

BERNARD PEIRON

**Dimensionnement d'un parc de véhicules de
transport opérant entre deux points**

Revue française d'automatique, informatique, recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle, tome 6, n° V2 (1972), p. 21-32

<http://www.numdam.org/item?id=RO_1972__6_2_21_0>

© AFCET, 1972, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Revue française d'automatique, informatique, recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

DIMENSIONNEMENT D'UN PARC DE VEHICULES DE TRANSPORT OPERANT ENTRE DEUX POINTS

par Bernard PEIRON⁽¹⁾

Résumé. — *L'objectif de ce modèle est la détermination du nombre minimum de véhicules à mettre en circulation entre deux points. Les trajets ont pour but de transporter le fret entre l'aérogare passagers et la gare de fret après chaque arrivée, ou inversement avant chaque départ. Un trajet peut être effectué soit avec un camion soit avec une remorque tractée. Dans ce second cas deux parcs non indépendants sont à gérer : tracteurs et remorques. Des algorithmes optimaux tels que « l'out of kilter » ou « la maximisation de couplage » peuvent résoudre ce problème, mais ils ne prennent pas en compte l'ensemble de nos objectifs : minimisation d'une fonction économique et affectation des tâches aux véhicules. C'est pourquoi nous avons retenu une approche heuristique fondée sur la règle premier arrivé-premier parti.*

1. INTRODUCTION

Le problème à résoudre est le choix des types et du nombre de véhicules à mettre en circulation entre la gare fret et l'aérogare passagers de Roissy I. Deux solutions sont en compétition. Le Fret arrivant sur des vols mixtes passagers-fret et sur des avions Cargo serait transporté soit sur des camions, soit sur des remorques tirées par un tracteur. Notons que pour certaines raisons techniques le mixage de ces deux types de véhicules n'est pas envisageable. Le modèle présenté ici permet d'évaluer les bilans économiques des deux solutions en tenant compte du nombre de véhicules devant constituer le parc, du kilométrage parcouru et de la charge en effectifs. Notons que ce modèle peut également fournir les rotations de chaque véhicule. A partir de la courbe de charge en effectifs, un autre modèle constitue les tours de service à donner aux chauffeurs.

(1) Département recherche opérationnelle d'Air France.

2. UTILISATION DES VEHICULES

Chaque mouvement avion du programme d'exploitation d'une semaine type de l'année étudiée réclame l'immobilisation d'un ou plusieurs véhicules pour assurer le chargement (ou le déchargement) du fret à embarquer (à débarquer), immobilisation que nous appellerons tâche dont les dates de début et de fin sont fixées pour ne pas faire attendre les transferts de fret.

Dans une première partie, le modèle définit, à partir du programme des vols et des normes relatives à l'utilisation du parc, l'ensemble de tâches que doivent accomplir les véhicules.

2.1. Durée des tâches

Chaque tâche est composée d'une suite de temps élémentaires représentant les différentes étapes regroupées sur le tableau suivant :

axe du temps ↓	Solution camion	Solution remorque + tracteur
	<div> <div>chargement du camion en gare fret</div> <div>T_1</div> </div>	<div> <div>chargement de la remorque en gare fret</div> <div>t_1</div> </div> <div> <div>attelage du tracteur à la remorque</div> <div>t'_1</div> </div>
	<div> <div>trajet entre la gare fret et la gare pas- sager</div> <div>T_2</div> </div>	<div> <div>trajet entre la gare fret et la gare pas- sager</div> <div>t_2</div> </div>
	<div> <div>marge de sécurité</div> <div>T_3</div> </div>	<div> <div>t_3 marge de sécurité</div> <div>dételage du tracteur</div> <div>t'_3</div> </div>
	<div> <div>déchargement en gare passager</div> <div>T_4</div> </div>	<div> <div>déchargement en gare passager</div> <div>t_4</div> </div>

Pour un départ

la durée d'une tâche camion est $T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$

la durée d'une tâche remorque est $t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$

la durée d'une tâche tracteur est $t' = t'_1 + t'_2 + t'_3$,

on définit de même la durée des tâches de chaque type de véhicules pour le déchargement d'un avion à l'arrivée.

Notons que ce modèle n'introduit aucun aléa sur les différents temps élémentaires. La marge de sécurité a été introduite pour neutraliser les aléas éventuels; la valeur qui lui a été donnée est une valeur moyenne.

2.2. Échelonnement des tâches dans le temps

Soit i le type de mouvement étudié. La valeur 1 sera donnée pour les départs, la valeur 2 pour les arrivées,

soit j le type de l'avion dont on étudie le mouvement.

N_{ij} représentera le nombre de camions à mettre en place pour le mouvement i d'un avion j .

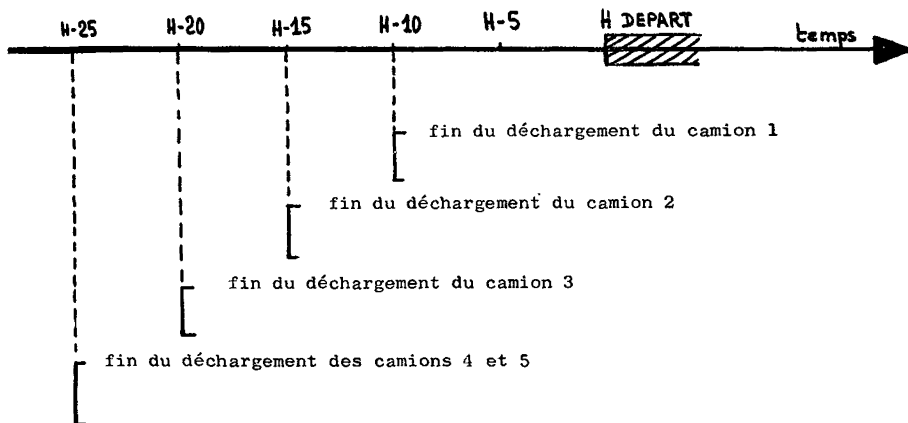
Nous appellerons

T_{1jk} le temps séparant la fin du déchargement du k ième camion et le départ de l'avion

et

T_{2jk} le temps séparant l'arrivée de l'avion et le début du chargement du k ième camion

Exemple : départ ($i = 1$) d'un B747.



donc $T_{1j1} = 10$, $T_{1j2} = 15$, $T_{1j3} = 20$, $T_{1j4} = T_{1j5} = 25$.

2.3. Définition exacte des tâches

Les données fournies dans les deux paragraphes précédents (2.1 et 2.2) permettent d'obtenir l'ensemble des tâches que doivent assurer les véhicules :

- départ d'un avion de type j : tâche du k ème camion
 heure début de la tâche camion = $HDEB = HD - T_{ijk} - T$
 heure de fin de la tâche camion = $HFIN = HD - T_{ijk}$
- départ d'un avion de type j : tâche de la k ème remorque et du k ème tracteur
 heure début de la tâche remorque = $HDR = HD - T_{ijk} - t$
 heure de fin de la tâche remorque = $HFR = HD - T_{ijk}$
 heure début de la tâche tracteur $HDT = HDR + (t_1 - t'_1)$
 heure de fin de la tâche tracteur $HFT = HFR - t_4 - (t_3 - t'_3)$
 valeurs $T, t, t_1, t'_1, t_3, t'_3, t_4$ définies en 2.2.1.

3. DETERMINATION DU NOMBRE DE VÉHICULES

3.1. Introduction

Nous obtenons donc un ensemble de tâches et recherchons le nombre de véhicules nécessaires pour les réaliser. Le fait que les véhicules circulent entre deux gares ne nous permet pas de raisonner en cumulant leurs tâches par tranche, et en déterminant le nombre de véhicules à partir du niveau maximum. Il est nécessaire de réaliser les accrochages entre tâches. Il est de plus possible de faire revenir un véhicule d'une gare à l'autre sans chargement pour accomplir une nouvelle tâche. Ce trajet sera appelé mise en place ou retour à vide. Dans la recherche de la tâche à accrocher à une tâche A, il faudra choisir entre les deux possibilités suivantes : soit laisser le camion en attente dans la gare où il se trouve, soit le faire rentrer à vide pour lui demander d'assurer une tâche partant de l'autre gare.

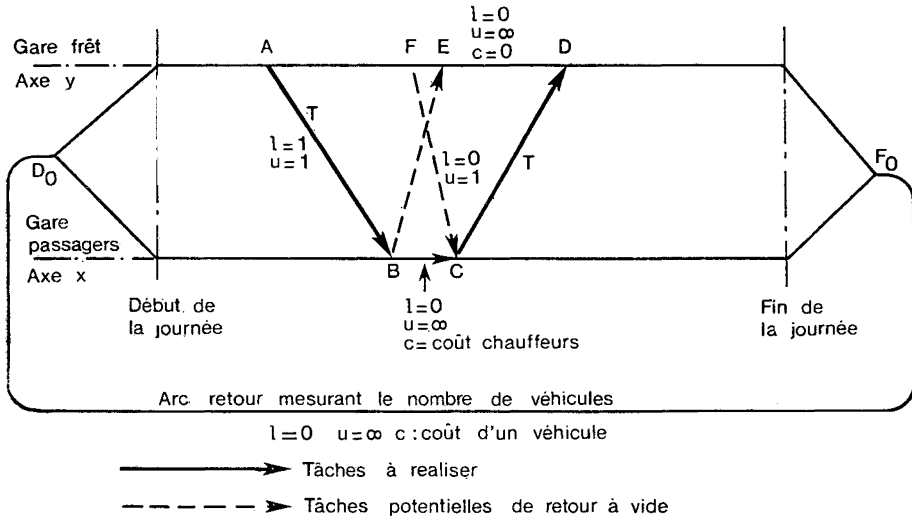
Signalons l'article de P. GORDON « sur un problème de tournées » (Gestion et Méthodes Mathématiques, revue *Gestion*, fév. 1967, pp. 69-79), où il est montré que le problème est résolu en déterminant une dissection minimale du graphe dont les sommets représentent les tâches à accomplir et dont les arcs figurent les accrochages admissibles. La recherche d'une dissection minimale se ramène elle-même à la résolution d'un problème de couplage maximal.

Dans une première partie (paragraphe 3.2) sera exposé l'algorithme out of kilter permettant de résoudre optimalement ce problème. La méthode retenue, compte tenu du problème à résoudre dans l'option 2 (tracteurs + remorques) où nous aurons à gérer deux parcs non indépendants, sera exposée au paragraphe 3.3.

3.2. Algorithme out-of-kilter

Cet algorithme permet de trouver le flot optimum sur un graphe dont les arcs représentent les tâches à accomplir.

Dans le problème posé, le graphe est décrit de la façon suivante :



Une tâche T à accomplir entre la gare fret et la gare passagers sera représentée par l'arc AB dont l'origine se trouve au point A de l'axe y (axe de la gare fret) ayant pour abscisse l'heure de début de la tâche, et dont l'extrémité se trouve au point B de l'axe x (axe de la gare passagers) ayant pour abscisse l'heure de fin de la tâche.

Le véhicule peut alors soit attendre pour être accroché à une tâche T' entre la gare passagers et la gare fret représentée par l'arc CD , attente représentée par l'arc BC , soit rentrer à vide à la gare fret (*base principale*), tâche BE représentée en pointillés car non obligatoire, et attendre en gare fret.

La tâche T' peut être exécutée soit par un véhicule attendant en gare passagers, soit par un véhicule mis en place de la gare fret, tâche représentée par FC , en pointillés car non obligatoire.

Le graphe est constitué de l'ensemble des arcs AB , CD obligatoires, de leurs arcs respectifs non obligatoires BE , FC , de l'ensemble des arcs joignant deux points successifs des axes x et y (par exemple sur le dessin D_0B , BC , CF_0 pour l'axe x ; D_0A , AF , FE , ED , DF_0 pour l'axe y), et de l'arc retour F_0D_0 .

Les tâches du type AB ou CD sont obligatoires. Elles doivent donc être parcourues par un flux d'une unité, donc un flux minimal : l et un flux maximal : u , d'une unité ($l = u = 1$). Le coût associé c est celui d'un trajet de transport.

Les tâches du type *FC* ou *BE* ne sont pas obligatoires. Elles doivent donc être parcourues par un flux nul ou égal à 1, donc $l = 0$, $u = 1$. Le coût associé c est celui d'un retour à vide.

Les tâches du type *BC* sur l'axe représentant la gare passagers seront parcourues par un flux positif ou nul représentant le nombre de véhicules en attente à la gare passagers. Donc $l = 0$, $u = \infty$. Le coût associé est celui de l'attente des chauffeurs. Ceux-ci sont en effet immobilisés puisque la relève ne peut se faire qu'à la base principale (gare fret).

Les tâches du type *AF*, *FE* ..., sur l'axe y sont parcourues par un flux ≥ 0 , mais le coût associé sera nul puisque la gare fret est celle où se fait la relève. Si l'on suppose avoir déterminé optimalement les horaires, aucun chauffeur ne devrait être en attente à la gare fret. Donc $l = 0$, $u = \infty$, $c = 0$.

L'arc retour est parcouru par un flux représentant le nombre de véhicules. Le coût associé c sera donc celui d'un véhicule. $l = 0$, $u = \infty$ (rappelons $l = \text{flux minimal}$, $u = \text{flux maximal}$).

L'algorithme détermine optimalement le flux devant passer dans chaque arc, compte tenu des contraintes de flux minimum et maximum de chaque arc, en minimisant la fonction de coût généralisée.

3.3. L'algorithme retenu repose sur la règle du premier arrivé — premier parti. Les remarques du paragraphe 3.1 nous obligent cependant à y apporter certaines modifications que nous allons exposer et reposant sur les deux principes suivants :

— une tâche *A* ne sera accrochée sur une tâche *B* partant de la même gare que si la tâche *B* ne peut être accrochée sur aucune tâche *C* arrivant après *A* et se terminant dans la même gare.

— une tâche *A* ne sera accrochée sur une tâche *B* avec un transfert à vide que si la tâche *B* ne peut être accrochée sur aucune tâche *C* encore inaffectée se terminant dans la même gare que *B*.

3.4. Définitions

Chaque tâche est repérée par 7 indicateurs : son origine, sa destination, son heure de départ, son heure d'arrivée, son numéro, le numéro de la tâche qui la précède (NACPRE) et le numéro de la tâche qui la suit (NACSUI). Une tâche dont le NACPRE est nul n'a pas de prédécesseur, de même si son NACSUI est nul elle n'a pas de successeur. Une tâche en début de chaîne aura un NACPRE égal à 9999. Une tâche en fin de chaîne aura un NACSUI égal à 9999.

3.5. Algorithme

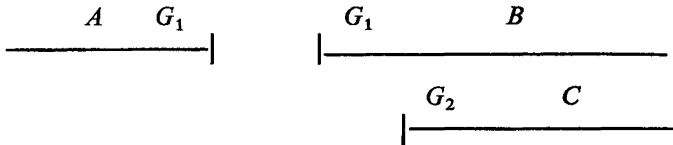
— rechercher la première fin de tâche qui n'a pas de successeur (donc le NACSUI est nul);

— si cette tâche n'a pas de prédécesseur (donc NACPRES nul), elle sera début de chaîne. On égalera son NACPRES à 9999; soit *A* cette tâche;

— rechercher la première tâche *B* pouvant succéder à *A* et partant de la même gare que *A*, et la première tâche *C* pouvant succéder à *A* et dont le départ a lieu dans l'autre gare.

Les deux cas suivants (351 et 352) sont possibles.

3.5.1. Cas n° 1

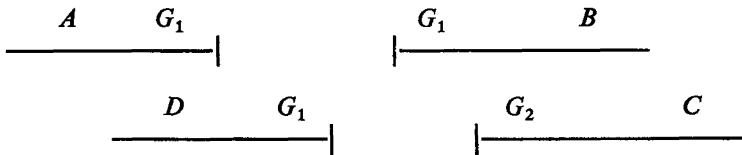


La règle FIFO (premier arrivé — premier parti) donnerait l'accrochage *A-B*.

La première modification énoncée en 3.3 indique que cet accrochage ne sera réalisé que si aucune tâche *D* arrivant en *G1* et postérieure à *A* ne peut être accrochée sur *B*. Si plusieurs tâches sont de type *D*, on retiendra la plus proche de *B*.

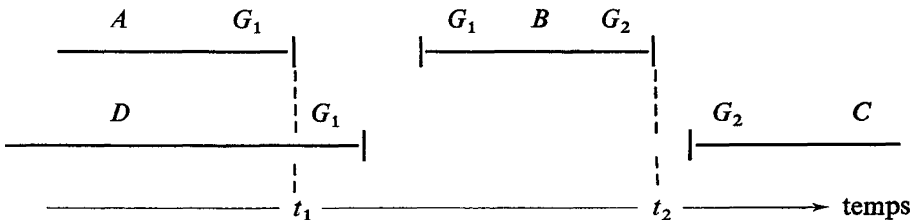
justification

si nous sommes dans le cas suivant,



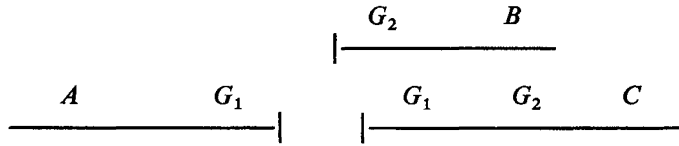
où le retour à vide entre *D* et *C* n'est pas possible par faute de temps. Accrocher *A* et *B* oblige à avoir 3 véhicules. Par contre, si on accroche *D* et *B* on se réserve toujours la possibilité de réaliser un retour à vide entre *A* et *C*.

Si d'autre part, nous trouvons le cas suivant :



Accrocher *A* et *B* oblige à avoir 2 chauffeurs jusqu'à l'instant t_2 alors qu'en accrochant *D* et *B* la présence de deux chauffeurs n'est nécessaire que jusqu'à l'instant t_1 .

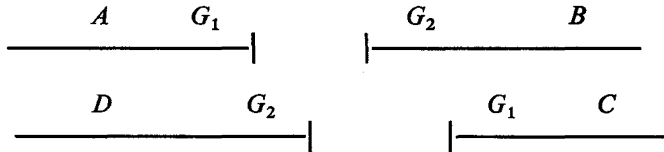
3.5.2. Cas n° 2



Doit-on effectuer l'accrochage $A-B$ avec un retour à vide ou réaliser l'accrochage $A-C$ en laissant le véhicule plus longuement inoccupé.

La deuxième modification énoncée en 3.3 indique que cet accrochage ne sera réalisé que si aucune tâche D arrivant en G_2 et postérieure à A ne peut être accrochée sur B . Si plusieurs tâches sont de type D , on retiendra la plus proche de B .

Justification si nous sommes dans le cas suivant



Sachant que D ne peut être accroché à C , accrocher A et B demanderait 3 véhicules. Si, par contre il n'existe pas de tâche D , nous sommes obligés, soit de mettre en circulation un véhicule supplémentaire soit d'effectuer un retour à vide vers B . Nous réaliserons donc l'accrochage $A-B$.

De plus, on retrouve le même problème que dans 3.5.1. pour les chauffeurs.

3.5.3. Si aucune tâche ne succède à la tâche A , nous serons en fin de chaîne. Le NACSUI de la tâche A sera, par convention, égal à 9999.

4. RESULTATS DU MODELE

4.1. Le modèle fournit le nombre de véhicules à mettre en circulation, le nombre de tâches et de mises en place, donc le kilométrage parcouru par les véhicules. Il fournit, d'autre part, par tranche de 5 minutes la charge en effectifs.

Pour obtenir cette charge, deux hypothèses ont été retenues. La gare de fret est la base principale du parc, c'est-à-dire que le soir, tous les camions rentrent à cette base, et que d'autre part, un chauffeur en attente à la gare passager est considéré comme en activité. De plus, tout chauffeur dont l'attente à la gare passagers est supérieure à deux fois le temps de mise en place peut être rapatrié à la zone de fret soit avec le camion qu'il conduit, soit avec un autre moyen de transport. Cette courbe de charge permet d'évaluer les effectifs

à mettre en place et les meilleurs horaires de vacations, soit manuellement, soit à l'aide d'un autre modèle mis au point par la recherche opérationnelle (référence : Article : « Détermination des effectifs et des tours de service en escale »). L'ensemble de ces résultats permet de dresser le bilan économique de l'utilisation d'un type de véhicule.

5. CHIFFRAGE ECONOMIQUE DES DEUX TYPES DE PARC ENVISAGES A ROISSY I

Pour une journée type de 1976, les résultats obtenus sont les suivants :

5.1. Solution camions

- nombre minimum de camions : 29
- nombre de retours à vide : 62

Le tableau de charge des camions est reproduit en annexe.

5.2. Solution remorques et tracteurs

Le dimensionnement de ces deux parcs pose quelques problèmes à cause de l'interdépendance des tâches.

La solution retenue est la suivante. Le parc de tracteurs a été dimensionné au minimum en supposant le parc de remorques infini : nous obtenons alors le nombre minimum de tracteurs, la charge en effectifs, et le nombre de trajets d'où le kilométrage.

Dans un deuxième temps, on détermine le nombre minimum (NRMIN) de remorques en supposant le parc de tracteurs infini, puis le nombre maximum (NRMAX) en interdisant les retours à vide de remorques. On obtient ainsi la fourchette du nombre de remorques.

Le nombre minimum de remorques à engager sachant que le parc de tracteurs est constitué de NT unités : (NT : valeur déterminée dans la première phase de l'étude), est en fait une valeur NR comprise entre NRMIN et NRMAX. En effet, certains retours à vide peuvent être effectués sans toutefois accroître le parc de tracteurs, mais alors kilométrage et charge en effectifs sont modifiés. Cette modification entraîne une augmentation des coûts. Il y a donc un arbitrage à réaliser entre cette augmentation et la diminution résultant de l'utilisation d'un nombre de remorques inférieur à NRMAX. Ces chiffrages sont malheureusement très complexes à évaluer car il faudrait simuler réellement l'utilisation de l'ensemble du parc. Cette simulation est théoriquement possible mais entraîne l'examen d'un très grand nombre de combinaisons : en effet, lorsqu'on veut effectuer un retour à vide d'une remorque, permettant de réduire le volume de ce parc, il faut examiner si un tracteur est disponible

pour effectuer ce retour à vide, soit sans modifier le reste de sa rotation, soit en modifiant sa rotation mais en remettant en cause toutes les autres rotations et en s'assurant que l'ensemble des tâches restantes peut toujours être réalisé. L'étude qui, pour l'instant, n'est qu'un chiffrage économique, ne réclame pas une telle précision qu'il soit nécessaire de se lancer dans un problème aussi combinatoire, d'autant plus que l'unité remorque est d'un poids peu élevé dans l'ensemble du bilan économique :

Valeurs obtenues pour Roissy I

— nombre minimum de tracteurs	24
— nombre de trajets à vide.	48
— courbe de charge des effectifs (en annexe)	
— nombre minimum de remorques	36
mais il est nécessaire de réaliser 60 mises en place	
— nombre maximum de remorques	52

Ces éléments permettent à la Direction du Transport d'évaluer approximativement les coûts des deux solutions en compétition, en tenant compte des frais de personnel (chauffeurs), des dépenses d'exploitation (kilométrage effectué, entretien des véhicules, etc...) et des charges d'amortissement.

BIBLIOGRAPHIE

- A. CHAMORRO, Optimisation d'une flotte par la méthode ATEM, *RIRO*, 3^e année, V3, 1969.
- B. PEIRON, J. P. ARABEYRE, Détermination d'effectifs, 2 articles d'une monographie AFCET sur les méthodes de gestion du personnel, Dunod éd. Paris, 1972.

M.0073̄OK.

Size of common 00000 Program 3 693 4 Résultats : camions

End of compilation main

Nombres de trajets à vide : 62 Nombre total d'allers-retours : 174.

Nombre de camions : 29.

Courbe de charge des effectifs

3 h	4 h										5 h										6 h									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 h	17 h										8 h										6 h									
1	4	8	9	10	12	16	19	20	19	22	23	24	22	22	21	16	13	14	13	13	15	20	20	21	23	24	19	16	16	15
9 h	10 h										11 h										12 h									
20	19	18	19	20	22	21	18	20	20	21	20	22	23	23	23	21	20	26	25	22	23	23	22	19	19	19	20	19	14	10
12 h	13 h										14 h										15 h									
14	16	21	23	25	26	27	27	26	25	22	21	17	16	14	8	8	8	7	7	9	10	12	14	17	19	23	25	26	27	28
15 h	16 h										17 h										18 h									
23	22	21	20	18	15	13	11	8	7	8	12	15	18	21	22	22	22	22	21	18	18	16	14	12	10	10	10	11	11	10
18 h	19 h										20 h										21 h									
9	7	7	8	8	9	9	8	7	7	7	7	7	8	8	10	11	12	13	14	14	14	13	12	11	9	8	6	4	5	7
21 h	22 h										23 h										24 h									
11	12	13	12	12	12	13	12	10	12	10	9	9	9	9	9	9	9	8	8	7	5	5	5	4	4	4	4	3	2	1

STOP 00000

