

Original Article

Optimisation Technique Du Transport Ferroviaire Des Concentrés Miniers Entre Le Concentrateur De Kambove et Les Usines De Shituru

Kikuni N'subi Clément

Assistant des enseignements à l'Institut Supérieur des Techniques appliquées de Lubumbashi (ISTA-LU) en République Démocratique du Congo

Corresponding Author: Kikuni N'subi Clément

Abstract

Cette présente note poursuit le but de la recherche d'une optimisation technique du transport ferroviaire en vue de maximiser les alimentations des Usines de Shituru (US) en concentrés miniers provenant du concentrateur de Kambove (KVE). US et KVE sont deux usines métallurgiques de la Générales des Carrières et des Mines (Gécamines), une Société Anonyme de la République Démocratique du Congo.

Fournir des stratégies pour transporter plus, tel est le principal objectif de ce travail scientifique; en développant des nouvelles approches appliquées aux composantes du système de transport (organisation des tâches, mesures de temps des opérations, mise à disposition du matériel) et en utilisant au maximum les capacités disponibles [1]-[2].

La fiabilité et la disponibilité du matériel de transport ferroviaire de la Gécamines (locomotives, wagons et voie ferrée) étant acceptables, l'étude du comportement des processus de ce transport durant l'année 2019, a donné des moyennes arithmétiques \bar{X} respectives suivantes : 14,625 rotations par mois ; 7,64 wagons dans un train et 48,46 tonnes de charge par wagon.

Cette rédaction scientifique se focalise sur une proposition d'optimisation technique de la gestion des transports à réaliser par un programme mathématique de maximisation de flux des concentrés miniers qui intègre les objectifs d'alimentation des US et les stocks de concentrés miniers à KVE tenant compte des contraintes sur la composition des trains et le chargement des wagons.

La possibilité de simulation du modèle mathématique en tant que loi d'alimentation des US (LAUS), est obtenue à travers la syntaxe d'un algorithme de résolution numérique dans l'outil numérique Matlab.

Keywords : Optimisation technique, transport ferroviaire, comportement du processus de transport, loi d'alimentation.

Introduction**1.1 Contexte**

Les US produisent des métaux (cuivre et cobalt) au prorata des alimentations en concentrés miniers provenant principalement de KVE à 26 Km sur la voie ferrée. Durant l'année 2019, le fonctionnement des US a été caractérisé par une production en dents de scie (tableau 1.1 et figure 1.1) n'ayant pas atteint l'objectif de 2000 tonnes mensuel de cuivre projeté. On remarque une

tentative de montée de la production avec un pic de 1658,6 tonnes atteint au mois d'avril, celle de la production de cobalt, pour un programme annuel de 500 tonnes, on a pu enregistrer seulement 260 tonnes soit 52%.

Le niveau des performances des transports des concentrés miniers réalisés pour l'alimentation des US, n'a-t-il pas favorisé cet état de faible

Current Opinion

production des métaux par rapport aux bases de la programmation (24000 tCu et 500 tCo annuels) ?

Nous faisons donc l'hypothèse que le transport ferroviaire dans ce secteur de la Gécamines,

constitue la clé de la résolution du problème d'amélioration de la production des US.

Tableau 1.1 Statistiques de production des métaux en tonne aux US en 2019

Métal	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
Cuivre	677,1	919,9	965,1	1658,6	1426,1	1054,5	1555	1333,3	1569,6	1608,7	1418,1	1589,6	15376
Cobalt	100	20	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0	260

Source : Tonnage Manipulé de TRF/C

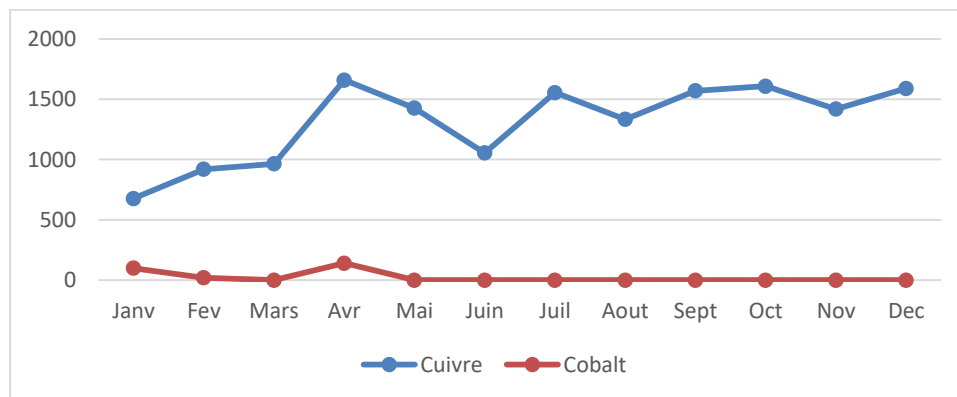


Figure 1.1 Graphique de la production des métaux aux US en 2019

1.2 Objectif

L'outil scientifique moderne du domaine de l'ingénierie pour la soumission au contrôle de l'expérience des hypothèses est l'optimisation [3]-[4]. Pour soumettre au contrôle l'hypothèse admise pour l'explication de la production en dents de scie des métaux aux US, il est fait recours à l'optimisation technique du transport ferroviaire par la recherche des modèles structurés à travers ses différentes activités à savoir la planification, la mise en œuvre, le contrôle des flux, les opérations matérielles et humaines et la coordination des mouvements des trains.

1.3 Méthodologie de la stratégie d'optimisation

L'étude a été menée principalement à la Division de la gestion du trafic (TRF) qui coordonne les activités des transports ferroviaires à la Gécamines au niveau de la ville urbaine de Likasi. Elle s'est passée essentiellement à la récolte des données statistiques à TRF, à KVE et aux US.

Le comportement des phénomènes des transports organisés a été observé ainsi que les résultats des flux (tableau 1.2 et figure 1.2) par rapport aux programmes objectifs (504711 tonnes de concentré "tConc") et à la disponibilité du matériel de transport.

La détermination des paramètres et critères importants de ce transport permettra la proposition de la loi "LAUS" dont le modèle sera soumis au contrôle sous Matlab.

Tableau 1.2 Statistiques des alimentations des US en 2019

Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
0	0	1087,6	4016,8	6705	6477,3	9813,9	7405,5	7847,1	9575,4	8446,4	4589,8	65964,9

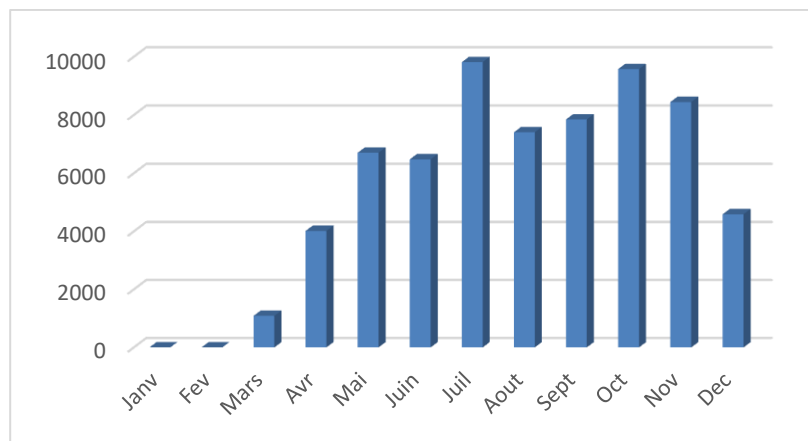


Figure 1.2 Histogramme de l'évolution des alimentations des US en 2019

2 Comportement du transport ferroviaire

L'élucidation du comportement du processus de transport des concentrés miniers a été faite par l'utilisation des résultats des trains réceptionnés durant l'année 2019 : 180 mesures de rotations des trains, 180 mesures de composition des trains et 1370 mesures de charges de wagons.

Nous avons considéré que chaque phénomène cité ci-haut comportait une seule variable aléatoire discrète à N évènements aléatoires multiples suivant un échelonnement numérique discontinu. C'est pour cela que nous avons utilisé principalement trois lois mathématiques (de Gauss, Binomiale et de Poisson) pour déterminer laquelle régit chacun des phénomènes à étudier.

2.1 Observation des résultats des trains organisés

2.1.1 Nombre des rotations mensuelles

Les résultats de calcul nécessaire à l'évaluation de la moyenne arithmétique et de l'écart quadratique moyen sont consignés dans le tableau 2.1, les paramètres calculés au préalable étant :

- Taille de l'échantillon mensuel $n=12$;
- Valeur maximum des nombres des trains mensuels de la série $X_{\max} = 26$;
- Valeur minimum des nombres des trains mensuels de la série $X_{\min} = 0$;
- L'étendue des données $d = 26$;
- Le nombre de classe $K=5$;
- L'amplitude de chaque classe $a = 6,5$;
- La limite inférieure de la première classe $L_{i1} = -3,25$;
- La limite supérieure de la première classe $L_{s1} = 3,25$,
- Le centre de classe de la première classe $X_i = 0$.

Tableau 2.1 Eléments d'estimation des nombres de rotations mensuelles des trains

Classe	Limites des classes	Effectif de Classe n_i	Centre de classe X_i	$n_i X_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	-3,25 à 3,25	3	0	0	-14,625	213,14
2	3,25 à 9,75	0	6,5	0	-8,125	65,61
3	9,75 à 16,25	2	13	26	-1,625	2,56
4	16,25 à 22,75	5	19,5	97,5	4,875	24,01
5	22,75 à 29,25	2	26	52	11,375	129,96
	Total	12		175,5		435,28

Ce qui donne une moyenne arithmétique $\bar{X} = 14,625$ rotations par mois.

La mesure de la dispersion des nombres de rotations mensuelles autour de la moyenne donne

une variance de $\sigma^2 = 36,27$. L'indicateur principal de cette dispersion est l'écart-type $\sigma = 6,022$.

La représentation graphique de la série statistique de cette distribution est donnée à la figure 2.1 :

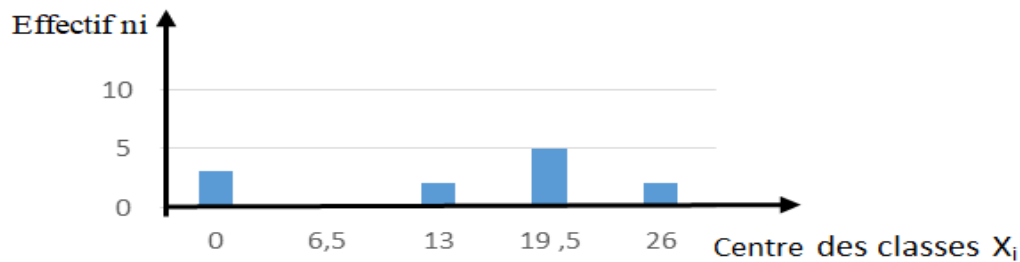


Figure 2.1 Allure représentative du phénomène de trains programmés mensuellement

2.1.2 Composition des trains

L'évaluation des paramètres de dispersion de la série des nombres des wagons composant les différents trains organisés se fait à partir des éléments repris dans le tableau 2.2 après le calcul préalable des paramètres de base :

- Taille de l'échantillon $n = 180$;
- Etendue des données $d = 8$;

- Nombre de classe $K = 9$;
- Amplitude de chaque classe $a = 1$;
- Limite inférieure de la première classe $L_{i1} = 1,5$;
- Limite supérieure de la première classe $L_{s1} = 2,5$;
- Centre de classe de la première classe $X_i = 2$.

Tableau 2.2 Eléments d'évaluation des compositions des trains

Classe	Limites des classes	Effectif de Classe n_i	Centre de classe X_i	$n_i X_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	1,5 à 2,5	1	2	2	-5,64	31,8
2	2,5 à 3,5	0	3	0	-4,64	21,52
3	3,5 à 4,5	8	4	32	-3,64	13,24
4	4,5 à 5,5	9	5	45	-2,64	6,96
5	5,5 à 6,5	23	6	138	-1,64	2,68
6	6,5 à 7,5	34	7	238	-0,64	0,4
7	7,5 à 8,5	51	8	408	0,36	0,12
8	8,5 à 9,5	27	9	243	1,36	1,84
9	9,5 à 10,5	27	10	270	2,36	5,56
	Total	180		1376		83,84

La moyenne arithmétique ou l'Espérance mathématique calculée au préalable a donné $\bar{X} = E(t) = 7,64$ wagons dans un train. La variance de cette distribution $\sigma^2 = 0,465$ et l'écart-type $\sigma = 0,68$.

La représentation graphique de la série statistique des nombres de wagons programmés dans les trains est donnée au diagramme en bâton de la figure 2.2 :

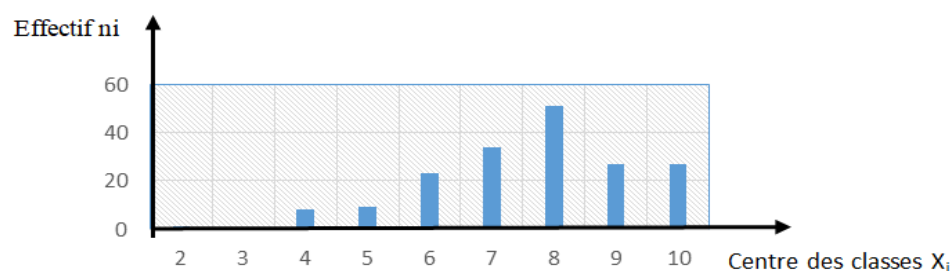


Figure 2.2 Evolution statistique des wagons dans les trains organisés

2.1.3 Charges des wagons

Le processus de chargement des wagons mérite une attention particulière aux opérations terminales en vue de permettre l'optimisation des flux. Les paramètres de base calculés à cet effet ont permis l'établissement du tableau 2.3 à partir des paramètres de base :

- Taille de l'échantillon $n = 1370$;
- Etendue des données $d = 32,3$;

- Nombre de classe $K = 12$;
- Amplitude de chaque classe $a = 2,9$;
- Limite inférieure de la première classe $L_{i1} = 24,7$;
- Limite supérieure de la première classe $L_{s1} = 27,6$,
- Centre de classe de la première classe $X_i = 26,15$.

Tableau 2.3 Comportement des charges des wagons

Classe	Limites des classes	Effectif de Classe n_i	Centre de classe X_i	$n_i X_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	24,7 à 27,6	1	26,15	26,15	-22,31	497,73
2	27,6 à 30,5	0	29,05	0	-19,41	376,74
3	30,5 à 33,4	2	31,95	63,9	-16,51	272,58
4	33,4 à 36,3	4	34,85	139,4	-13,61	185,23
5	36,3 à 39,2	2	37,75	75,5	-10,71	114,7
6	39,2 à 42,1	20	40,65	813	-7,81	60,99
7	42,1 à 45	147	43,55	6401,85	-4,91	24,1
8	45 à 47,9	391	46,45	18161,95	-2,01	4,04
9	47,9 à 50,8	545	49,35	26895,75	0,89	0,79
10	50,8 à 53,7	167	52,25	8725,75	3,79	14,36
11	53,7 à 56,6	65	55,15	3584,75	6,69	44,75
12	56,6 à 59,5	26	58,05	1509,3	9,59	91,96
	Total	1370		66397,3		1687,97

La moyenne arithmétique calculée au préalable a donné $\bar{X} = 48,46$ tonnes par wagon.

La variance de cette distribution $\sigma^2 = 1,23$ et l'écart-type $\sigma = 1,1$.

L'allure de la courbe de cette distribution est donnée au diagramme de la figure 2.3 :

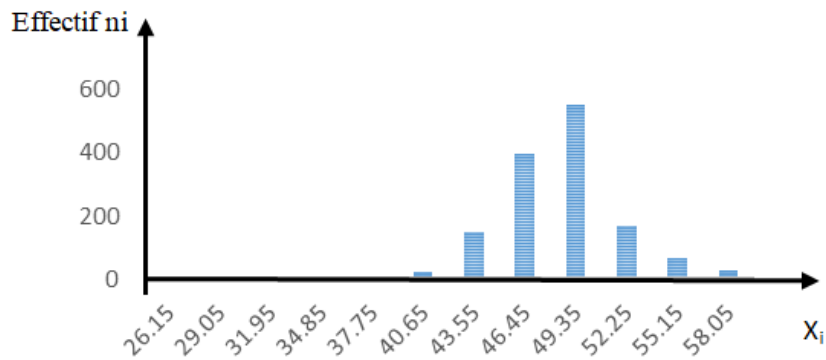


Figure 2.3 Diagramme du comportement des charges des wagons

2.2 Positionnement par rapport aux lois statistiques

2.2.1 Loi de Gauss

Une variable aléatoire "x" évolue suivant la loi normale ou loi de Gauss, si la densité de probabilité p(x) est reliée directement au moment du premier ordre m_{x1} et à l'écart-type de la variable σ_x [5].

$$p(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m_{x1})^2}{2\sigma_x^2}\right]$$

De nombreux phénomènes suivent la loi normale [6], nous allons examiner si les phénomènes du transport de concentrés miniers peuvent suivre aussi cette loi. Dans cette approche, la valeur la plus probable de la variable est confondue avec le moment du premier ordre m_{x1} (équivalente à la valeur moyenne \bar{X}) d'une part et d'autre part, on

remarquera que la dispersion de la variable autour de sa valeur moyenne est symétrique [7].

a) Nombre des rotations mensuelles

Les valeurs des densités de probabilité p(x) par rapport aux valeurs caractéristiques de la variable x du tableau 2.1 sont, après calcul : $p(1) = 3,4 \cdot 10^{-3}$, $p(2) = 26,6 \cdot 10^{-3}$, $p(3) = 63,8 \cdot 10^{-3}$, $p(\bar{X}) = 180 \cdot 10^{-3}$, $p(4) = 49,02 \cdot 10^{-3}$, $p(5) = 11,1 \cdot 10^{-3}$.

Le comportement de la programmation des rotations des trains réalisés suit bel et bien la loi de Gauss car 100 % des valeurs de x sont comprises dans l'intervalle $m_{x1} \pm 2,58\sigma_x$. En effet, nous dénombrons 12 variables dans l'intervalle - 0,911 et 30,161 et la courbe a un caractère symétrique de la loi autour de la valeur moyenne $m_{x1} = 14,625$ (Figure 2.4) :

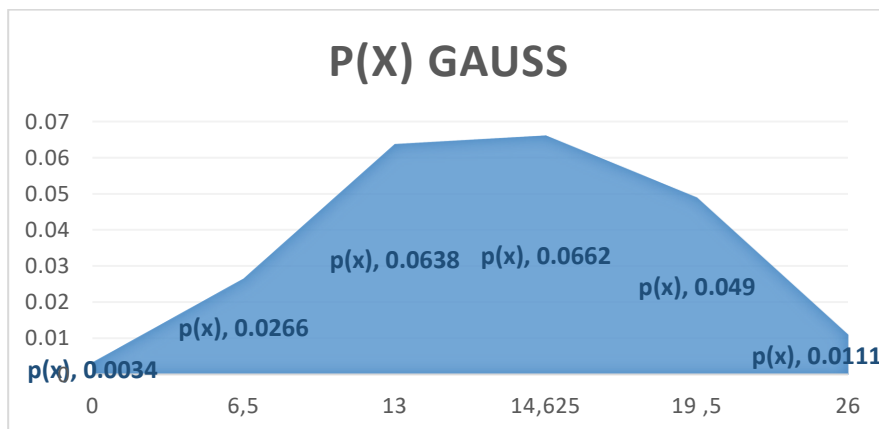


Figure 2.4 Dispersion de la densité de probabilité normale calculée pour l'écart-type de la variable x, $\sigma = 6,022$

b) Composition des trains

Les valeurs calculées des densités de probabilité de la série des compositions des trains organisés sont respectivement $p(1) = 1,99 \cdot 10^{-8}$, $p(2) =$

$5,17 \cdot 10^{-6}$, $p(3) = 4,5463 \cdot 10^{-4}$, $p(4) = 1,356 \cdot 10^{-2}$, $p(5) = 0,1371$, $p(6) = 0,4704$, $p(\bar{X}) = 0,587$, $p(7) = 0,4952$, $p(8) = 0,2159$ et $p(9) = 2,6078 \cdot 10^{-4}$. La figure 2.5 illustre ce comportement :

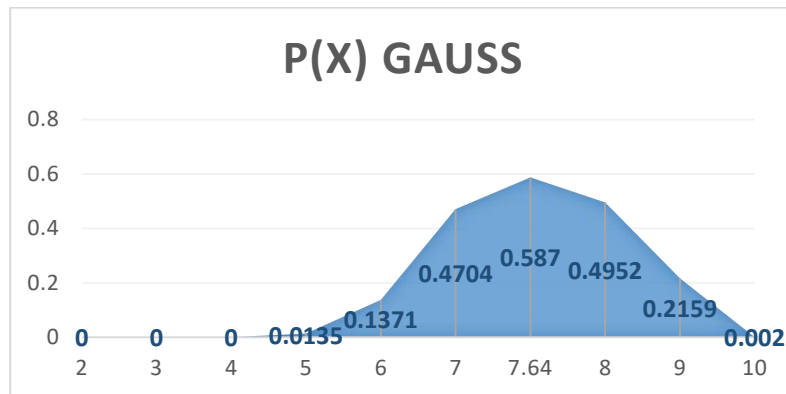


Figure 2.5 Dispersion des valeurs de composition des trains autour de \bar{X}

L'examen des quantités des valeurs de la variable x comprises dans les intervalles caractéristiques de la loi de Gauss permet de dire que :

- L'intervalle $m_{x1} \pm \sigma_x$ renferme 85 valeurs, soit 47 % ;
- L'intervalle $m_{x1} \pm 1,96\sigma_x$ renferme 112 valeurs, soit 62 % ;
- L'intervalle $m_{x1} \pm 2,58\sigma_x$ renferme 135 valeurs, soit 75 % ,
- L'intervalle $m_{x1} \pm 3\sigma_x$ renferme 135 valeurs, soit 75 % .

Le comportement de la composition des trains ne suit pas la loi de Gauss.

c) Charges des wagons

Nous avons calculé les différentes valeurs des densités de probabilité de la série des charges des wagons et nous avons trouvé $p(1) = 2,7 \cdot 10^{-90}$, $p(2) = 9,964195428 \cdot 10^{-76}$,

$p(3) = 4,392230599 \cdot 10^{-50}$, $p(4) = 1,001840904 \cdot 10^{-33}$, $p(5) = 9,520568879 \cdot 10^{-22}$,

$p(6) = 4,106633829 \cdot 10^{-12}$, $p(7) = 4,71583250 \cdot 10^{-5}$, $p(8) = 0,068397606$, $p(\bar{X}) = 0,362916406$, $p(9) = 0,261736385$, $p(10) = 9,601534499 \cdot 10^{-4}$, $p(11) = 3,373154616 \cdot 10^{-9}$ et $p(12) = 1,13943114 \cdot 10^{-17}$. La figure 2.6 illustre ce comportement :

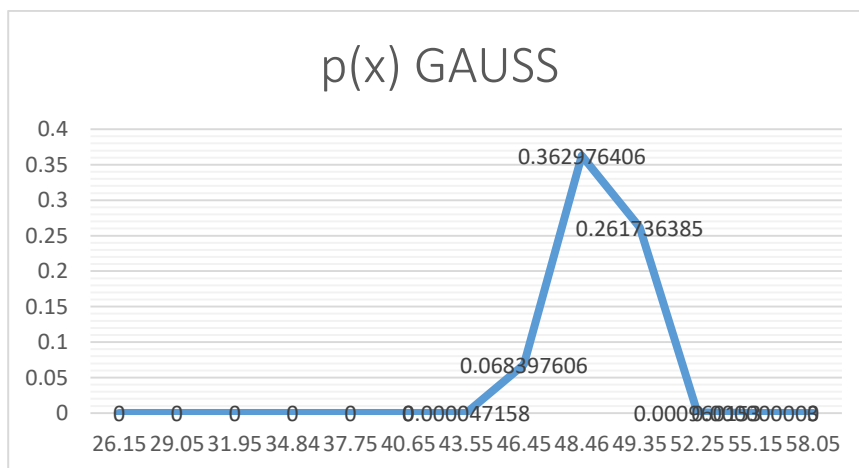


Figure 2.6 Dispersion des valeurs de charges des wagons autour de la moyenne

L'examen des quantités des valeurs de la variable x comprises dans les intervalles caractéristiques de la loi de Gauss permet de dire que :

- L'intervalle $m_{x1} \pm \sigma_x$ renferme 750 valeurs, soit 55 % ;

- L'intervalle $m_{x1} \pm 1,96\sigma_x$ renferme 907 valeurs, soit 66 % ;
- L'intervalle $m_{x1} \pm 2,58\sigma_x$ renferme 1029 valeurs, soit 75 % ,
- L'intervalle $m_{x1} \pm 3\sigma_x$ renferme 1091 valeurs, soit 80 % .

Le comportement des chargements des wagons ne suit pas la loi de Gauss.

2.2.2 Loi de binomiale

La loi binomiale s'intéresse à la réalisation ou non d'un évènement. Autrement dit, on n'étudie que les expériences aléatoires qui n'ont que deux issues possibles, un succès ou un échec [8].

a) Nombre des rotations mensuelles

Nous nous intéressons au nombre de rotations mensuelles de l'année 2019. Ça sera la loi binomiale de paramètres n variables aléatoires discrètes = 12 mois et de probabilité de succès p appartenant à l'intervalle $[0,1]$. Ici $p = 1$ car la rotation de trains est la raison d'être du transport des concentrés miniers.

L'évènement suit la loi binomiale lorsque la probabilité P de la somme $S = x_1 + x_2 + \dots + x_n$ de n variables aléatoires discrètes s'écrit :

$$\forall 0 \leq k \leq n, P_{(S=k)} = p^k (1-p)^{n-k}$$

Cette relation donne, après calcul, $P_0 = P_1 = \dots = P_{12} = 0$. Alors cet évènement ne saurait suivre la loi binomiale.

b) Composition des trains

Un train est l'ensemble de la locomotive avec ses wagons tractés. La probabilité de succès est $p = 1$ avec $n = 180$ trains. La relation ci-dessus donne une fois de plus $P_0 = P_1 = \dots = P_n = 0$. La

composition des trains ne saurait pas alors suivre la loi binomiale.

c) Charge des wagons

Chaque wagon doit avoir une charge pour qu'on parle de transport. La probabilité de succès est $p = 1$ avec $n = 1370$ charges nettes. La même relation donne une fois de plus $P_0 = P_1 = \dots = P_n = 0$. Un tel évènement ne peut s'apparenter à la loi binomiale.

2.2.3 Loi de Poisson

La loi de Poisson est la loi suivie par une variable aléatoire discrète X qui peut prendre des valeurs entières positives comprises entre 0 et l'infinie, le spectre des valeurs est l'infinie.

La variable X suit la loi de Poisson si la probabilité P_x pour que X prenne la valeur entière x s'exprime par :

$$P_x = \text{Probabilité}(X = x) = \frac{(m_{x1})^x}{x!} \exp(-m_{x1})$$

Avec m_{x1} , le moment du premier ordre de la série considérée.

a) Nombre des rotations mensuelles

Les valeurs des densités de probabilité $p(x)$ par rapport aux valeurs caractéristiques de la variable x du tableau 2.1 sont, après calcul : $P_1 = 0,000000445$, $P_2 = 0,0089$,

$P_3 = 0,10009$, $P(\bar{X}) = 0,2866$, $P_4 = 0,165847$, $P_5 = 0,0021643$. La figure 2.7 montre la loi de Poisson du nombre de rotations mensuelles :

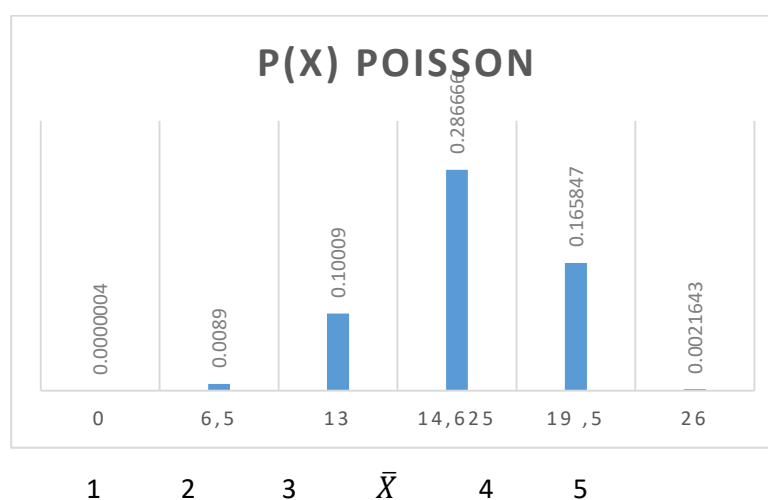


Figure 2.7 Loi de Poisson du nombre de rotations mensuelles de paramètre $m_{x1} = 14,625$

La programmation des trains nécessaires à l'évacuation des produits miniers a suivi aussi la

loi de Poisson avec une probabilité d'atteindre 14,625 rotations par mois pour une moyenne

arithmétique $\bar{X} = 14,625$. Cependant, le nombre de rotation des trains a été insuffisant pour permettre l'atteinte des objectifs de production des métaux aux US.

b) Composition des trains

Les valeurs calculées des densités de probabilité de la série des compositions des trains organisés

sont respectivement $P_1 = 140,6182$, $P_2 = 357,3718$, $P_3 = 682,5661$, $P_4 = 1312,5569$, $P_5 = 1328,037$, $P_6 = 1443,457$, $P(\bar{X}) = 1427,64$, $P_7 = 1384,2319$, $P_8 = 1175,0586$ et $P_9 = 897,7451$. La figure 2.8 illustre ce comportement :

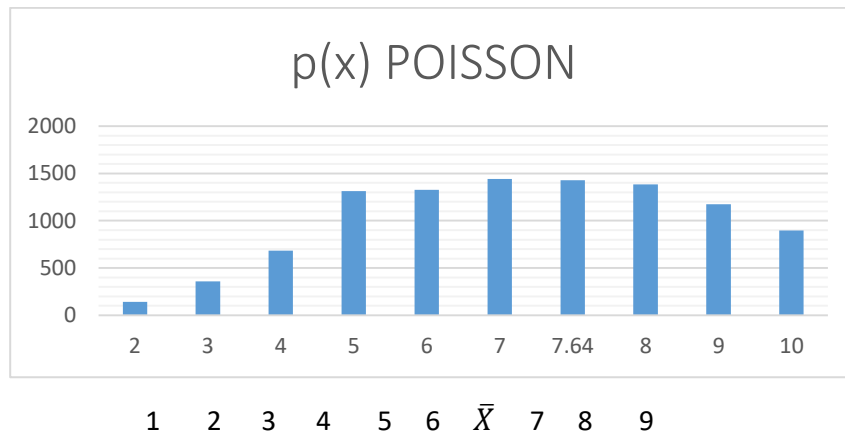


Figure 2.8 Loi de Poisson de la composition des trains de paramètre $m_{x1} = 7,64$

Le processus de formation des trains a suivi la loi de Poisson avec une probabilité d'atteindre 7 wagons par train organisé, pour une moyenne arithmétique $\bar{X} = 7,64$. Cet état de chose avait été favorisé par l'insuffisance de wagons opérationnels. Les compositions des trains ont été faibles par rapport à la puissance des locomotives utilisées qui peuvent admettre jusqu'à 15 wagons tractés.

c) Charges des wagons

Nous avons calculé les différentes valeurs des densités de probabilité de la série des charges des wagons et nous avons trouvé $P_1 = 0,000187$, $P_2 = 0,007041$, $P_3 = 0,00797$, $P_4 = 0,00824$, $P_5 = 0,01797$, $P_6 = 0,0320719$, $P_7 = 0,04576$, $P_8 = 0,052006$, $P(\bar{X}) = 0,057046$, $P_9 = 0,05624$, $P_{10} = 0,047686$, $P_{11} = 0,02847$ et $P_{12} = 0,02143$. La figure 2.9 illustre ce comportement :

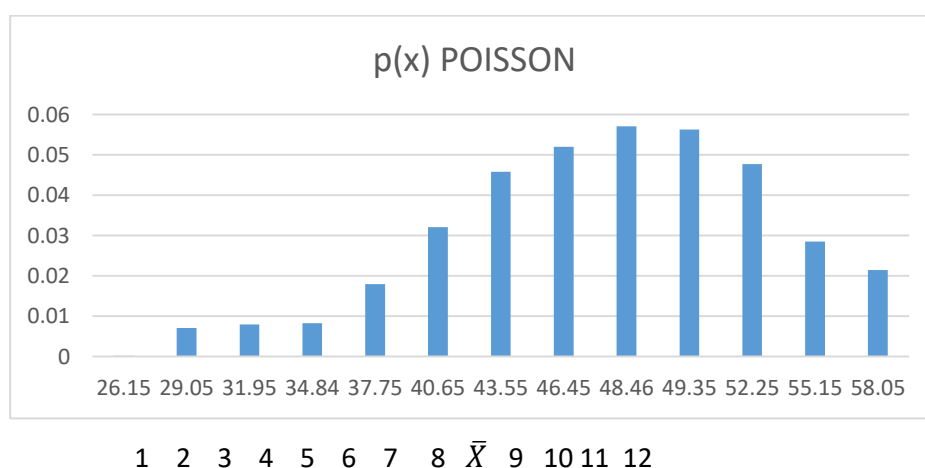


Figure 2.9 Loi de Poisson des charges des wagons de paramètres $m_{x1} = 48,46$

Le comportement des chargements des wagons a évolué selon la loi de Poisson avec une moyenne arithmétique $\bar{X} = 48,46$ tonnes par wagon. La

capacité du wagon étant de 50 tonnes nette, le chargement a été de 96,92 %.

3 Optimisation du transport ferroviaire

3.1 Modélisation du transport ferroviaire

L'approvisionnement des US en concentrés miniers provenant de KVE nécessite une bonne organisation du transport ferroviaire à même de répondre aux objectifs de quantité (maximisation de flux du tonnage transporté) et de productivité (optimisation technique et minimisation des coûts de transport).

Il faut donc planifier les différentes activités à deux niveaux : tactique et stratégique aux fins d'optimisation des allocations liées aux transports. Nous devons alors modéliser le problème de ce transport par une modélisation structurée et une modélisation mathématique.

3.2 Relevé des paramètres du transport ferroviaire

En observant différentes rotations des trains organisés, nous retenons les paramètres importants tels que : stocks des produits miniers "S" [en tonne] à KVE, programme de l'alimentation des produits miniers aux US "P" [en tonne], trains constitué d'une locomotive de traction "L", de plusieurs wagons "W" ainsi que les charges "X" [en tonne] de chaque wagon, flux de transport : "FTT" [en tonne], opérations terminales (chargement à KVE et déchargement aux US), distance entre KVE et US, mise à disposition du matériel (locomotive, wagon et voie ferrée), vitesse des trains, freinte de route (déversement des produits sur la voie ferrée, vol clandestin de concentrés miniers sur le trajet,...), coût d'exploitation.

3.3 Critères des indicateurs de performance

Par rapport aux paramètres ci-dessus, les critères importants retenus sont :

- Le stock de concentrés miniers "S" doit être supérieur au programme "P" ; $S > P$;
- Le nombre de wagon W dans un train doit être suffisant pour véhiculer le maximum possible de produits miniers : $W \geq 10$ wagons ;
- La freinte de route "Fr" est considérée négligeable, $Fr = 0$;
- Les effectifs des wagons et des locomotives opérationnelles respectivement ≥ 40 wagons et ≥ 3 locomotives ;
- Le taux de remplissage compris entre 0,95 et 1,05 : $0,95 \leq C_{charge} \leq 1,05$;
- La vitesse d'acheminement autorisée : $V \leq 20$ Km/h ;
- Le nombre de rotations des trains : $1 \leq Rot \leq 3$ rotations/jour ;

3.4 Modélisation structurée : Modèle du Mouvement des Trains (MMT)

Le modèle MMT est un modèle abstrait du type "Boîte noire". Il concerne le mouvement des trains à programmer. C'est le modèle de base du processus d'alimentation des US. Il table sur des entrées (nombre de trains avec des charges utiles, les stocks de concentrés miniers, les programmes objectifs et autres aléas) pour produire des sorties (flux du tonnage transporté : FTT, disponible aux US) à partir des directives de contrôle en s'appuyant sur les autres ressources humaines et matérielles et les contraintes. Il est structuré de la manière suivante :

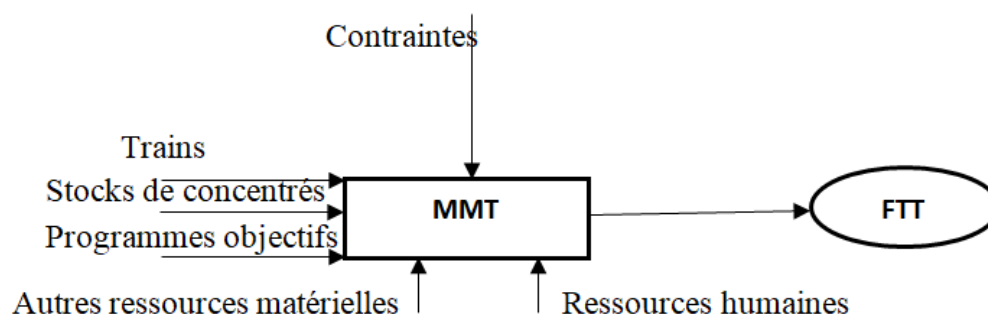


Figure 2.10 Modèle du mouvement des trains

2.5 Expression du modèle mathématique

La fonction objectif journalière qui doit maximiser le flux FTT est exprimée par cette formulation mixte discrète comme modèle final :

$$\text{Max } \sum_{p=1}^{p=3} \sum_{k=1}^{k=15} \alpha_p d L_p h W_{pk} X_{pk} - \sum_{p=1}^{p=3} \sum_{k=1}^{k=15} \alpha_p d L_p h W_{pk} F_{pk} \\ -g Y(x) + q Z(x) = FTT$$

$$\text{Sous-contraintes : } \quad W \geq 10 \text{ wagons} \quad (1)$$

$$47,5 \text{ tonnes} \leq X \leq 52,5 \text{ tonnes} \quad (2)$$

Dans cette expression nous avons : “ α_p ” la rotation $p^{\text{ième}}$ du train programmé, “ d ” coefficient de fiabilité de la locomotive ($d=100\%$), “ L ” locomotive ($L=1$), “ h ” coefficient de fiabilité de wagon ($h=100\%$), “ W ” wagon ($W=1$), “ X ” charge nette du wagon (c’est l’inconnue), “ F ” freinte de route, “ g ” coefficient qui indique le taux de manipulation du stock de concentrés à KVE ($g = \frac{\text{Retranchement}}{\text{Ajout}} = 1$), “ Y ” charge probable à soutirer du stock, “ q ” coefficient qui indique le taux d’alimentation des US ($q = \frac{\text{Charge nette soutirée de KVE}}{\text{Charge nette réceptionnée aux US}} = 1$), “ Z ” charge probable à alimenter aux US. “ p ” et “ k ” sont des indices: p lié au rang de la rotation du train et k montrant la position occupée par un wagon dans le train avec sa charge.

Le membre de gauche de cette formule est la somme algébrique de quatre termes :

- Le premier terme correspond au flux véhiculé de KVE vers US;
- Le deuxième terme montre la freinte de route manifeste entre KVE et US, L’idéal est que Fr soit égale à 0,
- En fin les deux derniers termes traduisent d’une part la quantité de concentrés miniers soutirée des stocks à KVE et le tonnage

$i=1;$

$j=1;$

$FTT=0;$ %FTT=tonnage maximum à alimenter aux US.

$FTT1=0;$ %FTT=tonnage provenant de KVE.

$rows=@(x) \text{ size}(x,1);$

$cols=@(x) \text{ size}(x,1);$

$\text{if}(10 \leq \text{cols}(W1) \&\& 15 \geq \text{cols}(W1))$ %Nous Vérifions que chaque train contient 10 à 15 wagons.

$\text{if}(\text{cols}(W1) == \text{rows}(X1))$ %Nous Vérifions que chaque wagon est chargé.

$\text{if}(\text{min}(X1) \geq 47.5 \&\& \text{max}(X1) \leq 52.5)$ %Nous Vérifions que chaque charge nette dans chaque wagons est comprise entre 47.5tonnes et 52.5tonnes.

$\text{while}(i \leq \text{cols}(X1) \|\ j \geq \text{cols}(X1))$ %Boucle qui exécute le calcul

Final

effectif arrivé et alimenté aux US. Si $Fr = 0$ alors $Y(x) = Z(x)$.

Le développement algébrique aboutit donc à une expression matricielle et simplifiée qui maximise le flux : $FTT = \sum[W][X]$ avec W , matrice ligne des wagons et X , matrice colonne des charges nettes contenues dans les wagons. Cette expression est à soumettre au contrôle.

2.6 Implémentation de la loi LAUS dans Matlab

L’algorithme de résolution pour une possibilité de simulation de la loi LAUS implémentée sous Matlab donne l’environnement suivant :

%alimentation des US (LAUS) est la fonction FTT qui maximise le flux

%Il s'agit de trouver $FTT=f(X,Y,Z)$ qui maximise $[\text{max } \sum \sum \alpha d L h W X - \sum \sum \alpha d L h W F - \sum g Y + \sum q Z]$,

%Après simplification de l’équation nous avons trouvé une forme Numérisable sous Matlab; $FTT=\sum[W][X]$

clear

$W1=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1];$ %Train contenant les wagons provenant de KVE vers les US.

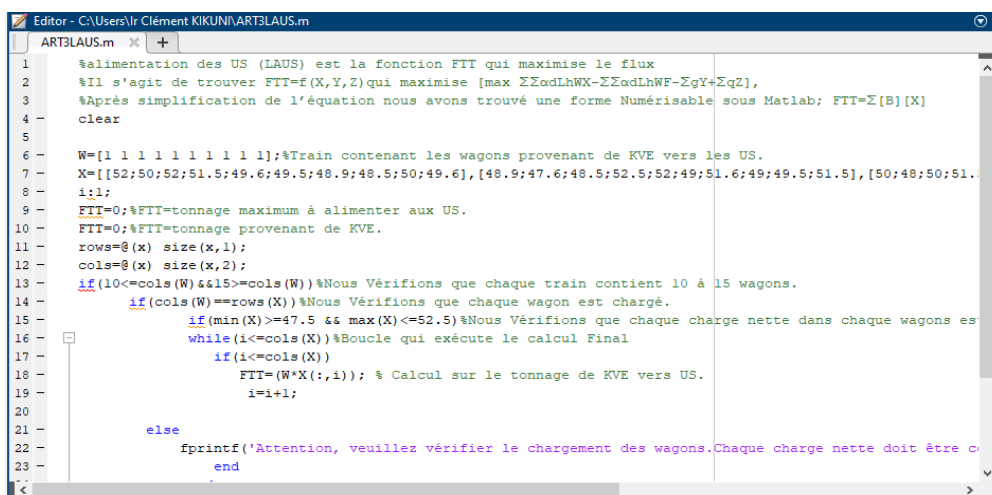
$X1=[52;50;52;51.5;49.6;49.5;48.9;48.5;50;51],[51;52;52;50.5;48.6;49.5;48.9;48.5;50;51],[49.5;50;51;51.5;49.6;49.5;48.9;48.5;50;51];$ %Charges nettes provenant de KVE.

```

if(i<=cols(X1))
    FTT1=(W1*X1(:,i)); % Calcul sur le tonnage de KVE vers
        US.
    i=i+1;
end
end
FTT=FTT1
else
fprintf('Attention, veuillez vérifier le chargement des
        wagons.Chaque charge nette doit être comprise entre
        47.5tonnes et 52.5tonnes');
end
else
fprintf('Attention, chaque wagon doit contenir une charge nette');
end
else
fprintf('Attention, veuillez vérifier la constitution du train. Nous
        devons avoir 10 et 15 wagons dans chaque train');
end

```

La fenêtre ‘Editor’ apparaissant sur l’écran Matlab est la figure 2.11 ci-après.



```

Editor - C:\Users\lr Clément\KIKUNI\ARTBLAUS.m
ARTBLAUS.m
1 %alimentation des US (LAUS) est la fonction FTT qui maximise le flux
2 %Il s'agit de trouver FTT=f(X,Y,Z) qui maximise [max ΣΣodLhWX-ΣΣodLhWF-ZgY+ZqZ],
3 %Après simplification de l'équation nous avons trouvé une forme Numérisable sous Matlab: FTT=Σ[B][X]
4 clear
5
6 W=[1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];%Train contenant les wagons provenant de KVE vers les US.
7 X=[[52;50;52;51.5;49.6;49.5;48.9;48.5;50;49.6],[48.9;47.6;48.5;52.5;52;49;51.6;49;49.5;51.5],[50;48;50;51.
8 i:1;
9 FTT=0;%FTT=tonnage maximum à alimenter aux US.
10 FTT=0;%FTT=tonnage provenant de KVE.
11 rows=@(x) size(x,1);
12 cols=@(x) size(x,2);
13 if(10<=cols(W)&&15>=cols(W))%Nous Vérifions que chaque train contient 10 à 15 wagons.
14     if(cols(W)==rows(X))%Nous Vérifions que chaque wagon est chargé.
15         if(min(X)>=47.5 && max(X)<=52.5)%Nous Vérifions que chaque charge nette dans chaque wagons es
16             while(i<=cols(X))%Boucle qui exécute le calcul Final
17                 if(i<=cols(X))
18                     FTT=(W*X(:,i)); % Calcul sur le tonnage de KVE vers US.
19                     i=i+1;
20                 else
21                     fprintf('Attention, veuillez vérifier le chargement des wagons.Chaque charge nette doit être c
22                 end
23

```

Figure 2.11 Fenêtre ‘Editor’

Conclusion

Le processus de production des métaux aux US mérite une attention particulière de sa chaîne de production en vue de détecter les maillons faibles ne leur ayant pas permis d’atteindre les objectifs assignés et d’apporter les corrections appropriées. L’un des maillons faibles détecté est le service de transport des concentrés miniers dont les transports réalisés n’ont pas été efficaces. Les rotations des trains, les compositions des trains et les charges des wagons ont été faibles après l’étude du comportement des processus de ces transports par l’approche des lois probabilistes. Tous ces phénomènes se sont avérés suivre la loi

de Poisson, qui a permis de retenir les deux contraintes principales de la loi LAUS.

Après la détermination des paramètres prépondérants des mouvements des trains organisés ayant concouru aux critères des indicateurs des performances nécessaires à la gestion optimale, la loi LAUS proposée, approche analytique du modèle physique MMT et l’optimisation injectée dans le processus, constituent le moyen efficace pour transporter le maximum préconisé à travers une planification des activités des transports tenant compte des contraintes liant les objectifs d’alimentation, le flux du tonnage transporté et le matériel mis à disposition.

L'efficacité future de ce transport nécessite le suivi de toutes ces activités connexes qui favorise le prélèvement des failles injectées par les opérateurs dans l'optique d'y remédier au moment opportun.

Ce travail servira aussi d'un document de recherche scientifique dans le domaine de transport en général. Cependant, il ne conclue pas ou ne clôture pas toutes les études liées aux phénomènes des transports ferroviaires, des remarques ou suggestions constructives sont les bienvenues afin d'enrichir l'article.

Références

1. (Christopher, 1992) Christopher, M., 1992. "Logistics and Supply Chain Management". Pitman, Publishing, London.
2. (Giard, 2003) Giard V., 2003. "Gestion de la production et des flux". Edition Economica.
3. (Issan, 2012) Issan Zidi, 2012. "La Modélisation et l'optimisation d'un système

de transport à la demande multicritère et dynamique". Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lille.

4. (Kamel, 2016) Kamel Moad, 2016. "La Modélisation et l'optimisation multi-niveaux du transport forestier". Thèse de Doctorat, Université de bordeaux.
5. (Bass, 1968) Bass J., 1968. "Eléments de calcul des probabilités théorique et appliquées". Masson.
6. (Gnedenko et al., 1972) Gnedenko B., Beliaev Y. et Soloviev A., 1972. "Méthodes mathématiques en théorie de la fiabilité". Edition MIR.
7. (Rick, 2009) Rick Durrett, 2009. "Elementary probability for applications". Cambridge University Press.
8. (Thérèse et Jean-Pierre, 2012) Thérèse Phan et Jean-Pierre Rowencyk, 2012. "Problèmes de statistique et probabilités". Editeurs du Savoir, Dunod, Paris.