalier de l'entreposage d'un article.

(12) Calculer le coût de réapprovisionnement :
(coût fixe + nombre d'articles commandés $\times$ coût unitaire de réapprovisionnement) $\times$ nombre de commandes.

(13) Calculer la perte causée par les pénuries :
(perte unitaire pour un article) $\times$ somme de la colonne *Ventes perdues*.

(14) Faire la somme des trois coûts précédents.

Le tableau qui suit indique les résultats d'une expérience de simulation pour le cas où $Q = 11$ et $R = 4$. On s'était donné un stock initial de 10 unités et aucune commande antérieure n'avait été faite.

Temps	*Demande*	*Stock à la fin du jour*	*Ventes perdues*
0	——	10	——
1	2	8	——
2	1	7	——

3	2	5	
4	0	5	
5	0	5	
6	2	3	
		commande	
		délai de livraison 2 jours	
7	3	0	
8	2	arrivée de la commande	2
		11	
9	2	9	
10	1	8	
11	2	6	
12	0	6	
13	0	6	
14	0	6	
15	2	4	
		commande	
		délai de livraison 2 jours	
16	1	3	
17	0	arrivée de la commande	
		14	
18	0	14	
19	1	13	
20	0	13	
21	2	11	
22	2	9	
23	0	9	
24	3	6	
25	0	6	
26	1	5	
27	3	2	

		commande	
		délai de livraison 3 jours	
28	0	2	
29	2	0	
30	0	arrivée de la commande	
		11	
Total		207	2

Tableau 3.

(On remarquera que 207, la somme de la colonne *Stock*, est obtenue en ne tenant pas compte du nombre 10, valeur du stock initial).

Coût de l'entreposage

$$207 \times 5 = 1035 \text{ F}$$

Coût du réapprovisionnement

$$(100 + 11 \times 25) \times 3 = 1125 \text{ F}$$

Pertes causées par les pénuries

$$2 \times 200 = 400 \text{ F}$$

Coût total

$$1035 + 1125 + 400 = 2560 \text{ F.}$$

Comme nous l'avons déjà fait remarquer, la valeur du coût réel sera d'autant plus rapprochée de celle du coût obtenu par simulation que l'on a fait porter la simulation sur un plus grand nombre d'observations. L'évaluation que nous avons calculée ici, portant sur 30 jours, est en vérité bien précaire. On peut cependant demander à chaque élève de faire une simulation sur une période de 30 jours et grouper ensuite les résultats obtenus. Une meilleure façon de procéder consisterait pour chaque simulation partielle à utiliser comme valeur initiale du stock la valeur obtenue à la fin de la simulation partielle précédente. Ainsi, pour une deuxième étape de 30 jours, on pourrait prendre comme valeur initiale du stock le niveau de 11 articles obtenu à la fin de l'exemple précédent. Par ailleurs, si une commande avait été faite à la période précédente sans avoir pu être livrée pendant ce temps, on devrait tenir compte de la livraison de cette commande pendant la période actuelle.

En tous cas, quelle que soit la manière de procéder, on obtiendra un coût total pour des valeurs données de R et de Q. On reprendra la simulation pour chacune des trois autres paires de valeurs et on évaluera pour chacune le coût total. Si la simulation porte sur une durée suffisamment longue, on peut raisonnablement conclure que la politique qui donne le coût total le plus bas sera celle qui permettra dans la pratique de minimiser les frais d'opération. La comparaison entre les coûts évalués pour les diverses politiques sera facilitée si on utilise dans tous les cas les demandes qui ont été déterminées au cours de la première simulation.

Conclusion

Bien que l'on ait choisi des exemples très simples pour illustrer ces jeux de simulation, il importe de noter que les méthodes que nous avons exposées ici ne diffèrent pas radicalement de celles que l'on utilise en pratique pour simuler les situations que l'on trouve dans la réalité. Tout au plus, la différence entre une usine réelle et celle que nous avons présentée provient de ce que le nombre des machines y est beaucoup plus considérable, que plusieurs types de machines peuvent s'y rencontrer et que leurs réparations peuvent exiger des dizaines d'ouvriers de compétences diverses. Il en est de même pour le second exemple.

Il va de soi que les deux exemples de jeux de simulation que nous avons présentés ici sont bien peu à côté de la quantité innombrable de jeux que l'on peut concevoir. Que l'on pense à toutes les situations où interviennent des files d'attente, aux standards téléphoniques, aux ascenseurs, à la circulation dans des réseaux routiers, que sais-je encore ? Les maîtres sont invités à créer de nouveaux jeux de simulation. Ils auront aussi profit à faire appel à l'imagination inépuisable de leurs élèves.

En terminant, il est intéressant d'esquisser une dernière remarque. Ceux qui sont familiers avec l'étude des algorithmes et des programmes que l'on construit pour faire usage des ordinateurs auront sans doute été frappés de la similitude qui existe entre ces programmes et les règles que nous avons utilisées pour décrire de façon précise le déroulement d'un jeu de simulation. A l'occasion de la construction de tels jeux, on peut profiter de l'énonciation de ces règles pour habituer l'élève à analyser systématiquement une situation de manière à la découper en petites unités logiques qui se prêtent à la programmation. D'ailleurs, on remarquera que les ordinateurs électroniques jouent souvent un rôle important dans ces simulations. Ils permettent rapidement et sans erreur de simuler sur de longues périodes un phénomène donné et se prêtent à l'examen d'un grand nombre de situations comparables dont il ne reste plus à la fin qu'à choisir celle qui donne la solution la plus satisfaisante.