

Société de Calcul Mathématique SA

Outils d'aide à la décision



Mise en place de modèles robustes
pour l'organisation des tournées d'intervention

L'approche proposée par la SCM

Rapport adressé à ERDF

par la

Société de Calcul Mathématique SA

document de travail

I. Qu'est-ce qu'un Contrat de qualité ?

A. Présentation

Le "Contrat de Qualité" est, pour nous, l'élément essentiel d'une approche orientée client. Nous avons introduit ce concept en 2008 lors d'un travail réalisé pour RTE [1] ; le Contrat de Qualité visait alors à évaluer la durée totale des coupures d'électricité, sur une région, pour une année, et le nombre de personnes concernées. Nous avons ensuite travaillé pour RFF (Réseau Ferré de France), 2010-2013 : il s'agissait de caractériser l'ampleur des retards des trains et le nombre de personnes touchées, sur une zone, pendant une période de temps donnée (généralement une année).

Pour ERDF, à partir du document [2], on définira un Contrat de Qualité à partir de la satisfaction client : l'horaire prévu pour les interventions est-il respecté ?

Par définition, un Contrat de Qualité doit toujours être orienté client. Ce n'est pas toujours facile à définir. Par exemple, la SNCF comptabilise le nombre de trains affectés par un retard, mais convertir cette information en nombre de minutes perdues par an pour les usagers n'est pas facile : on peut être affecté par un retard sans être dans le train (le voyageur attend le train, ou bien est en correspondance).

B. Définition mathématique

Nous nous plaçons dans le cas de ERDF, avec la problématique d'organisation des tournées définie par le document [2]. Mathématiquement parlant, le Contrat de Qualité sera représenté par une loi de probabilité, construite de la manière suivante.

On travaille sur une zone donnée, pendant une année donnée, pour un certain type d'intervention (haute ou basse qualification, en admettant que ceci génère deux problèmes disjoints). Nous décomposons les pas de temps en tranches de dix minutes (ceci est complètement arbitraire et est simplement destiné à illustrer la méthode).

- Nous comptons, parmi les interventions réalisées, le nombre n_1 d'interventions qui ont été ponctuelles, c'est-à-dire que le technicien s'est présenté chez le client avec un retard n'excédant pas dix minutes ;
- De la même façon, soit n_2 le nombre d'interventions où le retard est compris entre 10 et 20 minutes ;
- Et plus généralement soit n_k le nombre d'interventions pour lesquelles le retard est entre $10(k-1)$ et $10k$ minutes.

Soit $N = n_1 + \dots + n_k + \dots$ le nombre total d'interventions. On note $p_k = \frac{n_k}{N}$; ce nombre peut approximativement être considéré comme la probabilité qu'une intervention ait une durée comprise entre $10(k-1)$ et $10k$ minutes.

En fait, une définition plus correcte de cette probabilité est $p_k = \frac{n_k + 1}{N + 1}$; voir notre livre [NMP].

Mais comme tous les nombres sont grands, la différence entre les deux définitions est peu significative.

A partir des nombres p_k ainsi obtenus, on réalise un histogramme, de la manière la plus classique : on met en abscisse les tranches de pas de temps et en ordonnée les p_k . Généralement, l'histogramme est décroissant : les interventions avec beaucoup de retards sont moins fréquentes que celles avec un faible retard (nous n'en savons rien pour ERDF ; c'était le cas pour la SNCF avec le retard des trains).

Voici un exemple, montrant à quoi peut ressembler cet histogramme :

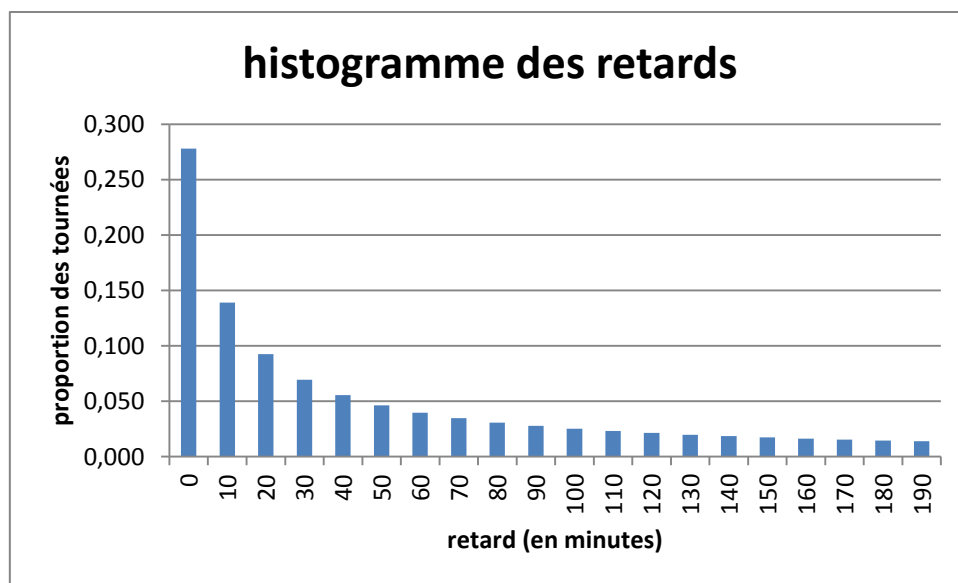


Figure 1 : un exemple d'histogramme

La somme des probabilités fait toujours 1. Il y aura un graphe pour chaque situation ; par exemple pour les interventions de basse qualification, d'une part, et pour les interventions de haute qualification, d'autre part.

Un tel graphe est peu compréhensible pour le grand public, mais il est d'importance fondamentale pour ERDF, car il permet de voir d'un seul coup d'œil où se situent les "points faibles" : par exemple, y a-t-il un très grand nombre de petits retards, ou bien un nombre relativement important de retards significatifs ? La politique de l'entreprise pour y remédier ne sera pas la même dans les deux cas.

Un tel outil est utile pour la préparation des tournées, indépendamment du modèle mathématique qui sera utilisé ensuite, parce qu'il permet l'exploitation de l'historique. Répétons cette critique, déjà faite dans notre précédent rapport : le modèle de planification utilisé actuellement ne comporte aucune possibilité d'utilisation d'un historique.

II. Un outil de communication

Une fois l'histogramme réalisé comme expliqué plus haut, il est facile d'en déduire un outil de communication. Habituellement, ceci se fait de la manière suivante : on fixe un seuil, et on annonce la probabilité d'être en dessous de ce seuil. Par exemple, ERDF pourrait fixer le seuil à 20 minutes ; la probabilité d'avoir une intervention ponctuelle à 20 minutes près est alors, avec nos notations, $p_1 + p_2$. ERDF peut alors annoncer : tant pour cent de nos interventions sont réalisées avec un retard inférieur à 20 minutes ; ou bien si l'on veut comparer d'une année sur l'autre : "la ponctualité de nos interventions s'est améliorée ; nous sommes passés de $x\%$ d'interventions considérées comme ponctuelles (retard inférieur à 20 minutes) à $y\%$, avec $x < y$."

Il y a de multiples manières d'utiliser ce graphe comme un outil de communication, mais il faut d'abord le réaliser, pour chaque situation prise séparément. On peut ensuite, bien sûr, regrouper toutes les situations sur un même graphe (mais cela risque d'occulter des disparités), ou au contraire spécialiser en allant plus en détail (distinguer le matin et l'après-midi, par exemple).

III. La Conception des tournées

A. Difficulté fondamentale

Il y a une difficulté fondamentale dans le problème proposé : ERDF ne peut pas dire à un client qui l'appelle : "notre technicien sera chez vous demain à 10 h 30", pour deux ensembles de raisons, qu'il faut analyser séparément :

- Les techniciens, avant de se rendre chez ce client, auront procédé à d'autres interventions, dont la durée est aléatoire : il est très possible que le technicien prenne du retard, ou bien au contraire de l'avance. En outre, les conditions de circulation peuvent être favorables ou non ;
- Entre le moment où ERDF fixe le rendez-vous client et le moment où le technicien se présente, la liste des interventions peut se modifier, du fait d'autres appels : certains clients peuvent se désister, ou bien au contraire d'autres peuvent vouloir un rendez-vous, qu'il faudra insérer dans la tournée.

Si ERDF cherchait à satisfaire les clients dans l'ordre des appels, il en résulterait à l'évidence une tournée qui serait "géographiquement chaotique" : le technicien parcourrait vraisemblablement un nombre très élevé de kilomètres.

Cette brève analyse montre bien qu'il est fondamentalement impossible de vouloir donner à chaque client un horaire précis ; dans ces conditions, lui indiquer une plage horaire, comme le fait actuellement ERDF, est la meilleure stratégie possible et elle doit être poursuivie.

B. Eléments de base pour la résolution du problème

Chaque Agence intervient sur un domaine qui lui est propre ; disons pour simplifier les choses et fixer les idées un carré de 25 km x 25 km (peu important ici les valeurs exactes). Ce carré va être décomposé en petits carrés, appelés "carrés élémentaires" (ou CE) de 5 x 5 km. Il y a donc 25 CE dans le domaine d'intervention d'une Agence.

Nos CE sont probablement assez proches du concept de "Zone Élémentaire d'Intervention" mentionné dans le document [2].

Dans notre approche, il n'y aura plus aucune minimisation. On se contente de ranger les interventions selon leur CE et leur horaire.

On admettra que deux interventions situées dans le même CE sont à réaliser consécutivement, en principe par le même technicien, peu importe l'ordre dans lequel il les prend. La distance maximale entre deux points d'un même CE est la diagonale d'un petit carré, à savoir $5\sqrt{2} \approx 7$ km. Un technicien doit donc "épuisier" un CE avant de passer au suivant.

Le délai moyen de parcours entre deux interventions au sein d'un même CE n'est bien entendu pas nul : il est évalué à partir d'un historique et peut dépendre (en fait, doit dépendre) d'un certain nombre de facteurs externes : heure de la journée, jour de la semaine, saison, etc.

ERDF devra donc constituer des tables de durée de parcours moyen, par CE, selon ces différents critères ; ces tables sont faciles à constituer et on peut toujours commencer par des valeurs moyennes choisies grossièrement.

Comme les interventions de ERDF sont très nombreuses, la plupart des situations se rencontrent très vite ; ceci est un élément supplémentaire justifiant l'ensemble de notre approche, à base d'informations déduites d'un historique. L'observation au quotidien et l'utilisation pertinente du retour d'expérience vont très vite donner des outils beaucoup plus appropriés qu'une méthode reposant sur une programmation mathématique abstraite. Il est légitime de les utiliser.

Notons $c_{i,j}$ ($i = 1, \dots, 5$, $j = 1, \dots, 5$) les centres des carrés élémentaires. Disons que l'Agence elle-même se situe dans le coin en haut à gauche, à savoir $c_{1,1}$; ceci n'a aucune importance. En toute logique, l'Agence devrait se trouver au centre de son domaine, soit en $c_{3,3}$.

C. Cahier des charges journalier

Le matin, avant le départ du premier technicien, et hors impondérables de dernière minute, la situation pour ERDF se présente comme suit :

On connaît les nombres $n_{i,j}$: nombre d'interventions à effectuer dans la cellule $c_{i,j}$. On note N_{int} le nombre total d'interventions, $N_{\text{int}} = \sum_{i,j} n_{i,j}$

L'ordre de grandeur donné par le document [2] est de $N_{\text{int}} = 400$ interventions journalières ; si on dispose de 25 cellules, cela fait environ 16 interventions par cellule.

La "ressource" est constituée par un nombre N_{tech} de techniciens ; l'ordre de grandeur est de 20. Il faut distinguer selon les niveaux de qualification ; comme nous l'avons déjà dit, cela se traduit par la définition de problèmes disjoints.

Faisant l'hypothèse de la compatibilité de la ressource et de la demande (c'est-à-dire, en langage simple, qu'il y a assez de techniciens pour répondre au besoin), la question que doit résoudre ERDF à ce stade est double :

- Comment répartir les N_{int} interventions entre les techniciens ?
- Comment organiser la tournée de chaque technicien, c'est-à-dire dans quel ordre doit-il effectuer les interventions ?

Un tel problème est, sur le plan de la combinatoire, considérablement plus simple que le problème d'origine, puisque nous regroupons toutes les interventions d'une même case, considérées comme une intervention unique de plus longue durée. On pourrait donc le résoudre par des méthodes de recherche de coût minimal, comme le propose le document [2].

Mais, même en ce cas, de telles méthodes restent artificielles : le coût n'a pas de sens concret et il n'y a pas de raison de l'utiliser pour la résolution du problème.

Nous procéderons donc différemment ; nous allons d'abord donner une méthode de résolution purement déterministe ; nous introduirons ensuite les éléments aléatoires.

D. Résolution déterministe

Prenons le premier technicien par ordre alphabétique, et envoyons-le effectuer le plus possible d'interventions dans l'endroit le plus reculé (ce sera (5,5), si l'agence est en (1,1)). Il se peut qu'il ne puisse pas, à lui seul, épuiser les interventions en (5,5) ; il se peut à l'inverse qu'il puisse faire des interventions en (5,4), ou (4,5). Peu importe : on définit de manière approximative la tournée du premier technicien, en lui assignant les zones les plus difficiles.

Ce qui reste est alors un problème plus simple : nous avons un technicien de moins, et un certain nombre d'interventions sont déjà assignées. On recommence en affectant au second technicien par ordre alphabétique les zones les plus difficiles parmi celles qui restent.

Et ainsi de suite, jusqu'à avoir épuisé toutes les demandes d'intervention ; il peut rester des techniciens, si la ressource est très supérieure à la demande.

Bien entendu, le premier technicien par ordre alphabétique va se sentir défavorisé, puisqu'on lui assigne la zone la plus difficile. Mais il suffit, les jours suivants, de faire une rotation : on commencera par le second, puis par le troisième, et ainsi de suite.

On peut ici faire une remarque importante : il n'est pas utile de faire en sorte que, au jour le jour, les charges de travail des divers techniciens soient à peu près égales. Cette propriété est souvent recherchée, mais elle n'est pas pertinente. Il suffit de faire en sorte que, en moyenne annuelle, les charges de tous soient voisines, ce qui est facile à obtenir.

E. Introduction d'éléments aléatoires

Mais nous savons bien que les interventions du premier technicien ne sont pas parfaitement déterministes ; il se peut que, en fin de journée, il n'ait pu mener à bien l'ensemble des tâches assignées. Nous voulons définir une stratégie qui permette à ERDF de minimiser la probabilité de report de certaines interventions.

Nous allons définir une telle stratégie de manière grossière ; les calculs précis devront être menés sur des situations réelles.

La stratégie qui permettra à ERDF de se prémunir contre les aléas relatifs à chaque intervention est celle-ci : pour le premier technicien, assignons-lui 95% de ses interventions dans la zone la plus reculée, comme expliqué plus haut, et conservons 5% des interventions dans des zones proches de l'agence. Dans ces conditions, avec très forte probabilité, les interventions lointaines seront effectuées. S'il n'a pas le temps de tout faire, les interventions négligées seront des interventions proches, donc beaucoup plus faciles à satisfaire.

L'idée de base est ici (cela s'appelle une "méthode d'exhaustion", commune en mathématiques) de réduire progressivement le problème en le rapprochant de l'agence. On traite d'abord ce qui est loin, puis on réitère l'opération.

La programmation d'un tel mécanisme est facile à réaliser, et l'exécution est pratiquement instantanée : il n'y a aucune minimisation.

IV. Références

[1] Réseau de Transport d'Electricité, 2008 : Méthodologie probabiliste relative à une décision d'investissement.

[2] Rapport Cooptech V1.0.docx : document envoyé par email à la SCM.

[NMP] Bernard Beauzamy Nouvelles Méthodes Probabilistes pour l'évaluation des risques. Ouvrage édité et commercialisé par la Société de Calcul Mathématique SA. ISBN 978-2-9521458-4-8. ISSN 1767-1175, avril 2010.