

TABLEAU A-1

NOMBRE DE BATEAUX ENREGISTRES

TRAFIC AVALANT

du 28 novembre au 14 décembre (14 jours enquêtés)

Types de bateaux		Bougival			Andrésy	Carrières		Méricourt	
		Petite écluse	Moyenne écluse	Grande écluse		Petite écluse	Grande écluse	Moyenne écluse	Grande écluse
Automoteurs de canal	0 barge	212	201	264	146	271	263	276	308
	1 barge	1	25	19	30	1	23	22	43
	2 barges	0	0	3	1	0	4	1	0
	Total	213	226	286	178	272	290	299	351
Automoteurs de Seine	0 barge	39	38	40	74	33	43	53	63
	1 barge	0	9	11	12	0	20	9	16
	2 barges	0	0	3	8	1	5	6	7
	Total	39	47	54	94	34	68	68	86
Convois poussés	0 barge	4	3	3	3	1	2	2	4
	1 barge	0	9	23	7	0	2	1	0
	2 barges	0	3	16	12	0	0	3	7
	3 barges	0	2	13	5	0	0	3	2
	4 barges	0	4	6	5	0	2	5	2
	6 barges	0	0	12	17	0	0	8	8
	Total	4	21	73	49	1	4	22	23
Caboteurs		5	6	9	17	0	3	8	11
Remorqueurs		1	4	4	4	1	3	5	2

TABLEAU A-2

NOMBRE DE BATEAUX ENREGISTRÉS

TRAFIC MONTANT

du 28 novembre au 14 décembre (14 jours enquêtés)

Types de bateaux		Bougival			Andrésy	Carrières		Méricourt	
		Petite écluse	Moyenne écluse	Grande écluse		Petite écluse	Grande écluse	Moyenne écluse	Grande écluse
Automoteurs de canal	0 barge	216	244	180	33	246	271	214	249
	1 barge	0	0	22	2	0	53	21	31
	2 barges	0	0	1	0	0	2	1	0
	Total	216	252	203	35	246	326	236	280
Automoteurs de Seine	0 barge	56	24	40	45	38	60	64	66
	1 barge	0	4	20	7	0	14	7	14
	2 barges	0	0	0	5	0	5	8	3
	Total	56	28	60	57	38	79	79	83
Convois poussés	0 barge	1	2	5	3	2	1	2	2
	1 barge	1	8	16	3	0	0	2	2
	2 barges	0	8	18	20	0	5	9	3
	3 barges	0	0	7	8	0	2	6	3
	4 barges	0	1	9	5	0	1	2	3
	6 barges	0	0	13	13	0	1	7	8
	Total	2	19	67	52	2	10	28	21
Caboteurs		6	1	6	10	4	0	4	8
Remorqueurs		0	3	6	1	0	5	6	2

TABLEAU B-1

LOIS D'ARRIVEE à MERICOURT TOUS BATEAUX

Trafic montant

	Nombre de bateaux	Automoteurs canal	Automoteurs Seine	Convois poussés	Divers
Intervalle : 10 minutes	0	0,552	0,822	0,941	0,963
	1	0,273	0,151	0,055	0,034
	2	0,136	0,025	0,002	0,001
	3	0,030	0,001	0,000	0,000
	4	0,004	0,000		
	5	0,002			
	6 et plus	0,000			
Intervalle : 2 heures	0		0,100	0,516	0,650
	1		0,166	0,266	0,266
	2		0,283	0,183	0,066
	3	0,100	0,183	0,033	0,016
	4	0,116	0,150	0,000	0,000
	5	0,150	0,116		
	6	0,116	0,000		
	7	0,033			
	8	0,066			
	9	0,050			
	10	0,050			
	11	0,116			
	12	0,066			
	13	0,066			
	14	0,000			
	15	0,000			
	16	0,016			
	17	0,033			
	18	0,000			
	19	0,000			
	20	0,016			
21	0,000				

TABLEAU B-2

LOIS D'ARRIVEE à CARRIERES

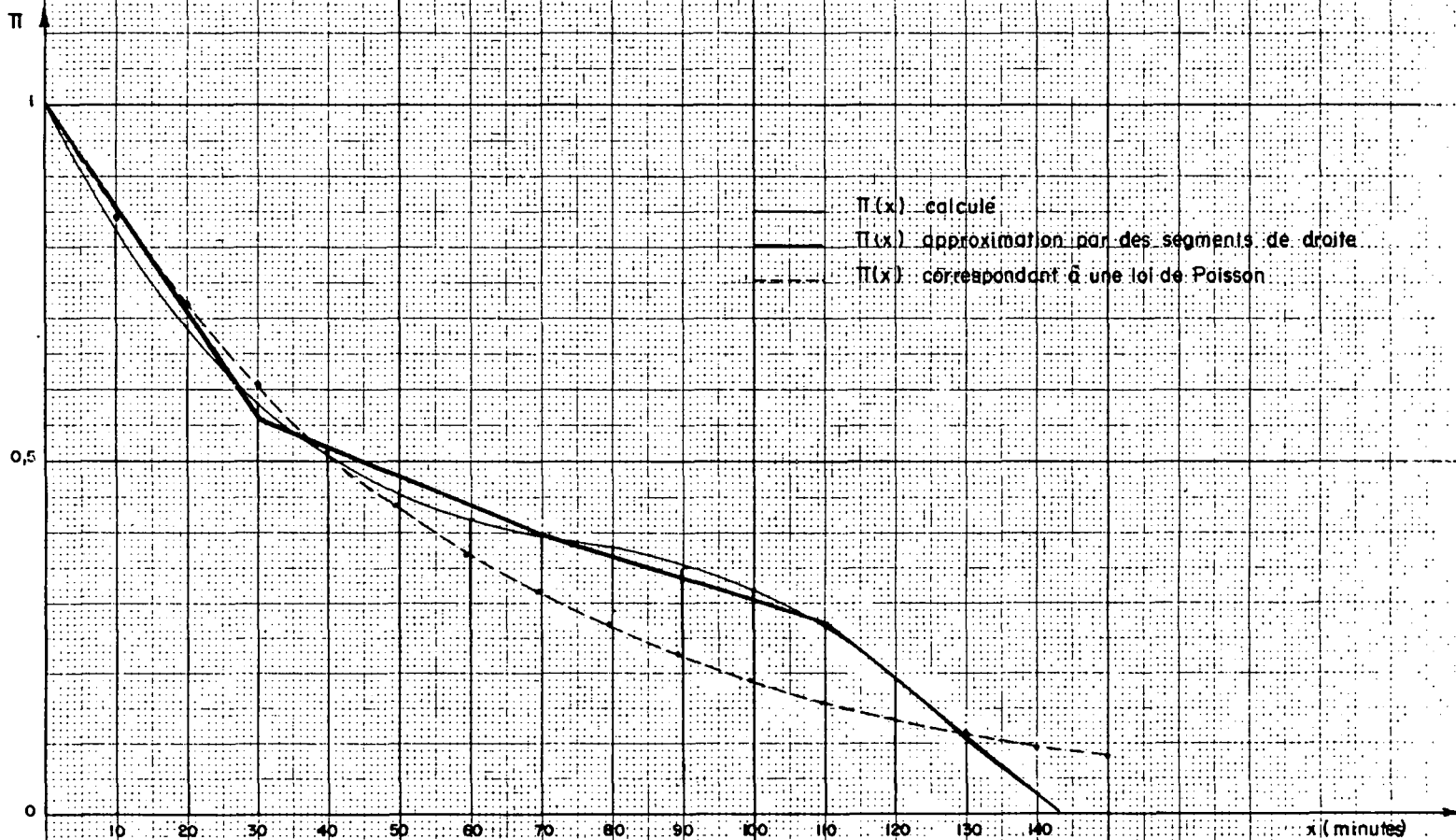
Bateaux partis en bief

		Nombre de bateaux	Automoteurs canal	Automoteurs Seine	Convcois poussés	Divers
Trafic montant Intervalle : 10'	Matin 8 h 12 h	0	0,175	0,625	0,958	0,900
		1	0,258	0,316	0,033	0,083
		2	0,200	0,033	0,008	0,016
		3	0,158	0,016	0,000	0,000
		4	0,083	0,008		
		5	0,100	0,000		
		6 et plus	0,024			
	Soir 12 h 16 h	0	0,183	0,725	0,966	0,900
		1	0,275	0,250	0,033	0,083
		2	0,250	0,025	0,000	0,016
		3	0,150	0,000		0,000
		4	0,108			
		5	0,016			
		6 et plus	0,016			
Trafic avalant Intervalle : 30'	Matin 8 h 12 h	0	0,463	0,883	0,983	0,961
		1	0,338	0,100	0,016	0,038
		2	0,133	0,016	0,000	0,000
		3	0,038	0,000		
		4	0,013			
		5	0,008			
		6 et plus	0,002			
	Soir 12 h 16 h	0	0,666	0,911	1,000	0,966
		1	0,252	0,080	0,000	0,027
		2	0,058	0,005		0,005
		3	0,016	0,002		0,000
		4	0,005	0,000		
		5	0,000			
		et plus				

GRAPHIQUE B.3

LOIS D'ARRIVEE
APPROXIMATION DE LA FONCTION $\Pi(x)$ PAR
4 SEGMENTS DE DROITE

$\lambda = 1$



$\Pi(x)$ calculé
 $\Pi(x)$ approximation par des segments de droite
 $\Pi(x)$ correspondant à une loi de Poisson

TABLEAU D-1

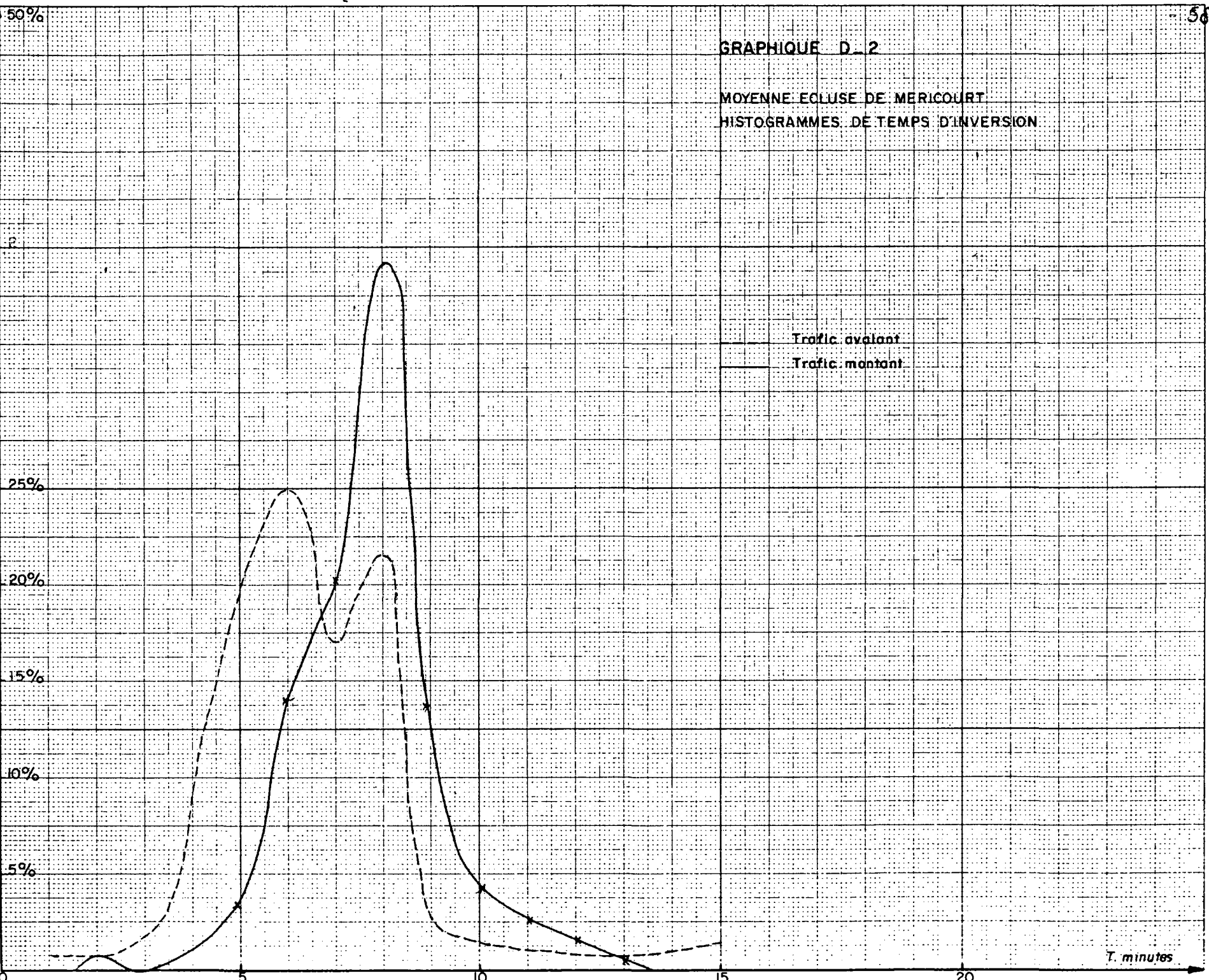
HISTOGRAMME DES TEMPS D'ECLUSAGE

Temps d'inversion

Nom de l'écluse	Trafic Montant		Trafic Avalant	
	Nombre de bassinées	Durée moyenne de l'inversion	Nombre de bassinées	Durée moyenne de l'inversion
<u>MERICOURT</u> :				
Grande Ecluse	128	8,92'	104	8,22'
Moyenne Ecluse	147	7,78'	124	6,40'
Petite Ecluse	4	7,25'	2	3,50'
<u>ANDRESY</u> :	125	7,16'	140	6,65'
<u>CARRIERES</u> :				
Grande Ecluse	157	8,01'	102	6,40'
Petite Ecluse	305	3,20'	233	2,51'

GRAPHIQUE D. 2

MOYENNE ECLUSE DE MERICOURT
HISTOGRAMMES DE TEMPS D'INVERSION



Trafic avalant

Trafic montant

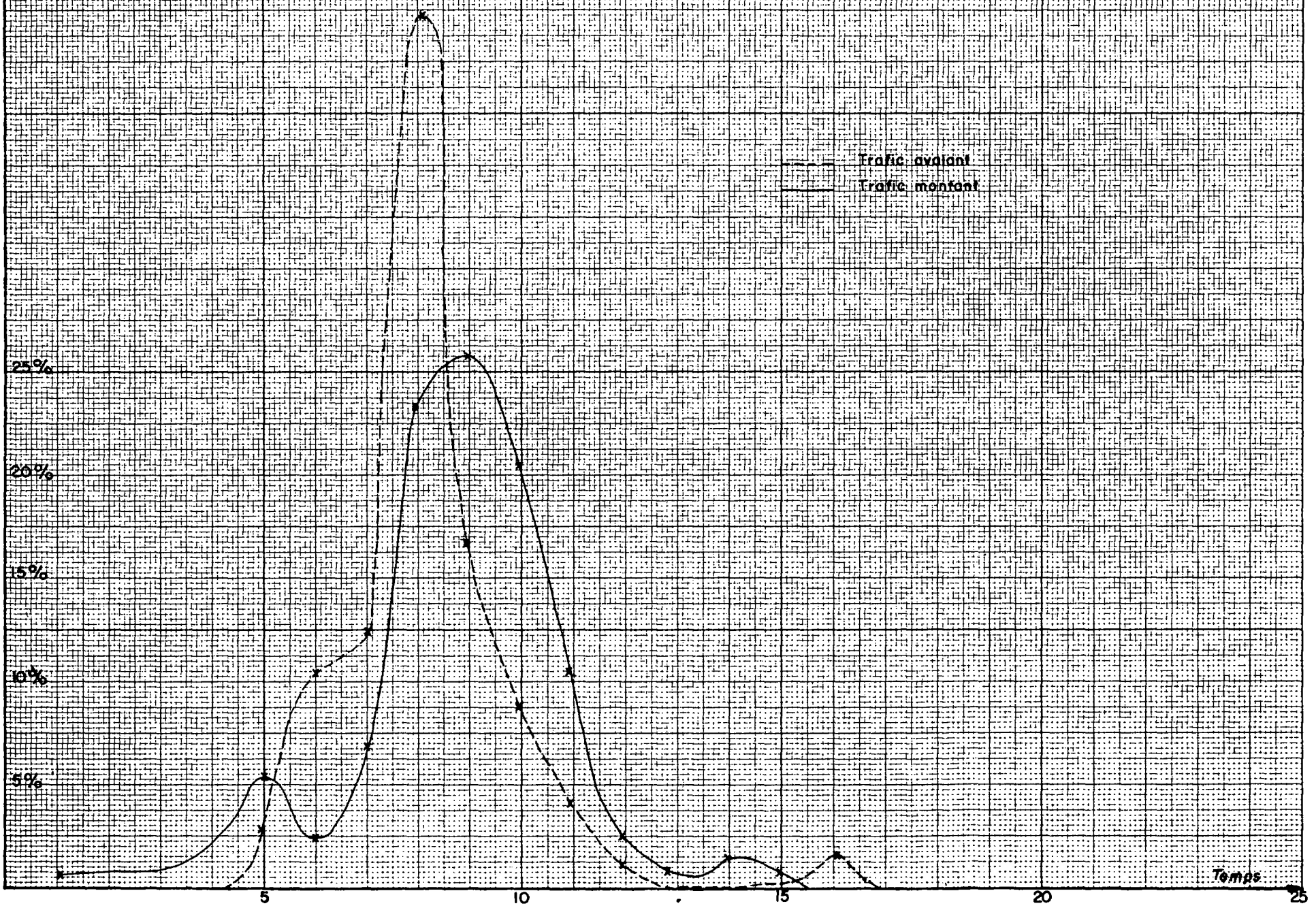
T. minutes

50%

GRAPHIQUE D. 3

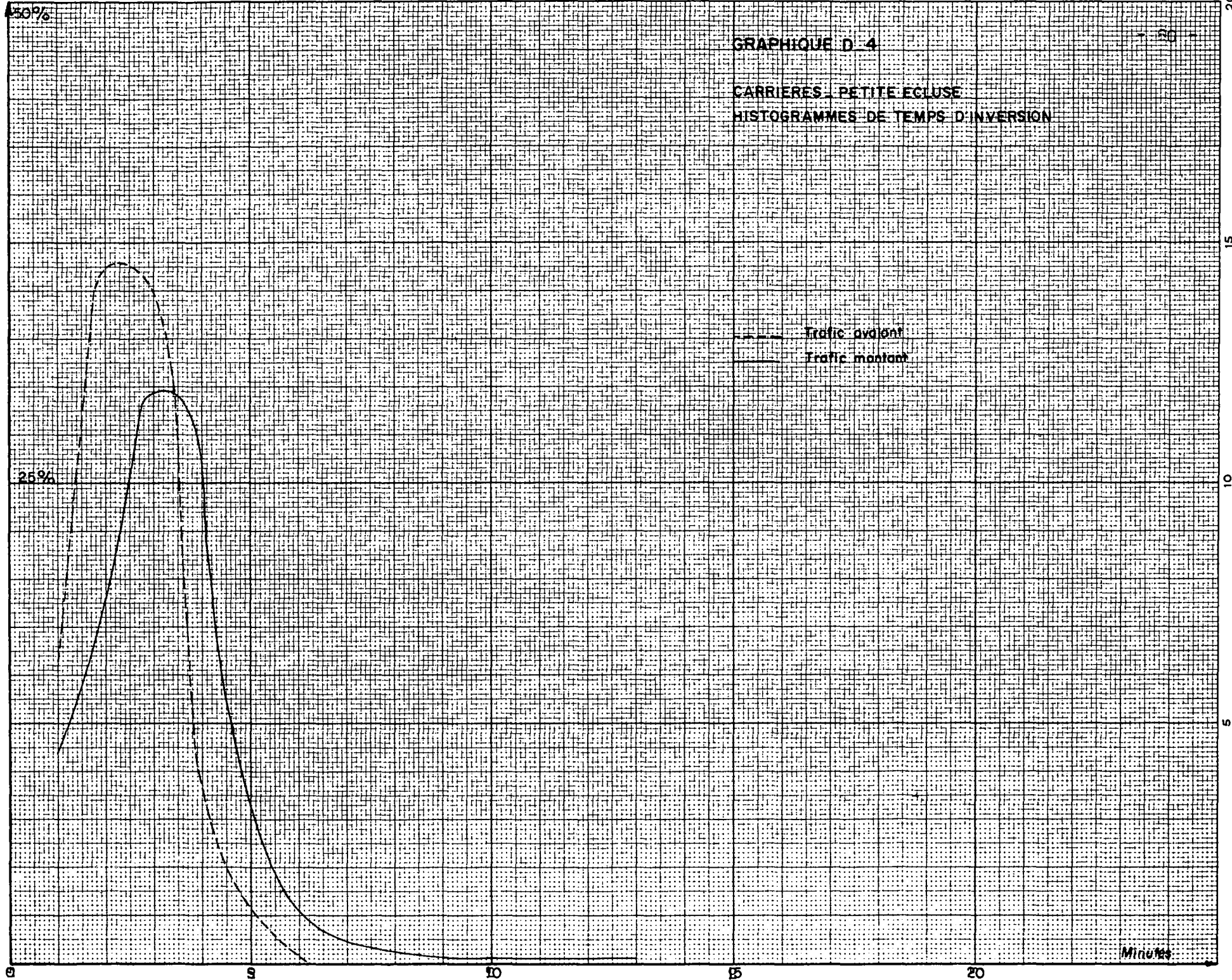
59

GRANDE ECLUSE DE MERICOURT
HISTOGRAMME DE TEMPS D'INVERSION



GRAPHIQUE D-4

CARRIERES - PETITE ECLUSE
HISTOGRAMMES DE TEMPS D'INVERSION



50%

25%

Minutes

00

20

15

10

5

0

5

10

15

20

50%

GRAPHIQUE D.5

ECLUSE D. ANDRESY

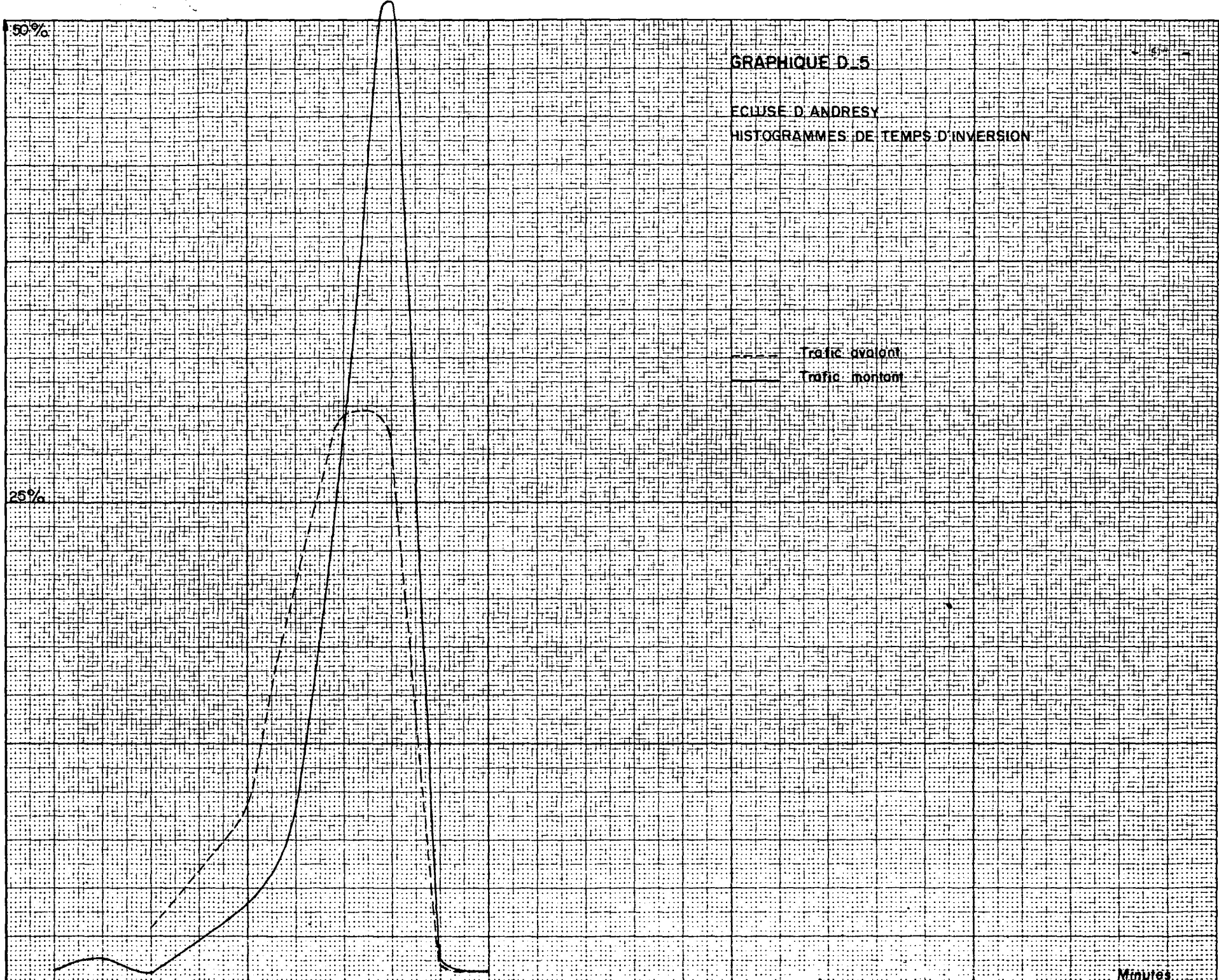
HISTOGRAMMES DE TEMPS D'INVERSION

--- Trafic avalant

— Trafic montant

25%

0 5 10 15 20 Minutes



50%

52

GRAPHIQUE D.6

CARRIERES GRANDE ECLUSE
HISTOGRAMMES DE TEMPS D'INVERSION

Trafic avalant

Trafic montant

25%

0

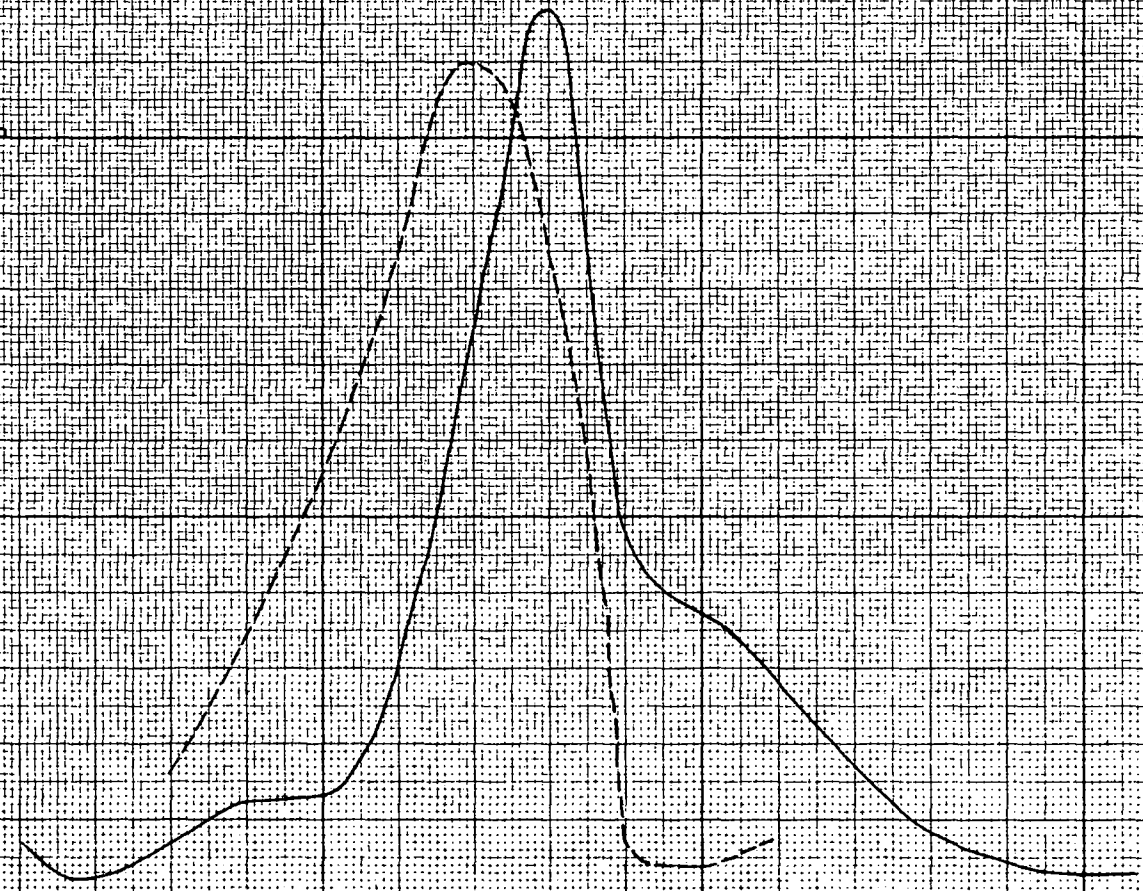
5

10

15

20

Minutes



02

TABLEAU E-1

REPARTITION DES BATEAUX

PAR TYPES et PAR VITESSES

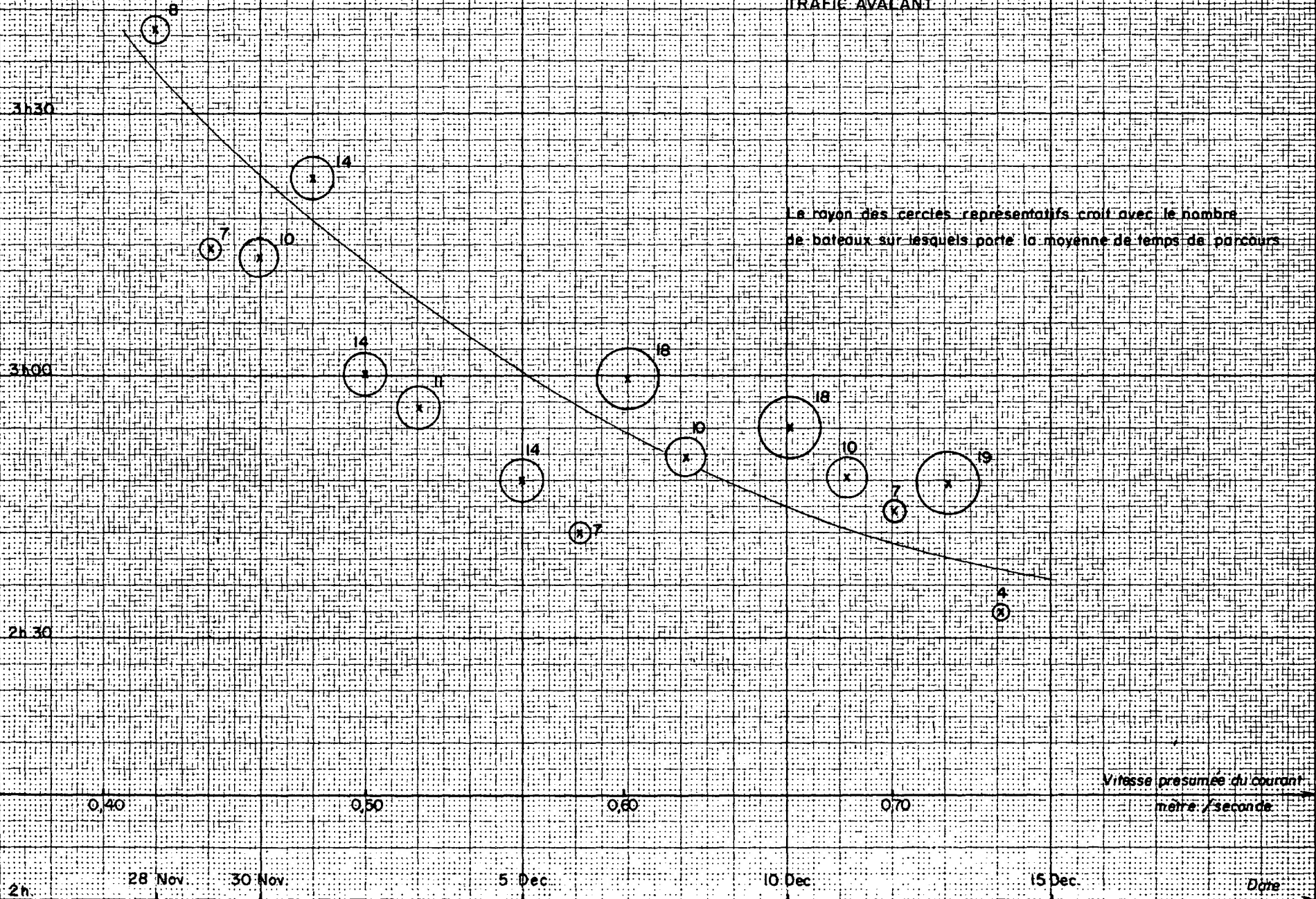
Type Dimensions	Trafic Montant			Trafic Avalant		
	Pourcentage Total du type	Répartition par vitesse	Vitesse	Pourcentage Total du type	Répartition par vitesse	Vitesse
A - M - C 40 x 5 80 x 5	90% 10%	{ 65% 35% 100%	9,5 km/h 8 km/h 6,5 km/h	95% 5%	{ 65% 35% 100%	16 km/h 11 km/h 7 km/h
A - M - S 40 x 7 60 x 7 100 x 12	50% 30% 20%	} →	10 km/h 7,2 km/h	50% 30% 20%	} →	17 km/h 10 km/h
Pousseurs 100 x 12 140 x 12 160 x 12	35% 40% 25%	} → }	9 km/h	35% 40% 25%		18 km/h 16 km/h 14 km/h

Temps de parcours

GRAPHIQUE E. 2

64

VARIATIONS DU TEMPS DE PARCOURS DES AUTOMOTEURS
DE CANAL ENTRE CARRIERES ET MERICOURT
TRAFIC AVALANT



Vitesse presumée du courant
mètre / seconde

2h. 28 Nov. 30 Nov. 5 Dec. 10 Dec. 15 Dec. Date

64

Pourcentage

GRAPHIQUE E. 3

HISTOGRAMMES DES VITESSES EN RIEF
AUTOMOTEURS DE CANAL

30%

20%

10%

Trafic avalant
Trafic montant

Vitesse km/h

0

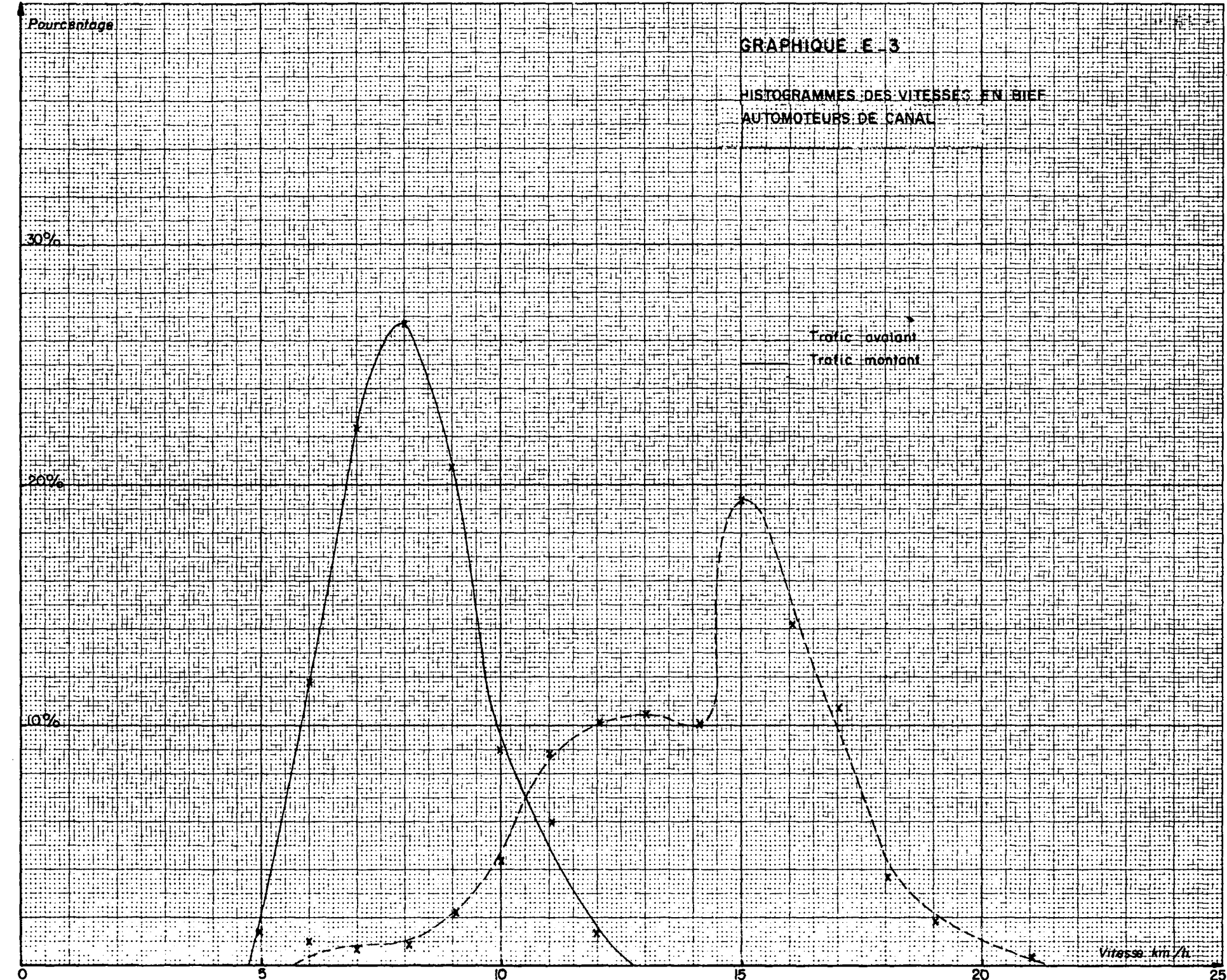
5

10

15

20

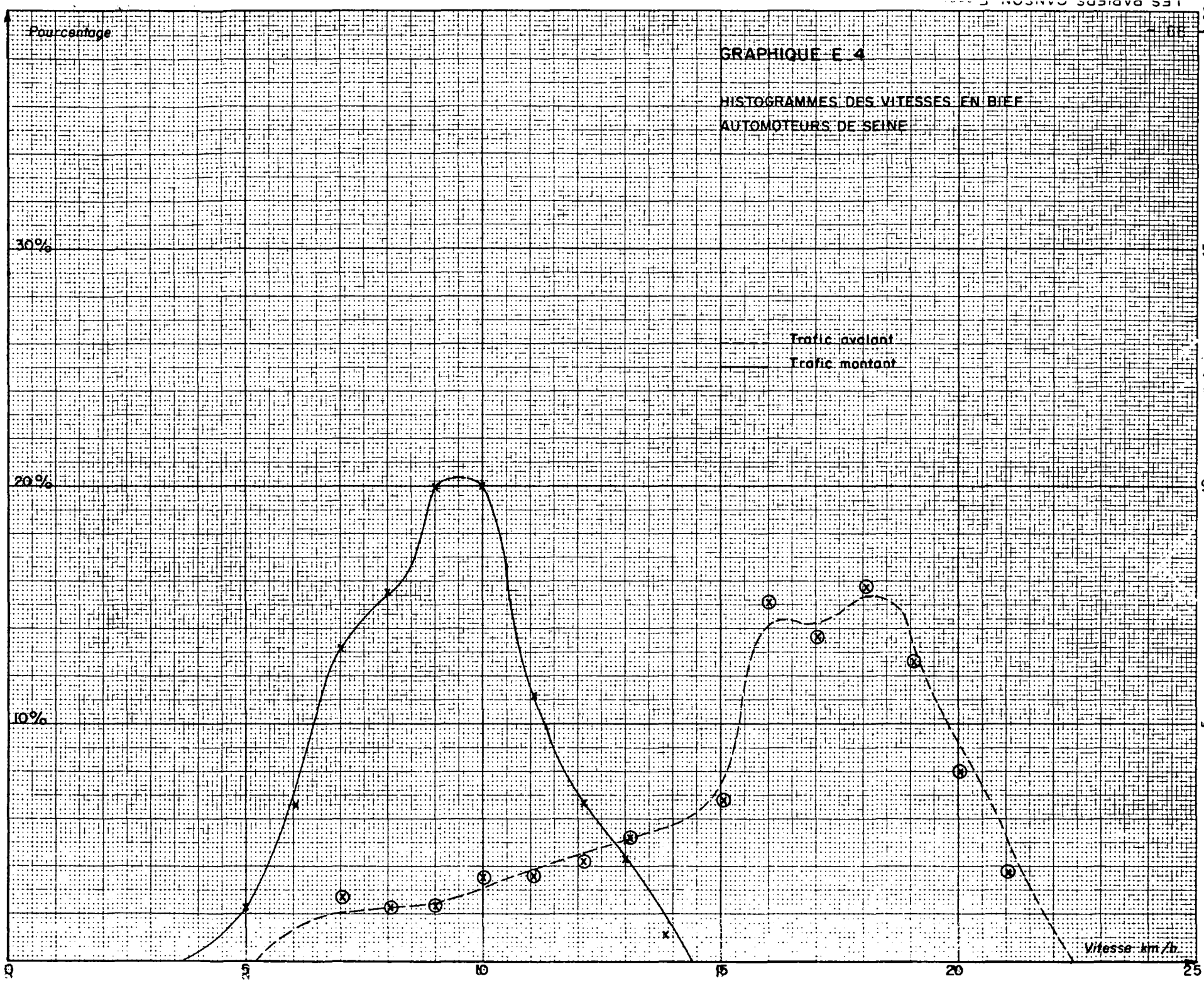
25



Pourcentage

GRAPHIQUE E 4

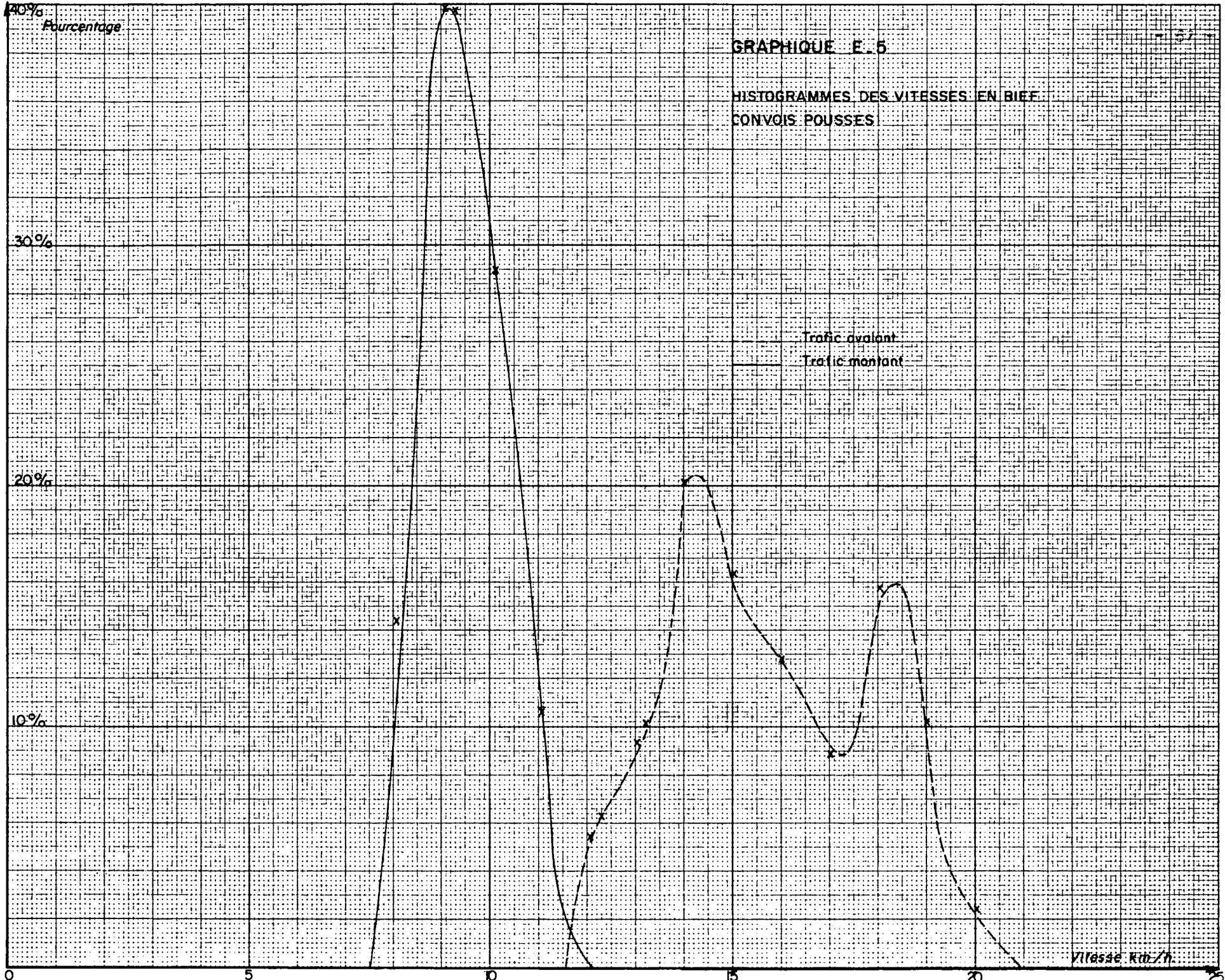
HISTOGRAMMES DES VITESSES EN BIEF
AUTOMOTEURS DE SEINE



Trafic avalant
Trafic montant

Vitesse: km/h

55



TEMPS D'ATTENTE

TRAFIC AVALANT

Types de bateaux	BOUGIVAL									ANDRESY			CARRIERES						MERICOURT								
	Grande Ecluse			Moyenne Ecluse			Petite Ecluse			(1)	(2)	(3)	Grande Ecluse			Petite Ecluse			Grande Ecluse			Moyenne Ecluse					
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)				(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
AMC 0 b AMC 1 b				3	26		3	5		145	12	9	250	9	6	270	12	9	301	13	9	272	14	10			
AMS 0 b AMS 1 b AMS 2 b										73	14	12	43	14	12	32	13	12	61	14	9	51	17	12			
P 0 b P 1 b P 2 b P 3 b P 4 b P 6 b										2	13		2	4					4	14		2	21				
Caboteurs										16	16	12	3	20					11	8		8	12				
Remorqueurs										4	20											4	18				

(1) Nombre de bateaux dont le temps d'attente a été mesuré
 (2) Moyenne des temps d'attente }
 (3) Médiane } en minutes

Notations : AMC Automoteurs de Canal
 AMS Automoteurs de Seine
 P Pousseurs

TEMPS D'ATTENTE
TRAFIC MONTANT

Types de bateaux	BOUGIVAL									ANDRESY			CARRIERES						MERICOURT					
	Grande Ecluse			Moyenne Ecluse			Petite Ecluse			(1)	(2)	(3)	Grande Ecluse			Petite Ecluse			Grande Ecluse			Moyenne Ecluse		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)				(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
AMC 0 b AMC 1 b	20 2	15 9	12	34	11	8	72	12	3	32	22	15	270	5	3	245	8	5	242	18	13	208	14	10
AMS 0 b AMS 1 b AMS 2 b	5	13	5	12			17	14	6	44	19	12	59	5	3	38	8	5	61	18	14	62	15	10
P C b P 1 b P 2 b P 3 J P 4 b P 6 b				3	8					3	31		1	3		2	6		2	31		1	12	
				6	12					20	23	16	2	4		3			3	22		6	15	
										7	20		1	3		3			3	24		6	29	
										5	23		1	3		3			3	12		2	12	
										11	12	9	1	3		8			8	22	20	7	30	
Caboteurs							4	27		10	13					4	4		8	14	9	4	12	
Remorqueurs										1	42		3	8					2	35		4	15	

(1) Nombre de bateaux dont le temps d'attente a été mesuré
 (2) Moyenne des temps d'attente }
 (3) Médiane } en minutes

Notations : AMC : Automoteurs de Canal
 AMS : Automoteurs de Seine
 P : Pousseurs

Modèle de Simulation : Cas d'un Groupe d'Ecluses

Cette première partie de l'étude est consacrée à la réalisation de la simulation d'un groupe d'écluses. Les problèmes particuliers, susceptibles de recevoir une solution qui soit fonction de la configuration du groupe d'écluses, ont été traités dans le cas des écluses de Carrières. La deuxième partie de l'étude, présentée au chapitre V, montre comment il est possible d'étendre aux autres groupes d'écluses les solutions retenues ici et, d'autre part, comment peut être menée la simulation intégrée de l'ensemble des groupes d'écluses de la Basse Seine.

IV.1. Modèle étudié

IV.1.1. Voie Navigable

La Basse Seine comporte un certain nombre de tronçons séparés par des groupes d'écluses. A chaque groupe d'écluses sont associées des caractéristiques particulières : nombre d'écluses, dimension de chaque écluse, temps d'inversion de chaque écluse vers l'aval ou vers l'amont.

A chaque groupe d'écluses correspondent deux points d'information aval et amont à partir desquels l'éclusier peut orienter les bateaux sur une écluse particulière en fonction de l'état du trafic et des files d'attentes.

La description des caractéristiques retenues pour les groupes d'écluses de la Basse Seine est donnée sur la carte jointe.

IV.1.2. Types de Bateaux

Les bateaux participant à la simulation ont été classés dans quatre catégories correspondant à des dimensions et des vitesses particulières :

Catégorie 1. : Convois poussés 160 m x 12 m
140 m x 12 m
100 m x 12 m

Catégorie 2. : Automoteurs de canal (AMC) 40 m x 5 m
AMC + 1 barge : 80 m x 5 m

Catégorie 3. : Automoteurs de Seine (AMS) 40 m x 7 m
60 m x 7 m
Caboteurs 40 m x 7 m

Catégorie 4. : Divers

Le caboteur a priorité sur tous les autres bateaux en cas d'attente.

Les attributs d'un bateau comprennent :

- Les dimensions géométriques du rectangle auquel il est assimilé, soit un code relatif au type du bateau
- Un code de vitesse
- Un niveau de priorité
- Une origine, la direction vers laquelle il se dirige n'étant fonction que de cette origine.

IV.1.3. Lois Aléatoires de Départ des Bateaux

Les lois des probabilités cumulées des intervalles de temps séparant deux bateaux successifs d'une même catégorie ont été obtenues par le dépouillement d'une enquête statistique décrite au chapitre III (§ III.3.2.).

Les lois se présentent sous la forme d'un ensemble de segments de droite décrivant la fonction $Pr_i (t > K_i t_0) = P$ où P est la possibilité d'avoir un intervalle de temps supérieur à $K_i t_0$ séparant deux bateaux, et K_i le trafic moyen de la catégorie i par unité de temps.

Il est possible de faire varier commodément l'intensité de trafic par catégorie en donnant de nouvelles valeurs au K_i soit K'_i, K''_i, \dots à des instants particuliers de la simulation t', t'', \dots , l'intervalle de temps moyen séparant deux bateaux étant en particulier proportionnel aux K_i .

Ces diverses valeurs sont des paramètres introduits dans la simulation au moment de la lecture des données.

Les lois obtenues à partir de l'enquête statistique correspondent à des bateaux partis en bief et se dirigeant toujours dans la même direction. Une source ne peut donc fournir que des bateaux se dirigeant vers l'aval, ou que des bateaux se dirigeant vers l'amont.

La position de cette source entre deux groupes d'écluses n'influe pas sur le trafic normal constaté aux écluses. Pour des raisons de commodité, la position de la source de bateaux retenue se situe au premier point d'information rencontré par les bateaux issus de cette source.

Par conséquent, chaque source est géométriquement confondue avec un point d'information et les bateaux issus de cette source se dirigent vers le groupe d'écluses le plus proche (Voir figure 1).

On peut montrer qu'en effectuant des tirages de nombres aléatoires r compris entre 0 et 1, de probabilité uniforme dans cet intervalle, et en cherchant T_0 tel que $Pr_i (t > K_i T_0) = r$, on obtient des intervalles de temps entre les bateaux de la catégorie i suivant la loi observée.

Il est donc possible d'obtenir à partir d'un générateur de nombres pseudo-aléatoires les intervalles de temps séparant les bateaux d'une même catégorie.

Une fois connue la date de départ en bief d'un bateau à partir d'une origine (Point d'Information) on détermine par tirage au sort le type de ce bateau dans une catégorie et son code de vitesse, suivant les probabilités déterminées lors de l'enquête sur la navigation de la Basse Seine (§ III, 3.1.).

Le bateau se trouve alors pourvu de tous ses attributs et il peut être pris en compte par la simulation.

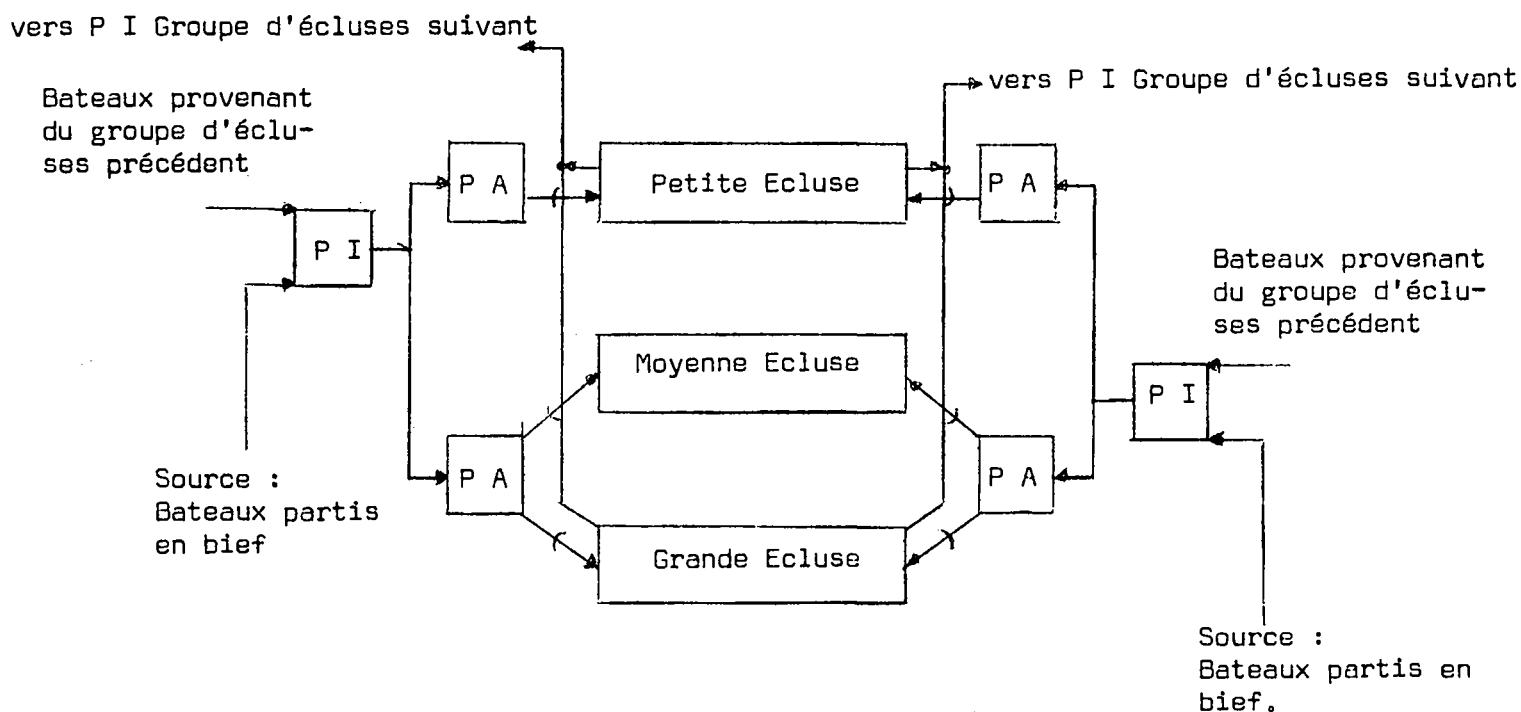


Fig. 1 - Modèle correspondant à un groupe d'écluses

- Les rectangles PA et PI correspondent à des listes dans lesquelles sont placés les bateaux avec la date de leur passage au point correspondant.
(P A : point d'attente
(P I : point d'information
- Les flèches définissent les parcours suivis par les bateaux.

IV.2. Organisation de la Simulation

IV.2.1. Indépendance des Traitements de Chaque Groupe d'Ecluses

Les divers groupes d'écluses fonctionnent simultanément : il est cependant possible de traiter le trafic se présentant à un groupe d'écluses indépendamment des autres groupes pendant un laps de temps que nous allons déterminer.

Considérons un groupe d'écluses G2 situé entre les deux groupes d'écluses G1 et G3 à un instant t_0 (Fig. 2).

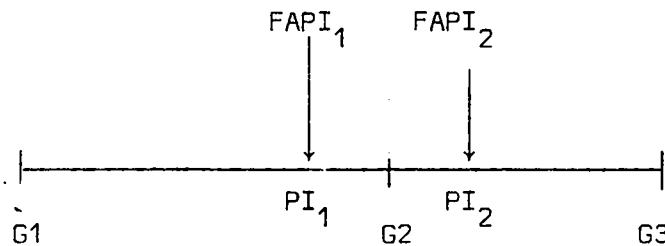


Fig. 2 Positions relatives de 3 groupes d'écluses

Rangons dans deux listes FAPI 1 et FAPI 2 tous les bateaux se dirigeant vers G2 dans l'ordre des dates de leurs passages respectivement en PI 1 et PI 2 (Points d'information aval et amont).

Nous obtenons alors deux listes de temps de passage en PI 1 et PI 2 :

$$t_0 \leq t_{11} \leq t_{12} \leq \dots \leq t_{1m} \quad \text{pour PI 1}$$

$$t_0 \leq t_{21} \leq t_{22} \leq \dots \leq t_{2n} \quad \text{pour PI 2}$$

Calculons les dates de passage en PI 1 et PI 2 des bateaux les plus rapides partant de G1 et G3 à l'instant t_0 se dirigeant vers G2.

Appelons respectivement T_1 et T_2 ces dates et classons les dans les listes auxquelles elles correspondent, soit :

$$t_0 \leq t_{11} \leq t_{12} \leq \dots \leq t_{1M} < T_1 \leq t_{1,M+1} \dots \leq t_{1m}$$

$$t_0 \leq t_{21} \leq t_{22} \leq \dots \leq t_{2N} < T_2 \leq t_{2,N+1} \dots \leq t_{2n}$$

Aucun bateau issu de G1 ou G2 ne pourra s'insérer entre les bateaux dont les dates de passage en PI 1 et PI 2 sont respectivement inférieures ou égales à t_{1M} et t_{2N} .

Soit $T_{\min} = \text{Min}(T_1, T_2)$; il est alors possible de traiter le trafic de l'écluse G2 jusqu'à la date T_{\min} sans tenir compte des évènements survenant en G1 et G3.

Le problème concernant l'ordre dans lequel doit s'effectuer le traitement du trafic des divers groupes d'écluses sera abordé au chapitre V.

IV.2.2. Trafic Relatif à un Groupe d'Ecluses

Les bateaux arrivant en aval et en amont d'un groupe d'écluses peuvent avoir deux origines distinctes. Ils peuvent soit provenir du groupe d'écluses précédent, soit être partis en bief. Dans chacun des cas, il seront classés dans une liste, FAPI, en fonction de la date de leur passage au Point d'Information.

Chaque groupe d'écluses sera associé à deux listes FAPI dans lesquelles sera placé le trafic aval et amont.

- Bateaux en provenance d'un autre groupe d'écluses :

Ces bateaux sont versés et classés dans les deux listes FAPI et G2 lors du traitement de G1 et G3 compte tenu du temps de parcours du bief.

- Bateaux partis en bief :

Ces bateaux proviennent des sources confondues géométriquement avec les P.I. Le temps de parcours du bief par ces bateaux sera donc nul.

Les bateaux partis en bief se succèdent dans le temps en satisfaisant aux quatre lois de probabilités suivies par les quatre catégories de bateaux. Il est donc initialement nécessaire de tirer les dates de départ d'un bateau de chaque catégorie pour chacune de deux sources afin de s'assurer que le 1er bateau partant ne peut être précédé d'aucun autre.

Les quatre bateaux tirés pour chacune des deux sources sont versés dans les deux listes FAPI dans l'ordre de leur départ.

Lors du traitement du 1er de ces quatre bateaux, c'est-à-dire lors de son extraction ou effacement de la liste, il suffira d'appeler un autre bateau de la même catégorie et de le classer dans la liste FAPI convenable.

Ce procédé permet de ne conserver qu'un nombre minimum de bateaux correspondant à l'histoire des diverses sources, histoire nécessaire à l'appel de nouveaux bateaux.

IV.2.3. Organisation du Traitement des Files d'attente

Le traitement des bateaux se présentant aux points d'informations donne lieu à la résolution des problèmes suivants :

- A quelle écluse particulière du groupe doit être affecté un bateau franchissant le P.I. ?
- Dans le cas d'une écluse pouvant contenir plus d'un bateau, comment peut-on composer une bassinée ?

- Quel est l'ordre selon lequel doit être traitée chaque écluse ou groupe considéré ?

Afin de répondre à ces diverses questions, les principes essentiels du traitement ont été dégagés sur un groupe d'écluses particulier, comportant une petite écluse et une grande écluse du type des écluses de Carrières, le trafic arrivant à ce groupe provenant alors uniquement des sources qui lui sont adjacentes.

a) Affectation des bateaux

L'idée directrice concernant l'affectation des bateaux (1) est d'affecter à la petite écluse tous les bateaux susceptibles de l'emprunter en raison de leurs dimensions afin de les faire bénéficier d'un temps d'éclusage réduit (de l'ordre de trois fois inférieur à celui d'une grande écluse) et de réserver dans la mesure du possible la grande écluse aux bateaux plus importants ne pouvant franchir le groupe que par son utilisation.

La règle du tour, soit premier arrivé, premier servi, devant être observée, l'affectation des bateaux se trouve corrigée de la façon suivante : compte tenu du rapport des durées respectives des cycles d'éclusage de la petite et grande écluse, mesuré par un paramètre EQ égal à 3 pour le groupe d'écluses de Carrières, N étant le nombre de bassinées complètes en attente devant la grande écluse, un bateau se présentant au P.I. sera affecté à la petite écluse si l'inégalité $N < EQ \times (N' + 1)$ est vérifiée, à la grande écluse, dans le cas contraire.

(1) Ponts & Chaussées - Navigation de la Seine (3ème section) : Règles d'utilisation des Ecluses de la Basse Seine

Les bateaux sont alors versés au fur et à mesure de leur affectation dans deux listes FAPAPE et FAPAGE correspondant à la situation des bateaux se trouvant au point d'attente de la petite ou de la grande écluse, ou des bateaux en cours de trajet entre le point d'information et l'un de ces deux points d'attente.

Ces bateaux sont versés dans les listes FAPAPE et FAPAGE en même temps que leurs dates d'arrivées au point d'attente, la durée du parcours étant constante quel que soit le type du bateau.

Il est donc possible à un instant quelconque de la simulation de savoir si les bateaux placés dans FAPAPE et FAPAGE sont en attente ou se dirigent vers le point d'attente par le test d'une simple inégalité sur les temps.

On peut remarquer que l'ordre dans lequel se présentent les bateaux au point d'attente n'est pas modifié par rapport à l'ordre dans lequel ils se présentent au point d'information.

Il existe cependant une exception à cette règle pour le caboteur qui a priorité sur tous les autres types de bateaux.

b) Notion d'évènement

Il y a lieu de décrire maintenant par quel procédé effectif les bateaux passent des listes FAPI dans les listes FAPAGE et FAPAPE.

Introduisons pour ce faire la notion d'évènement. Cette notion permettra de faire progresser le temps dans la simulation par pas variables, donc de réduire la durée de celle-ci.

Les évènements considérés comportent deux caractéristiques : leur date et leur type. Leur date permet de les classer dans l'ordre des dates croissantes dans un tableau

EVEN, leur type permet de connaître la nature de l'évènement auquel ils se réfèrent.

Un code sera donc affecté à chaque type d'évènement. Les types d'évènements retenus sont :

- 1) L'arrivée du premier bateau dans FAPAPE au point d'attente correspondant.
- 2) L'arrivée du premier bateau dans la première bassinée dans FAPAGE au point d'attente correspondant.
- 3) La date de l'ouverture des portes de la petite écluse.
- 4) La date de l'ouverture des portes de la grande écluse.

Chacun de ces évènements pouvant avoir lieu soit en aval, soit en amont, il existe 8 codes possibles permettant de déterminer le type d'un évènement.

De plus, pour déterminer les décisions à prendre, il est nécessaire de connaître les états suivants de chaque écluse :

- ouverture en aval,
- ouverture en amont,
- en cours d'inversion.

Un indicateur d'état de l'écluse doit alors être associé à chaque écluse et mis à jour si besoin est lors du traitement de chaque évènement.

IV.3. Description de l'Organigramme

On décrit ci-après les phases essentielles du traitement du trafic se présentant à un groupe d'écluses du type de celles de Carrières. La signification des variables et des abréviations utilisées dans les organigrammes représentés sur la Figure 3, est donnée en annexe I du chapitre IV.

Case_I : Lecture des données : TMAX de la simulation, dimension des écluses, trafic par catégorie de bateaux en fonction de l'époque de la simulation.

Case_II : Les deux écluses sont initialement ouvertes dans des sens opposés.

Case_III : Amorçage des sources de bateaux.

Case_V : Un bateau de chaque catégorie doit exister en permanence dans chacune des deux listes FAPI.

Case_VI : Détermination de l'affectation d'un bateau. L'inégalité ne doit être appliquée qu'à des bateaux susceptibles d'emprunter la P.E. en raison de leurs dimensions, condition qui élimine les convois poussés, les automoteurs de canal de 80 m. x 5 m., ainsi que les automoteurs de Seine de 60 m. x 7 m.

CasesVII,VIII,IX : La saturation des listes FAPAPE et FAPAGE est fonction du nombre de mots initialement réservés pour ces listes. Ce nombre de mots est déterminé par le nombre maximum admissible de bateaux en attente devant chaque écluse. Si la saturation est atteinte, elle donne lieu à l'édition d'un message et le bateau saturant les listes est retiré de la simulation.

CasesX et XI : Transfert des bateaux FAPI dans FAPAPE et FAPAGE : l'organisation du franchissement des écluses ne dépend que de l'occupation des listes FAPAPE et FAPAGE. Le temps de parcours du tronçon PI - PA est constant pour tous les bateaux.

Cases XII et XIII : Si le bateau placé dans la liste FAPAPE ou FAPAGE est le premier de la liste, l'éclusier doit examiner la possibilité de l'acheminer. La décision sera prise au moment où le bateau parvient au PA.

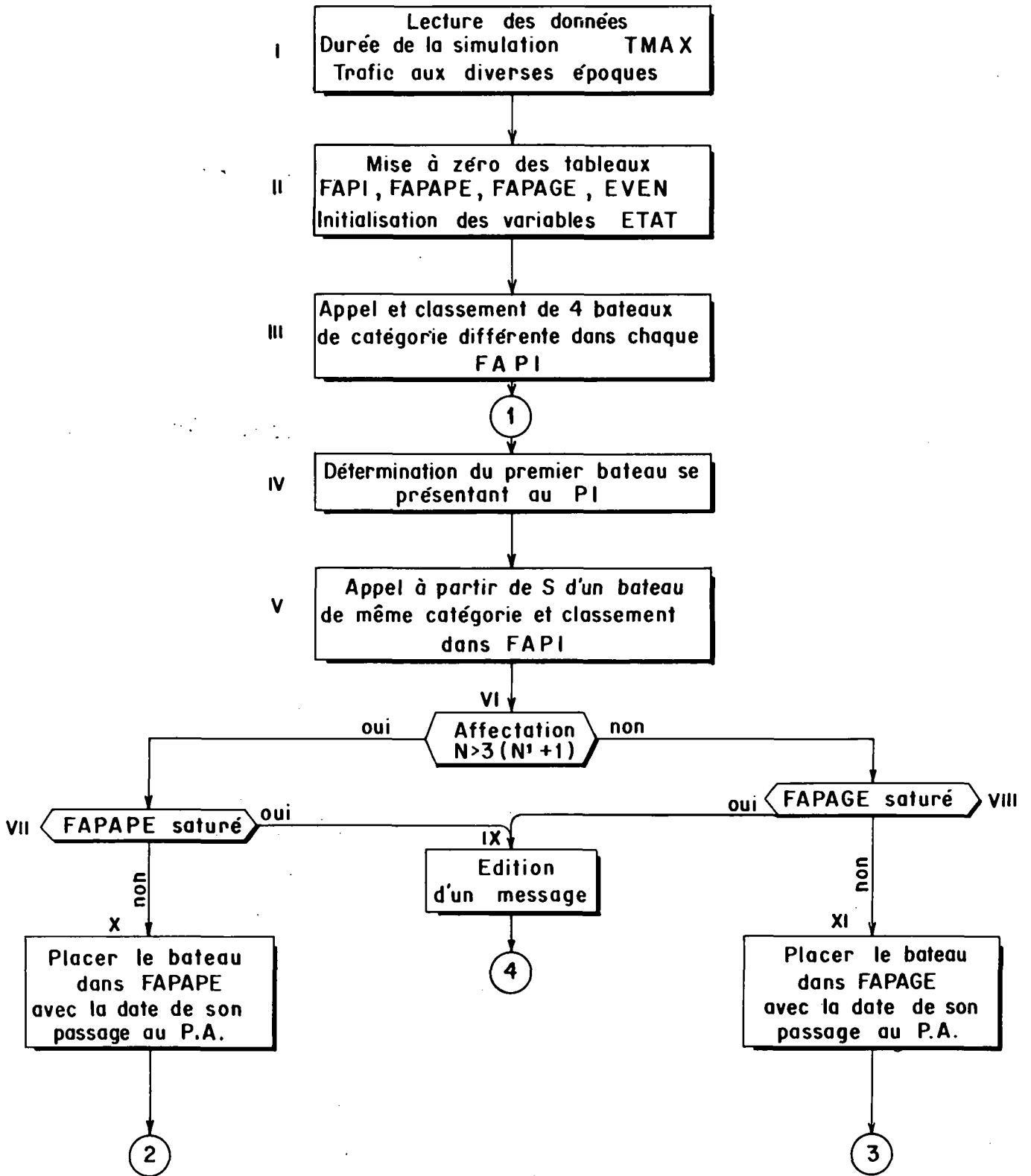
- Case XIV : Insertion d'un évènement dans EVEN permettant de traiter au moment opportun l'arrivée de ce premier bateau.
- Case XV : Possibilité d'inclure dans une bassinée en cours de formation le nouveau bateau. Le problème de la composition des bassinées est abordé au Chapitre V.
- Case XVI : Test arrêtant la simulation en fonction du temps qui lui est alloué.
- Case XVII : Le traitement d'un évènement repose sur la connaissance du nombre et de la position des bateaux situés entre les deux PI et les quatre PA. Ce test permet de s'assurer que la date de l'évènement courant traité est inférieure aux dates de franchissement des deux PI de tous les bateaux placés dans FAPI.
- Cases XVIII et XIX : L'évènement traité est l'ouverture des portes de la petite ou de la grande écluse.
- Cases XX et XXI : Test permettant de déterminer la possibilité de mettre à profit l'ouverture des portes si des bateaux sont en attente du côté où a lieu cette ouverture.
- Cases XXII et XXIII : Si aucun bateau n'est présent au PA ou entre le PA et le PI, et que des bateaux sont en attente du côté opposé, il y a lieu d'effectuer une fausse bassinée et de ne pas attendre l'arrivée de nouveaux bateaux pour effectuer l'inversion de l'écluse. S'il n'y a pas de bateau en attente du côté opposé, l'écluse va rester ouverte, d'où la nécessité de la mise à jour de ETAT.
- Cases XXIV et XXV : L'évènement traité est l'arrivée du premier bateau à l'un des deux PA. On vérifiera que l'écluse a ses portes ouvertes dans le sens convenable, auquel cas il est possible de faire franchir l'écluse au bateau éventuellement associé aux autres de la bassinée s'il s'agit de la grande

écluse. Sinon l'écluse est, soit en période d'inversion et on attendra l'évènement correspondant à l'ouverture des portes de cette écluse, soit ouverte du côté opposé et on déclenchera une fausse bassinée s'il n'y a pas de bateau entre le PA et le PI correspondant du côté opposé.

Les calculs des temps d'inversion et des temps d'introduction et d'évacuation des bateaux sont effectués à l'aide des formules déterminées lors de l'enquête sur la navigation de la Basse Seine (§ III.3.3 et III.3.4).

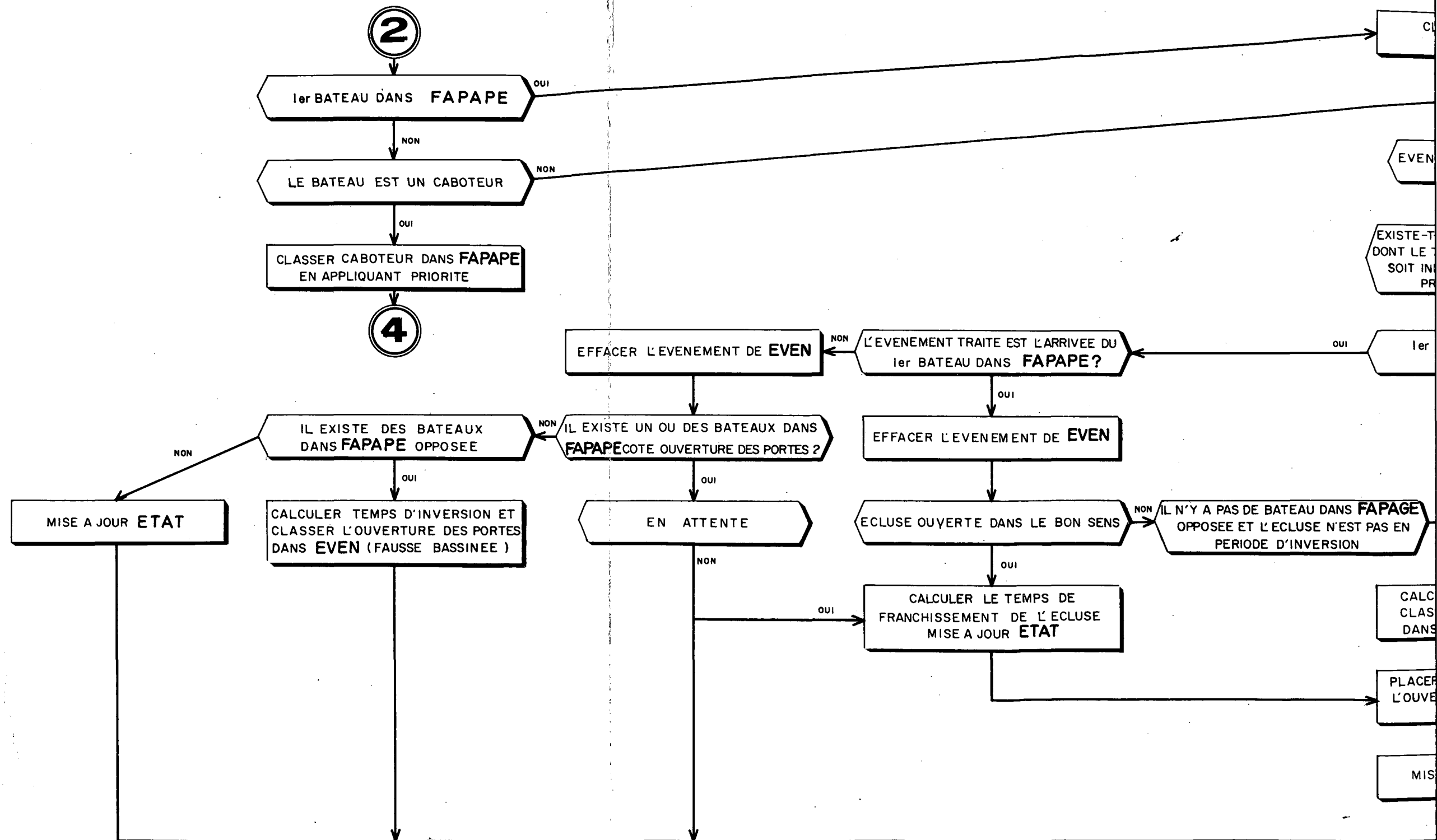
Case XXVI : Les statistiques observées sont les temps moyens d'attente et de franchissement des écluses par catégorie de bateaux et les écarts sur ces temps.

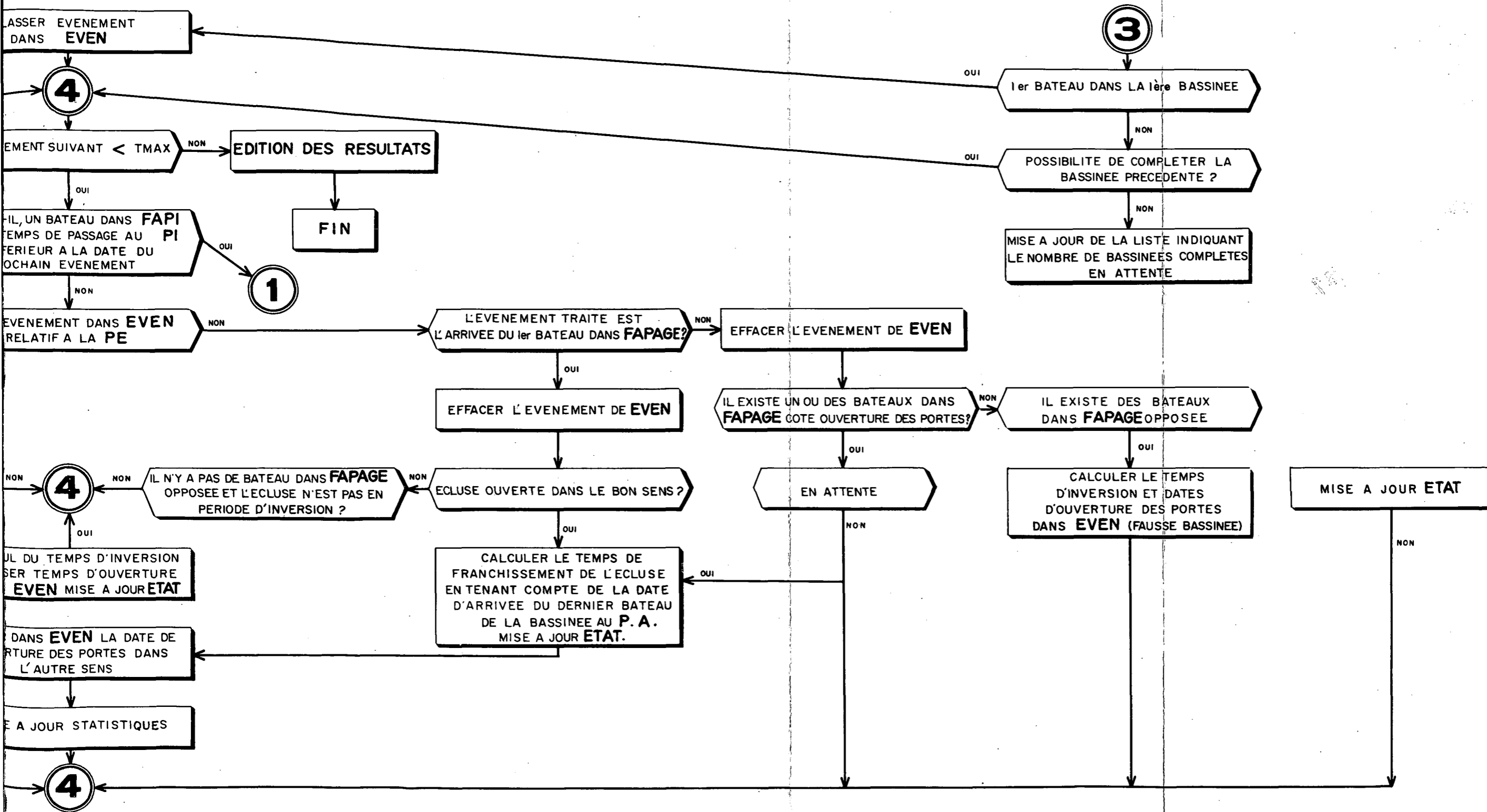
Fig.: 3 _ ORGANIGRAMME DE LA SIMULATION DE DEUX ECLUSES (Cas de Carrières)



ORGANIGRAMME GENERAL

ORGANIGRAMME DE LA SIMULATION DE DEUX ECLUSES CAS DE CARRIERES





SIGNIFICATION des VARIABLES et des ABREVIATIONS UTILISEES

- ETAT : Liste des variables d'états associées à chaque écluse permettant de déterminer si l'écluse est ouverte en aval, ouverte en amont, en période d'inversion.
- EVEN : Liste dans laquelle se trouvent rangés chronologiquement les codes des évènements permettant de déterminer dans quel ordre les bateaux doivent être traités (voir Page 11).
- FAPAGE : Liste dans laquelle se trouvent rangés dans l'ordre de leurs arrivées au P.A. les bateaux ayant franchi le P.I. et se dirigeant vers la grande écluse.
- FAPAPE : Liste dans laquelle se trouvent rangés, dans l'ordre de leurs arrivées au P.A., les bateaux ayant franchi le P.I. et se dirigeant vers la petite écluse.
- FAPI : Liste dans laquelle se trouvent rangés les bateaux provenant d'un autre groupe d'écluses ou les bateaux partis en bief tant que leurs dates de franchissement du P.I. sont supérieures à celle de l'évènement courant traité.
- N : Nombre de bateaux placés dans FAPAPE.
- N' : Nombre de bassinées existant dans FAPAGE.
- PA : Point d'attente
- PI : Point d'information
- S : Source de bateaux correspondant aux bateaux partis en bief.
- TMAX : Temps maximum alloué à la simulation.

CHAPITRE V

MODELE DE SIMULATION : CAS GENERAL

La réalisation de la simulation du trafic de l'ensemble de la Basse-Seine comprend essentiellement une généralisation du modèle relatif aux écluses de Carrières et d'autre part une étude de l'ordre dans lequel peut s'effectuer la simulation des cinq groupes d'écluses de la Basse-Seine.

La généralisation du modèle de Carrières ne remet pas en cause l'organisation du traitement du trafic qui reste fonction d'évènements dont la nature a déjà été définie au Chapitre IV.

Les aménagements à apporter à ce modèle concernent l'affectation des bateaux entre les écluses du groupe considéré, la destination des bateaux, enfin une méthode opératoire permettant de composer efficacement des bassinées.

V.1. Affectation des bateaux aux écluses

a) Pas de petite écluse

Les bateaux passent de la liste FAPE dans une seule liste FAPAGE quel que soit le nombre d'écluses du groupe (normalement deux).

Les bassinées sont composées à partir d'un sous-programme de composition de bassinées au fur et à mesure des disponibilités présentés par les écluses et en fonction des dimensions de celles-ci. Dans ce cas, il serait facile d'éviter l'utilisation d'une liste FAPAGE et d'organiser le traitement des bateaux se présentant au groupe d'écluses directement sur la liste FAPI.

b) Il existe une petite écluse

On cherche alors à utiliser au maximum la petite écluse afin de faire bénéficier d'un temps d'éclusée réduit les bateaux pouvant l'emprunter et de réserver dans la mesure du possible les moyennes ou grandes écluses aux bateaux ne pouvant franchir le groupe que par celles-ci.

On utilise en tant que test de décision l'inégalité suivante :

$$N < EQ \times (N' + 1)$$

où N est le nombre de bateaux en attente devant la petite écluse, N' le nombre de bassinées en attente devant la grande ou moyenne écluse, et EQ un paramètre.

Si l'inégalité est satisfaite, le bateau est affecté à la grande ou moyenne écluse ; si l'inégalité n'est pas satisfaite et si le bateau est susceptible d'emprunter la petite écluse, il est affecté à la petite écluse.

La valeur choisie pour le paramètre EQ permet de répartir les bateaux en fonction du rapport des temps d'éclusage de la grande ou de la moyenne écluse d'une part et de la petite écluse d'autre part.

Exemple :

- Carrières (1 petite et 1 grande écluses) $EQ = 3$
- Bougival (1 petite, 1 moyenne et 1 grande écluses) $EQ = \frac{3}{2}$

Dans le cas où le groupe comprend deux grandes ou moyennes écluses, une difficulté supplémentaire provient de ce qu'il est difficile de prévoir exactement dans quel ordre ces deux écluses sont amenées à écouler les bateaux placés dans FAPAGE, donc de déterminer le nombre N'.

Dans le cas où moyenne écluse et grande écluse ont des caractéristiques différentes, on pourra se contenter de composer des bassinées en les utilisant alternativement, la première écluse utilisée pour composer la première bassinée étant celle qui n'a pas été la dernière utilisée dans le sens considéré. (Cette information peut être obtenue par la mise à jour d'un indicateur au cours de la simulation).

Il y a lieu de remarquer que cette prévision peut être remise en cause par le déroulement de la simulation, auquel cas il est nécessaire de reprendre la composition des bassinées.

V.2. Destinations

Deux possibilités permettent de déterminer la destination d'un bateau ; cette destination peut être tirée aléatoirement au moment de la détermination de l'ensemble des attributs d'un bateau apparaissant à une source et être testée lors du franchissement d'une écluse par le bateau afin de le retirer éventuellement de la simulation ; il est aussi possible de tirer aléatoirement la poursuite ou l'arrêt du bateau après qu'il ait franchi une écluse quelconque.

La deuxième méthode présente l'avantage de réduire l'encombrement de la mémoire et donne lieu à la détermination de lois qui sont d'estimation plus commode que les précédentes. Elle sera donc retenue. On peut remarquer qu'un bateau venant de franchir un groupe d'écluses autre que le dernier, et qui poursuit sa route, doit être versé dans la liste FAPI convenable du groupe d'écluses suivant. A cet instant, le traitement du trafic du groupe d'écluses courant, peut, sous certaines conditions que nous examinerons plus loin, être indépendant du trafic existant aux groupes d'écluses adjacents.

Cependant ce bateau peut entraîner une saturation de la liste FAPI dans laquelle on doit le verser; il est alors nécessaire pour éviter un blocage de la simulation de transférer l'exécution de la simulation au groupe d'écluses dont la liste FAPI est saturée.

On aura alors un blocage définitif si lors de l'exploitation initiale de la liste FAPI saturée, donc pour la désaturer, on est amené à verser un bateau dans une autre liste FAPI également saturée, relative au groupe d'écluses suivant.

V.3. Composition des bassinées

V.3.1. Principes généraux

Le problème de la composition des bassinées se ramène à la recherche des emplacements à affecter aux bateaux à l'intérieur de l'écluse afin d'en faire entrer le plus grand nombre possible.

Ce problème s'apparente aux problèmes de découpe, problèmes connus aussi sous le nom de "problème du sac alpin".

Les problèmes de découpe cherchent à déterminer de quelle façon on doit extraire d'une feuille généralement rectangulaire un certain nombre d'éléments de formes variables mais également rectangulaires afin de minimiser les chutes.

Lorsqu'on ne dispose que d'une feuille, le problème est identique à celui du placement des bateaux dans une écluse sans redan. Si l'on dispose de plusieurs feuilles, on a alors un problème de découpe à plusieurs niveaux identique au placement des bateaux dans une écluse comprenant un redan.

La résolution théorique de ces problèmes s'obtient en déterminant automatiquement l'ensemble des combinaisons possibles, chaque combinaison étant représentée par une colonne d'une matrice de contrainte associée à un programme linéaire. Les références (1) et (2) montrent quelles sont les techniques à utiliser pour répertorier l'ensemble des combinaisons possibles et formulent les programmes linéaires auxquels on se trouve ramené dans le cas d'un problème de découpe à un seul niveau.

La référence (4) s'intéresse aux problèmes de découpe à plusieurs niveaux et signale (page 100) qu'il n'existe pas de méthode générale applicable lorsqu'aucune contrainte supplémentaire n'est envisagée.

On cherchera à surseoir à cette difficulté en tenant compte des caractéristiques particulières du modèle étudié, en en déduisant un ordre d'affectation des bateaux et en choisissant alors éventuellement pour chaque type de bateau la combinaison la plus appropriée, le nombre des combinaisons à étudier étant petit.

Le problème de la composition des éclusées est étudié dans la suite pour les trois types suivants d'écluses :

1. Largeur 12 m
2. Largeur 12 m + redan de 7 m x 80 m
3. Largeur 17 m

On montre dans chacun des cas qu'il est possible de ramener le problème de la composition optimum des éclusées à la résolution d'un programme linéaire mixte et l'on propose une méthode permettant d'éviter cette résolution tout en atteignant une solution convenable.

Remarquons tout d'abord qu'il est nécessaire de déterminer la possibilité de l'introduction de N bateaux en vérifiant $S(N) \leq S_{\max}$. où $S(N)$ représente la surface des N bateaux considérés et S_{\max} la surface utilisable de l'écluse. On peut avoir intérêt compte tenu des résultats expérimentaux, à prendre pour S_{\max} une surface légèrement inférieure à la surface effectivement utilisable afin de tenir compte de la perte minimum généralement observée.

D'autre part, il doit être possible de définir une surface S_{\min} en-dessous de laquelle le problème de la composition de l'écluse pour une surface $S(N) < S_{\min}$ serait considéré comme admettant une solution.

Ces deux remarques devraient permettre de réduire le temps machine nécessaire à la composition des éclusées.

Rappelons ici les caractéristiques des bateaux retenus dans le modèle et définissons les paramètres nécessaires dans la suite de l'étude :

Largeur	Longueur	Nombre de bateaux de chaque type
5	40	P_1
	60	P_2
	80	P_3
7	40	Q_1
	60	Q_2
12	100	R_1
	140	R_2
	160	R_3

$$\text{avec } N = \sum_{i=1}^3 P_i + \sum_{i=1}^2 Q_i + \sum_{i=1}^3 R_i$$

$$\text{tel que } S_{\min} \leq S(N) \leq S_{\max}.$$

Avant d'aborder les problèmes particuliers posés par chaque type d'écluse, il convient de remarquer qu'il est toujours possible de supposer que les bateaux de 12 m de largeur sont placés en premier dans l'écluse. En effet, si les N bateaux peuvent être placés dans l'écluse et si le ou les bateaux de 12 m de largeur ne se trouvent pas en tête de l'écluse, il est toujours possible de trouver une autre solution dans laquelle les bateaux de 12 m sont placés en tête.

D'autre part, placer les bateaux de 12 m en tête revient à supprimer la place perdue à l'une des extrémités donc à maximiser la surface offerte effectivement disponible aux autres bateaux.

Pour l'écluse de 17 m, on suppose que les bateaux de 12 m sont placés à droite afin de laisser sur leur gauche un couloir disponible de 5 m.

V.3.2. Etude par type d'écluse

a) Cas d'une écluse de 12 m

Une fois placés les bateaux de 12 m, il est nécessaire de placer les bateaux de 7 m, ceux-ci ne pouvant être placés que sur une seule file. Si la longueur disponible n'est pas suffisante, la composition de l'éclusée n'est pas possible. Dans le cas contraire, on doit alors procéder au placement des bateaux de 5 m, généralement sur deux lignes de longueur L_1 et L_2 .

Si le placement n'est possible que pour certaines répartitions des bateaux de 5 m sur les deux lignes, on peut trouver une de ces répartitions par la résolution d'un programme linéaire mixte.

En effet dans le cas d'une occupation maximum d'une des lignes, la possibilité de placer les bateaux restants sur l'autre ligne permet de tester l'existence d'une solution à la composition de l'écluse. L'occupation optimum de la première ligne par exemple s'obtient par la résolution du programme :

$$\begin{aligned} \text{Min } \Delta L_1 \\ \Delta L_1 &= L_1 - (40 p_1 + 60 p_2 + 80 p_3) \\ p_1 &\leq P_1, p_2 \leq P_2, p_3 \leq P_3 \\ \Delta L_1, p_1, p_2, p_3 &\geq 0 \end{aligned}$$

Il est possible d'éviter la résolution de ce programme, en déterminant la valeur minimum de ΔL_1 pour l'ensemble des combinaisons possibles de p_1 , p_2 et p_3 en arrêtant éventuellement la recherche de ce minimum dès que ΔL_1 aurait été trouvé égal à zéro.

Compte tenu des dimensions des écluses le nombre maximum de cas à étudier devrait être de l'ordre de 20 dans les plus mauvaises conditions. Il suffit ensuite d'effectuer un test sur le signe de : $\Delta L_2 = L_2 - 40 (P_1 - p_1) - 60 (P_2 - p_2) - 80 (P_3 - p_3)$ pour déterminer la possibilité de la composition de l'écluse.

b) Cas d'une écluse de 12 m + redan de 80 m x 7 m

Une fois placés les bateaux de 12 m, on peut remarquer que les bateaux de 7 m peuvent être placés sur deux lignes de longueur L_1 et L_2 comprenant éventuellement des bateaux de 5 m, une troisième ligne L_3 étant disponible pour les bateaux de 5 m.

On peut dire que la possibilité de la composition de l'éclusee peut être testée par l'obtention de la solution du programme linéaire minimisant la place perdue sur les deux lignes L_1 et L_2 en plaçant tous les bateaux de 7 m et la plus grande longueur possible de 5 m.

Si ce programme n'admet pas de solution, la composition de l'éclusee n'est pas possible. Si les bateaux de 5 m restants ne tiennent pas sur L_3 , il en est de même. La formulation du programme linéaire est la suivante, le deuxième indice des variables permettant de distinguer si les bateaux sont affectés à la ligne L_1 ou à la ligne L_2 .

$$\text{Min } \Delta L_1 + \Delta L_2$$

$$\Delta L_1 = L_1 - (40 p_{11} + 60 p_{21} + 80 p_{31} + 40 q_{11} + 60 q_{21})$$

$$\Delta L_2 = L_2 - (40 p_{12} + 60 p_{22} + 80 p_{32} + 40 q_{12} + 60 q_{22})$$

$$p_{11} + p_{12} \leq P_1$$

$$p_{21} + p_{22} \leq P_2$$

$$p_{31} + p_{32} \leq P_3$$

$$q_{11} + q_{12} = Q_1$$

$$q_{21} + q_{22} = Q_2$$

$$\Delta L_1, \Delta L_2, p_{11}, p_{12}, p_{21}, p_{22}, p_{31}, p_{32}, q_{11}, q_{12}, q_{21}, q_{22} \geq 0$$

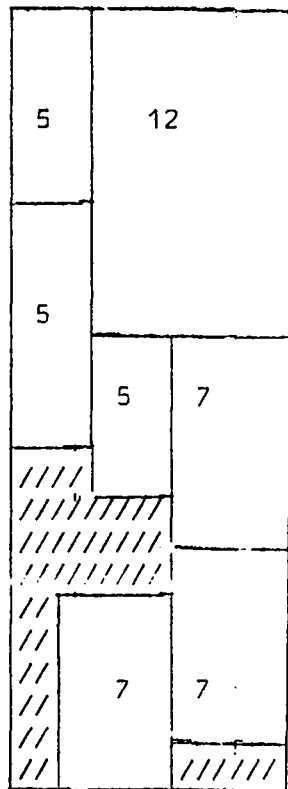
Afin d'éviter la résolution de ce programme linéaire, on peut utiliser la méthode suivante ne permettant pas d'atteindre systématiquement l'optimum.

On place d'abord les bateaux de 7 m sur L_1 et L_2 en minimisant ΔL_1 en essayant toutes les combinaisons possibles (en s'arrêtant éventuellement sur $\Delta L_1 = 0$). On place alors les bateaux de 5 m sur les trois lignes éventuellement disponibles L'_1, L'_2, L_3 .

Pour cela on commence par placer les bateaux sur L'_1 en essayant les diverses combinaisons possibles afin de trouver $\Delta L'_1$ minimum, en s'arrêtant éventuellement dès que $\Delta L'_1 = 0$. Puis on recommence la même opération sur L'_2 vis-à-vis des bateaux pouvant rester, enfin on vérifie que les bateaux non encore placés tiennent sur L_3 .

c) Cas d'une écluse de 17 m

AVANT



Une fois placés les bateaux de 12 m, une politique optimale consiste à placer les bateaux de 7 m sur une seule file à droite afin de conserver la continuité du couloir de 5 m de gauche sur la plus grande longueur possible. Si les bateaux de 7 m ne tiennent pas sur une seule file, la deuxième file de 7 doit être constituée à partir de l'arrière de l'écluse pour la même raison.

Il reste alors à placer les bateaux de 5 m sur une, deux ou trois lignes et l'on est ramené au problème précédent.

Fig. 1 : Placement des bateaux dans une écluse de 17 m.

ARRIERE

On pourrait obtenir la réponse à la possibilité de la composition de l'éclusée par la résolution d'un programme linéaire de même nature que celui formulé dans le cas de l'écluse de 12 m plus un redan.

Afin d'éviter cette résolution, on peut procéder de la façon suivante : tout d'abord, placer les bateaux de 7 m sur la ligne de droite et si la ligne n'est pas saturée, placer les bateaux de 5 m sur les trois lignes disponibles de la gauche vers la droite, e en minimisant la place perdue sur la première ligne, puis sur la seconde.

Dans le cas où les bateaux de 7 m ne tiennent pas tous sur la ligne de droite, il y a lieu dans un premier temps de minimiser la place perdue sur la ligne de droite, puis de vérifier la possibilité de placer les bateaux de 7 m restant sur une deuxième ligne.

Enfin on place les bateaux de 5 m sur la file de gauche et l'on vérifie la possibilité de placer les bateaux de 5 m restant sur la partie non occupée de la file centrale.

V.3.3. Organisation du traitement

Pour un type d'écluse donné on affecte successivement les bateaux de 12 m, de 7 m puis de 5 m en les plaçant sur les diverses lignes possibles conformément à ce qui vient d'être dit. Ceci est rendu possible par la constitution d'un tableau d'affectation permettant de tenir à jour les longueurs utilisables sur les diverses files.

a) Définition des variables utilisées

A F E C T (I,J,K) Tableau à 3x3x3 éléments permettant de déterminer l'affectation des bateaux en fonction :

- du type I de l'écluse I = 1 12 m
- 2 12 m + redan
- 3 17 m

- de la largeur J du

bateau	J = 1	12 m
	2	7 m
	3	5 m

Cette affectation intéresse une ou plusieurs files LOC (K) avec AFECT (I,J,K) = M où M représente les priorités d'affectation décroissante (1, 2, 3) sur files LOC (K). Dans le cas où le bateau ne peut être affecté à LOC (K), on a AFECT (I,J,K) = 0.

B A T (J,LL)

Tableau à 3x3 éléments définissant le nombre de bateaux de la bassinée tentée en fonction de :

- J lié à la largeur	J = 1	12 m
	2	7 m
	3	5 m

- LL permettant, utilisé avec J, de retrouver la longueur de bateau par exploitation du tableau L (J,LL).

B A T (J,LL) indique toujours le nombre de bateaux non encore placés.

L (J,LL)

Tableau à 3x3 éléments permettant d'associer à tout bateau définit par J et LL sa longueur

L O C (K)

Liste à 3 éléments dans laquelle sont initialement placées les longueurs des deux ou trois files de bateaux considérées.

L'affectation des bateaux donne lieu à une diminution des longueurs rangées dans LOC (K) conformément aux indications figurant dans le tableau AFECT.

- L T O T Longueur maximum possible des bateaux du type J pouvant être placés sur une seule ligne.
- S Aire représentée par l'ensemble des bateaux figurant dans la bassinée tentée.
- S max Aire au-dessus de laquelle on admet sans aucun essai que la composition de la bassinée est impossible.
- S min Aire en-dessous de laquelle on admet que la composition de la bassinée serait systématiquement possible.

b) Affectations définies par le tableau A F E C T

Largeur de l'écluse	K	1	2	3
	I	(5m, 7m)	(5m, 7m)	(5m)
12m	1	0	1	1
12m + redan	2	0	1	1
17m	3	1	1	0

J = 1

(Bateaux de 12 m)

Largeur de l'écluse		K	1	2	3
	I		(5m, 7m)	(5m, 7m)	(5m)
	12m	1	0	1	0
	12m + redan	2	2	1	0
17m	3	1	2	2	

J = 2 (Bateaux de 7 m)

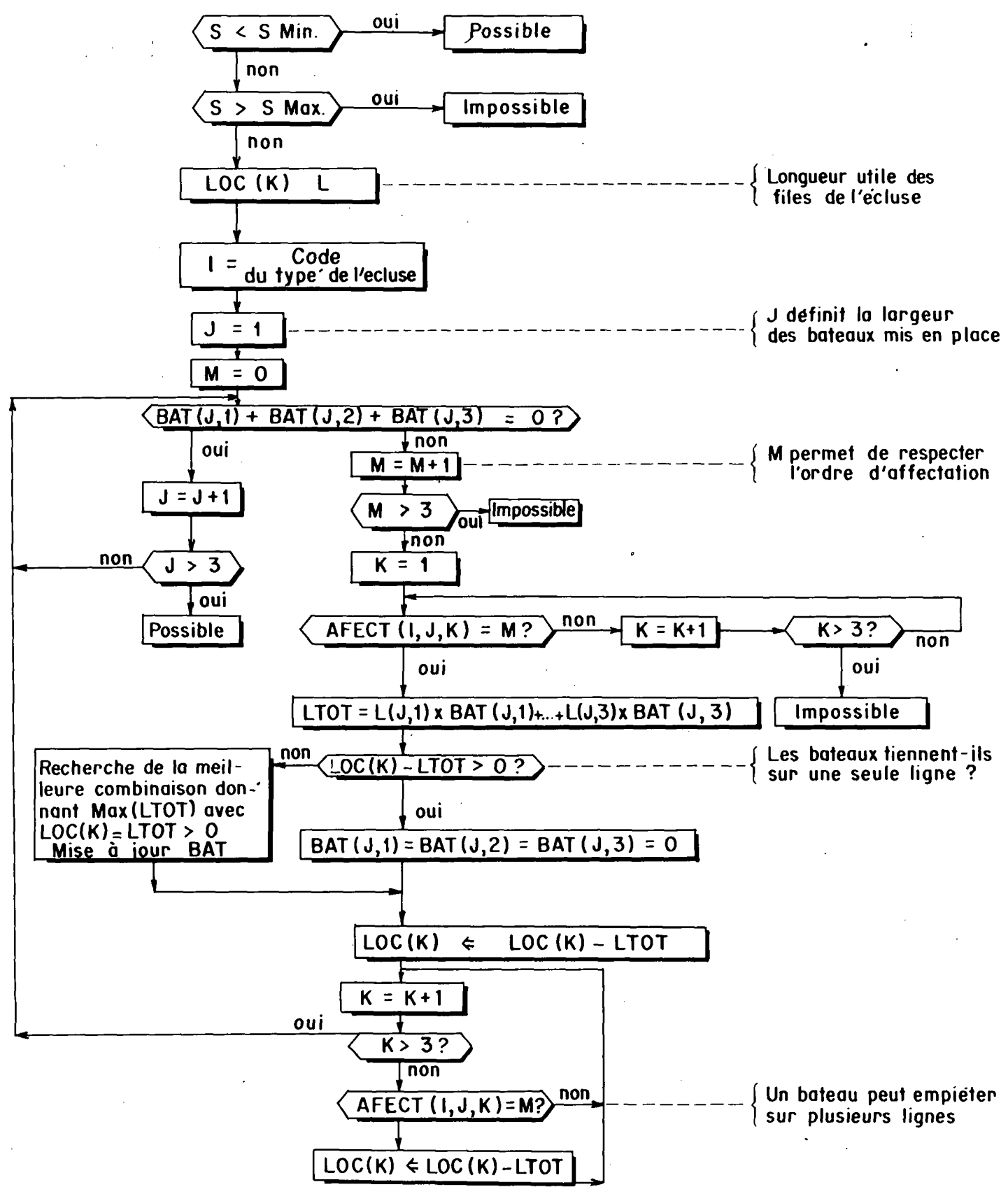
Largeur de l'écluse		K	1	2	3
	I		(5m, 7m)	(5m, 7m)	(5m)
	12m	1	0	2	1
	12m + redan	2	3	2	1
17m	3	3	2	1	

J = 3 (Bateaux de 5 m)

c) Données figurant dans le tableau L (J,LL)

Largeur des bateaux		LL	1	2	3
	J				
	12 m	1	100	140	160
	7m	2	40	60	0
5m	3	40	60	80	

Fig: II - ORGANIGRAMME DE LA COMPOSITION DES BASSINEES



V.4. Ordre du traitement de chaque groupe d'écluses

L'ordre dans lequel chaque groupe d'écluses est pris en considération, doit permettre de minimiser le nombre de transferts d'un groupe à un autre groupe, ou, ce qui revient au même, de maximiser les tranches de temps de simulation allouées à chaque groupe d'écluses.

Cet objectif permet de limiter le nombre des opérations d'entrées/sorties pouvant être nécessaires à la récupération des variables d'états, des listes représentant les diverses files d'attente associées à chaque écluse, etc ... qu'il est impossible de ranger simultanément dans la mémoire rapide.

Définissons les paramètres nécessaires à la détermination de l'ordre du traitement :

t_i sera la date de l'évènement courant E_i survenant au groupe d'écluses G_i .

$T_{i+1, i}$; $T_{i-1, i}$ seront les temps minima pris par un bateau partant respectivement des groupes d'écluses G_{i+1} et G_{i-1} pour atteindre un point d'information du groupe G_i .

Ces temps se calculent immédiatement à partir de la longueur des biefs et des vitesses des bateaux les plus rapides.

τ_i sera la date de la fin de la dernière tranche de simulation relative au groupe G_i .

On rappelle alors, ainsi qu'il a été montré au chapitre IV qu'il est possible de traiter les bateaux présents dans FAPI, c'est à dire de les verser dans FAPAPE ou FAPAGE, indépendamment du trafic existant aux autres groupes tant que les deux inégalités suivantes sont satisfaites :

$$t_i < \tau_{i+1} + T_{i+1, i} \quad (1)$$

$$t_i < \tau_{i-1} + T_{i-1, i} \quad (2)$$

Ces deux inégalités se réduisant éventuellement à une lorsque i prend les valeurs 1 ou 5.

En effet, les dates des évènements survenant au groupe G sont les seuls éléments qui déterminent le traitement des bateaux placés dans FAPI. Il suffit donc d'effectuer un test sur la date de l'évènement suivant à traiter pour connaître la possibilité de poursuivre la simulation sur le même groupe d'écluses.

On peut noter que la table d'évènements ne sera jamais vide, car, ainsi que dans le cas des écluses de Carrières, il sera toujours possible d'avoir au minimum quatre bateaux dans chaque liste FAPI aval et amont provenant des sources adjacentes aux groupes, donc de prévoir un certain nombre d'évènements futurs à traiter.

Enfin les deux inégalités précédentes peuvent être exploitées plus finement en ne testant que celle correspondant au parcours du bief aval s'il s'agit de faire progresser des bateaux arrivés du côté aval, celle correspondant au parcours du bief amont pour les bateaux placés en amont.

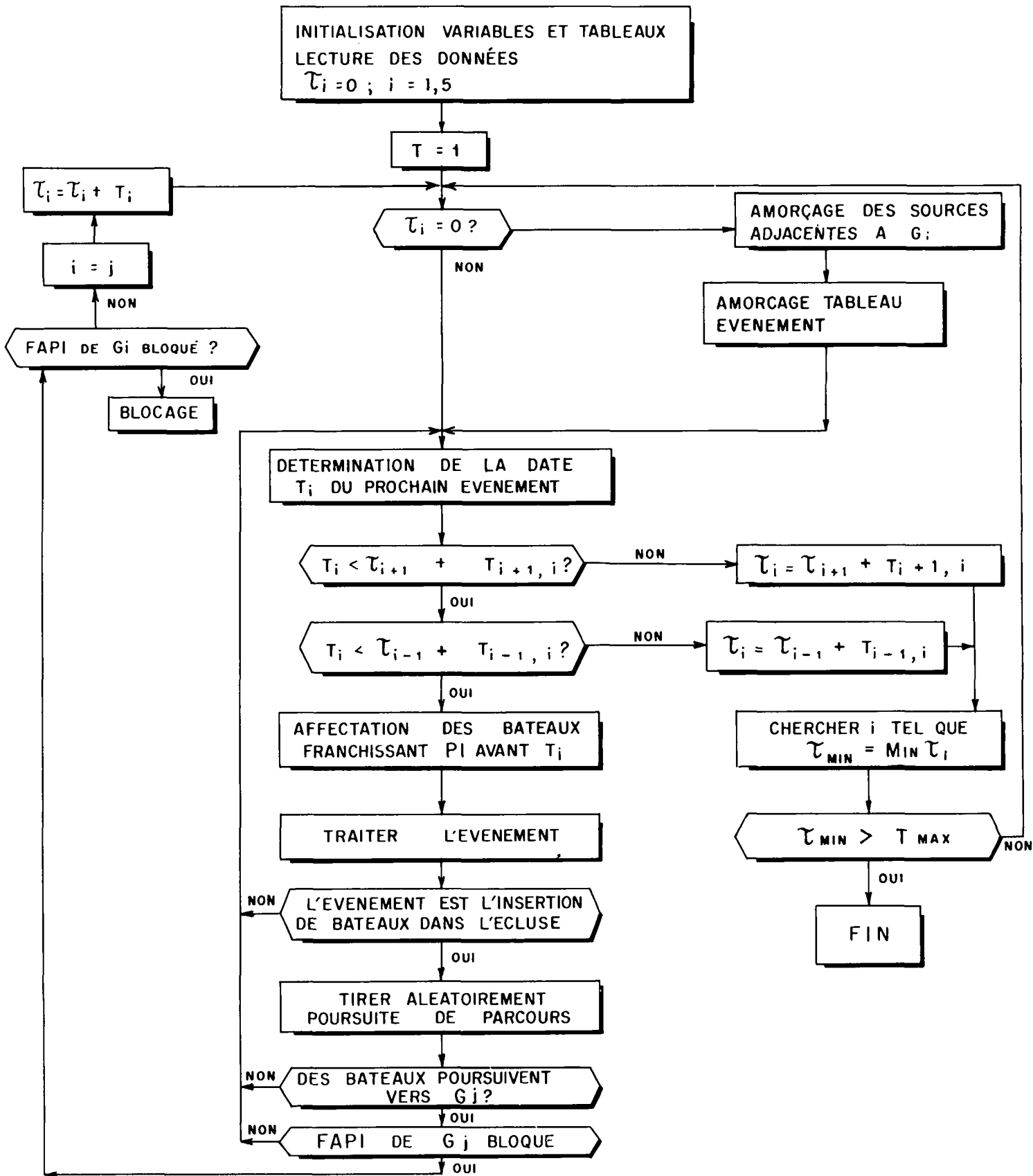
La première inégalité non vérifiée entraîne un transfert sur la simulation à un autre groupe.

τ_i prend alors les valeurs :

$$\begin{aligned} \tau_i &= \tau_{i+1} + T_{i+1, i} && \text{si (1) n'est pas vérifié} \\ \tau_i &= \tau_{i-1} + T_{i-1, i} && \text{si (2) n'est pas vérifié} \end{aligned}$$

La simulation est transférée au groupe d'écluses dont le τ_i est le plus petit, donc pour lequel la simulation est la plus en retard. L'arrêt de la simulation pourra s'effectuer lorsque tous les τ_i seront supérieurs au temps maximum simulé (T MAX).

Fig. III - ORGANIGRAMME GENERAL DE LA SIMULATION



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. P.C. GILMORE and R.E. GOMORY, "A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem", Operations Research 9, p. 849-859 (1961).
2. P.C. GILMORE and R.E. GOMORY, "A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem", Operations Research 11, p. 863-888 (1963).
3. P.F. REITH "The Trim Problem". Etude présentée par IBM à Amsterdam.
4. P.C. GILMORE and R.E. GOMORY, "Multistage Cutting Stock Problems of two and more Dimensions". Operations Research, 13 ; p. 94-120 (1965).

CHAPITRE VI

MODELE DE SIMULATION : APPLICATIONS

VI.1. Programmes

L'analyse de la structure du modèle présentée aux chapitres IV et V a servi de base à l'établissement d'une série de programmes écrits en FORTRAN 1130, destinés à effectuer les simulations sur calculateur électronique IBM 1130 (caractéristiques minimum : 8 K - 1 disque).

Nom des programmes	Objet
LECT	1. Lecture des données : <ul style="list-style-type: none"> - Données générales : nombre d'écluses, durée de la simulation ... etc - Lois d'arrivée - Répartition des bateaux par type - Dimensions des écluses et des bateaux 2. Initialisation de toutes les variables et 1er remplissage des listes d'arrivée FAVI
ECLUS	Programme central de traitement de la simulation (§ IV.3.)
BAS	Composition des bassinées (§ V.3.)
ERROR	1. Edition de messages : Saturation des listes d'arrivée ou de files d'attente 2. Récapitulation, calcul de statistiques, édition et perforation sur cartes des résultats

VI.2. Exploitation du modèle

Une première application a été réalisée sur le groupe d'écluses de Carrières s/s Poissy puis sur l'écluse d'Andrésy : 36 simulations représentant chacune 6 heures de fonctionnement des écluses ont permis de vérifier la validité du modèle. Outre une reproduction fidèle des conditions actuelles d'exploitation, constatée grâce à la possibilité d'éditer des messages au cours de la simulation (Arrivée d'un bateau, Bateau placé en attente, Ouverture des portes d'une écluse, Bateaux éclusés), le modèle a permis de retrouver les valeurs moyennes des temps de franchissement observés dans la réalité avec les trafics actuels.

Temps moyens de franchissement des écluses (en minutes)

	Carrières s/s Poissy		Andrésy	
	Modèle de simulation	Mesures par enquête	Modèle de simulation	Mesures par enquête
Automoteurs de canal	21	19	26	25
Automoteurs de canal + 1 barge	20	25	21	26
Automoteurs de Seine	22	23	27	28
Automoteurs de Seine + 1 barge	21	25	28	24
Caboteurs	4*	11	19*	27
Pousseurs	10*	19	30	34

* Les valeurs marquées d'un astérisque correspondent à des trafics moyens faibles sur lesquels les mesures sont peu précises.

Grâce à l'emploi de la notion d'évènement (§ IV.2.3.) les programmes sont d'ores et déjà performants : 6 heures de fonctionnement réel du groupe d'écluses de Carrières sont simulées en 10 secondes environ de calcul sur un ordinateur IBM 1130 (édition de messages et chargement de programmes exceptés), soit un rapport $\frac{\text{temps de simulation}}{\text{temps réel}} \approx \frac{1}{2\ 000}$

VI.3. Applications pratiques

Une fois le modèle mis au point, il a été utilisé dans une première série d'applications, suivant l'objectif fixé au début de ce rapport, à l'étude des relations entre temps de franchissement des écluses et trafics pour divers groupes d'écluses.

Les résultats suivants sont donnés pour le groupe de Carrières s/s Poissy :

On a réalisé 315 simulations de 6 heures réelles avec des valeurs variables des trafics. Pour chacune d'elles ont été déterminés le temps moyen de franchissement t_i et le nombre moyen d'arrivées par heure Q_i de chaque catégorie de bateaux, variables dont on a pu dès lors étudier la corrélation au moyen d'analyses de régression linéaire sous la forme :

$$t_i = t_{i0} + \sum_j a_{ij} Q_j$$

Ainsi, $a_{ij} = \frac{\delta t_i}{\delta Q_j}$ représente l'augmentation du temps moyen de franchissement des bateaux de la catégorie i lorsque le trafic de la catégorie j s'accroît d'une unité par unité de temps (ici 1 bateau / heure). Les coefficients a_{ij} et l'erreur sur chacun d'eux sont rassemblés dans le tableau 6 ci-après.

TABLEAU 6

Accroissement du temps moyen de franchissement
du groupe d'écluses pour chaque catégorie de bateaux mentionnée en lignes
du à l'augmentation d'une unité du débit horaire de chaque catégorie de
bateaux mentionnée en colonne unité : minute

Catégorie de bateaux concernée	Unité supplémentaire de la catégorie		plus de 100m x 12m		A M C 40 x 5		A M S 80 x 5		A M C 40 x 7		CABOTEURS 40 x 7		A M S 60 x 7	
	coefficient	erreur sur le coefficient	coefficient	erreur sur le coefficient	coefficient	erreur sur le coefficient	coefficient	erreur sur le coefficient	coefficient	erreur sur le coefficient	coefficient	erreur sur le coefficient	coefficient	erreur sur le coefficient
Pousseurs et Automoteurs plus de 100 m x 12 m	29,32	9,93	1,07*	1,62	7,92*	11,68	10,77	4,10	15,36*	19,86	15,82	8,52		
Automoteurs de Canal (AMC) de 40 m x 5 m	8,29	4,42	4,38	0,86	3,52	2,32	5,86	2,96	26,69	14,77	8,80	4,46		
Automoteurs de Canal (AMC) de 80 m x 5 m	9,01	7,21	2,90	1,73	10,01	12,41	9,31	4,36	15,84*	24,14	19,19	7,29		
Automoteurs de Seine (AMS) de 40 m x 7 m	2,62*	7,82	6,62	1,86	6,50*	4,20	17,49	5,36	22,01*	26,15	7,00	5,32		
Caboteurs de 40 m x 7 m	10,14	7,03	1,58*	1,76	9,39	3,39	16,08	6,06	62,87	14,04	4,74	1,99		
Automoteurs de Seine (AMS) de 60 m x 7 m	41,70	7,27	7,70	2,64	12,81	7,13	15,62	4,39	34,61	24,30	16,01	7,34		

Les valeurs obtenues pour certains coefficients, en particulier ceux qui sont soulignés d'un astérisque, appellent deux remarques :

- Compte tenu des trafics moyens, on n'obtient aucune arrivée de bateau de certaines catégories (convois poussés de 140 x 12, caboteurs) dans un très grand nombre d'observations. L'indétermination sur les coefficients de régression correspondants est nécessairement élevée.
- Les variations du nombre de bateaux arrivés autour de la moyenne sont relativement importantes. Or l'approximation par des relations linéaires n'est valable qu'au voisinage d'une situation moyenne. Il conviendrait donc éventuellement de rechercher des relations sous une forme non linéaire des trafics lorsque ceux-ci varient de façon importante.

VI.4. Conclusions

Partant du cas simple d'un groupe particulier de deux écluses, on a pu étendre le modèle au cas d'un groupe d'écluses quelconque.

Dans sa version la plus générale, le modèle permet de représenter, par le jeu d'un certain nombre de paramètres une voie navigable de caractéristiques données, et la navigation sur cette voie.

Une fois mis au point cet outil, les applications qu'il est possible d'envisager sont multiples :

- Etudes à court terme : études d'exploitation, règles de fonctionnement des écluses, priorités, répartition des bateaux entre les écluses, composition des éclusées, régulation souple ou stricte de la navigation, étude des pertes économiques dues aux défauts de capacité de l'infrastructure ... etc.

- Etudes à moyen terme : normalisation des dimensions des bateaux et des écluses, études de capacité pratique, rentabilité d'investissements ... etc.

Outre ces applications immédiates, l'élaboration d'un tel modèle laisse entrevoir la possibilité d'un système d'information et de régulation permettant l'exploitation en temps réel de l'ensemble d'un réseau de Navigation Intérieure. Considérant les rapides progrès de l'Informatique et des techniques des calculateurs, et l'évolution récente de la Navigation Intérieure en France, c'est là une hypothèse à envisager dans un avenir relativement rapproché.