

# PROFESSION OPTIMISATEUR : 10 JEUX MATHÉMATIQUES À BOUYGUES

Par Benoît Rottembourg, Bouygues e-Lab

## Introduction

Bouygues SA, société mère d'un groupe générant annuellement près de 22 milliards d'euros de chiffre d'affaires, avec plus de 120 000 collaborateurs dans le monde, s'est dotée il y a 10 ans d'un centre de recherche en sciences de la décision : le e-Lab. Rattaché à la Direction Générale Informatique et Technologies Nouvelles du Groupe, le e-Lab est constitué d'une dizaine de chercheurs et ingénieurs, et est en Europe une des très rares structures de recherche en « optimisation » du secteur privé, oeuvrant pour un groupe industriel diversifié. Les filiales du groupe sont en effet des acteurs majeurs dans les secteurs de :

- La route, où **Colas** - 7,4 milliards d'euros d'activité en 2003 - intervient dans tous les domaines de la route et des infrastructures de transport, en intégrant des activités industrielles en amont, des carrières et centrales d'enrobage aux usines d'émulsion et de liant,
- La construction, où **Bouygues Construction** - 5 milliards d'euros d'activité - intervient dans le bâtiment, les travaux publics, l'électricité et la maintenance,
- La téléphonie multimédia mobile, avec **Bouygues Telecom** - 3,3 milliards d'euros d'activité - ,
- La télévision, où **TF1** - 2,7 milliards d'euros d'activité - regroupe la chaîne généraliste, des chaînes thématiques payantes avec le bouquet TPS (LCI, Eurosport, ...), et se diversifie dans l'édition et la distribution de produits dérivés, la production et la vente de droits audiovisuels,
- La gestion de services, où **Saur** - 2,5 milliards d'euros d'activité - intervient sur toutes les étapes du cycle de l'eau, de la construction d'usines de production d'eau potable, à sa distribution, de l'évacuation des eaux usées à la construction et à l'exploitation de stations d'épuration. Elle propose également des services de production, transport et distribution d'électricité, ainsi que de collecte et de traitement de déchets,
- La promotion immobilière, où **Bouygues Immobilier** - 1,2 milliards d'euros d'activité - intervient dans tous les domaines de la promo-

tion immobilière, appartements, maisons groupées, bureaux, commerces, hôtels, aménagements fonciers.

A mi-chemin entre les mathématiques appliquées et l'informatique scientifique, le e-Lab propose du conseil, élabore des prototypes et développe des composants logiciels d'aide à la décision pour toutes les filiales du Groupe, sur des thèmes transverses comme l'optimisation des processus de l'entreprise, la gestion d'actifs industriels, le respect de la qualité de service, ou la création de services ou d'offres commerciales innovants. Pour s'étalonner, valoriser son expertise et ses logiciels et rester au contact des jeunes pousses technologiques, le e-Lab travaille également en dehors du Groupe, avec opportunisme et parcimonie.

Le groupe Bouygues véhicule une image forte de culture entrepreneuriale, a priori fort éloignée de la contemplation mathématique, et pourtant, tout mathématicien appliqué en France garde à l'esprit la fameuse « théorie des remblais et des déblais » de Monge, établie en 1781, sans doute un des premiers problèmes de « transport » (de terre) de la littérature.

L'objet de cet article est d'illustrer par une dizaine d'exemples issus d'études ou de projets réalisés par le e-Lab, les nouvelles formes, parfois inattendues, que peuvent prendre les problèmes d'optimisation dans les filiales de Bouygues aujourd'hui. Au-delà du jouet et parfois du défi scientifique, ces dix « applications » ont eu des fortunes diverses, et il nous a semblé intéressant d'en présenter le contexte et d'en effleurer les enjeux économiques, tant le mathématicien appliqué dans l'industrie doit se parer des habits du consultant pour éviter le danger qui le guette : la sur-qualité de la réponse, donc l'excès d'énergie et de ressource consacrées, par rapport à la question posée. Ces dix sujets peuvent à n'en pas douter, pour être « traités en profondeur », générer autant de sujets de thèse. Le principe de réalité économique a décidé différemment du principe de plaisir scientifique, à notre corps académique défendant.

Sur la route, nous évoquerons deux problèmes de « dimensionnement ». Le premier jeu vise à calculer le coût de 25 ans de maintenance d'un réseau routier urbain, soumis à l'outrage du trafic. Le deuxième, pour un comté anglais,

consiste en l'évaluation de la taille de la flotte de camions nécessaire au salage des routes en hiver.

Nous poursuivrons par la construction où, confirmons le, l'optimisation du transport de terre comble toujours, et au mieux, les remblais par des déblais proches. Notre troisième jeu tâche de minimiser le stock de grues, notre quatrième fera cette fois économiser des mouvements de grue sur un chantier.

La téléphonie mobile regorge de problèmes aussi nous nous contenterons de notre cinquième qui cherche à planifier tous les 3 mois les jours de repos des équipes de conseillers de clientèle et de notre sixième, qui planifie l'envoi des campagnes marketing promotionnelles sur SMS.

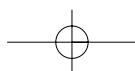
La télévision suivra, où nous évoquerons pour notre septième, la complexité du processus de vente d'écrans publicitaires pour TF1, avec en huitième, la vente par paquets de spots pour les chaînes thématiques.

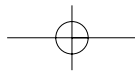
Pour les services de la propreté, notre neuvième décrira l'optimisation du nettoyage de graffitis.

Notre dixième enfin, pour la bonne bouche, expliquera comment des plans de tables harmonieux peuvent être construits automatiquement.

## 1 • Vingt-cinq ans de maintenance d'un réseau routier

Plusieurs villes du Royaume Uni, pour remettre à niveau et maintenir en bon état d'usage leur réseau routier, proposent au secteur privé, en concession, et pour une période de 25 ans, l'intégralité de leur voirie. L'état du réseau est caractérisé par la moyenne pondérée des indices (portance, adhérence, visuel) des sections de routes qui le composent. On compte, pour une ville de 200000 habitants, plus de 1000 sections ainsi notées par ces 3 indices. Charge au concessionnaire de maintenir l'ensemble du réseau à une moyenne définie contractuellement et pour chaque année par la ville. Toute défaillance se traduit par une pénalité proportionnelle à l'écart à la qualité de service requise. Une succession de défaillances peut entraîner la remise en cause du contrat. Localement, une route est également sujette à pénalité forfaitaire si un seuil critique n'est pas atteint par ses indices.





Une route, prise isolément, voit ses indices baisser « naturellement » au cours du temps, c'est-à-dire au fil des véhicules qui l'empruntent. Un camion de 7 tonnes peut ainsi induire une usure de la route équivalente à celle de 10000 voitures. Fort opportunément, il existe un ensemble d'opérations, plus ou moins lourdes et plus ou moins coûteuses qui peuvent remettre certains des indices à leur niveau maximal. Le dessin ci-dessous illustre schématiquement la baisse d'indices entraînée par un vieillissement mais compensée par deux (à gauche) ou trois (à droite) opérations de maintenance.

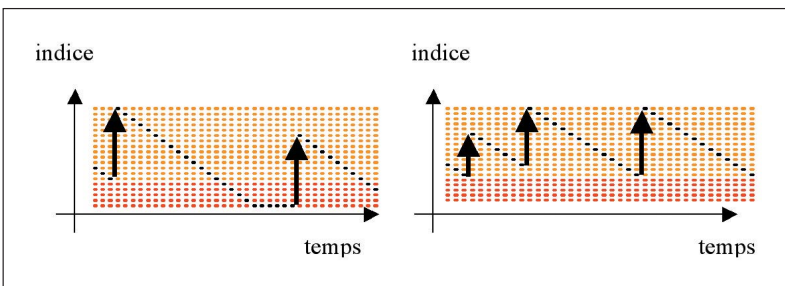
Dans la pratique, pour le leader mondial

d'une fenêtre horaire. La difficulté va résider ici dans la taille du problème à traiter, puisqu'une fois le territoire découpé en 27 000 sections de routes, de largeur variable (donc induisant un volume de sel variable à déposer), il s'agira de savoir le dépôt d'origine du sel de chaque route, et pour chaque dépôt la flotte de camions à lui affecter. L'ingénieur en optimisation devra trouver le bon compromis entre le temps de calcul de ses algorithmes et leur performance en nombre de camions consommés. Un camion en trop, et c'est peut être 5% de facture additionnelle, donc la perte de l'appel d'offres.

les travaux à réaliser et les contraintes du site), la date de début et de fin des travaux, ainsi bien entendu que la localisation du site du chantier pour la livraison. Le centre gère un stock de plus d'une centaine de grues et doit faire face aux réservations en affectant des équipements (les grues, mais aussi d'autres matériels comme les coffrages ou les cantonnements) à ses clients. Comme chacun sait, l'activité de la construction est cyclique et des pics de suractivité ponctuelle peuvent apparaître, ce qui amène le centre à procéder à de la location auprès de partenaires loueurs, à des prix malheureusement supérieurs à ses propres prix de revient.

A tout moment, il s'agit donc d'affecter des grues à des chantiers :

- En choisissant des grues du stock ou des grues des loueurs
- En respectant les contraintes quantitatives, qualitatives et temporelles des chantiers
- En jouant sur les coûts et les disponibilités de transport des grues de la base aux chantiers ou entre deux chantiers successifs



de la route qu'est Colas, filiale de Bouygues, le nombre d'interventions ainsi que le type de matériaux à employer est défini par des règles d'ingénierie liées à la route et à son environnement, et la combinatoire réside dans l'ordonnement détaillé des opérations pour les 1000 sections en gérance.

L'objectif du concessionnaire est de mettre en place une stratégie de maintenance, minimisant la somme des pénalités des coûts des opérations. L'optimisation permet alors de calculer le juste prix, de 25 ans de travaux, en offrant un plan de travail prévisionnel.

## 2 • Salage de routes dans l'hiver anglais

La question est simple : soit un comté anglais (il y en a 172 qui maillent le Royaume) disposant de plus de 1000 kilomètres de route à saler. Le comté a installé pour ce faire 7 dépôts de sel, répartis sur le territoire. Quelle est la taille idéale de la flotte de camions (les « gritters ») permettant de saler ces routes en moins de 3 heures ? Au centre du Royaume Uni, on constate en moyenne 40 jours par an de gel ou de neige, donc de besoin de salage, ce qui explique que la maintenance hivernale, fréquemment déléguée au secteur privé, prend une importance considérable.

Nous tombons cette fois sur un problème plutôt bien répertorié dans la littérature, relativement proche du fameux Voyageur de Commerce. On parle de « Multi Depot, Capacity Constrained, Arc Routing Problem with Time Windows » : plusieurs dépôts, une capacité limitée des camions, l'objectif de couvrir toutes les routes dans le respect

On trouvera représentée une solution à 24 camions sur la figure ci-dessus.

## 3 • Du stock de grues minimal

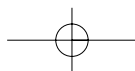
Si le lecteur se promène le long de la N20, en région parisienne, à hauteur de Longjumeau, il ne pourra pas ne pas remarquer une forêt de grues oranges, montées ou démontées, et portant le logo de Bouygues Construction. C'est la base technique des sablons, un des plus gros centres de stockage et de maintenance de grues en France.

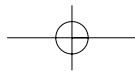
Le centre reçoit, jusqu'à 6 mois à l'avance, des ordres de réservation de grues pour les chantiers de Bouygues. L'ordre indique le nombre de grues demandées, leurs types (plusieurs configurations sont en effet possibles selon



- Notons qu'à l'image du loueur de voitures, il est possible de substituer, le cas échéant, un matériel de niveau supérieur à celui demandé (aux frais du centre)
- En prenant éventuellement la décision de racheter des grues pour accroître le stock.

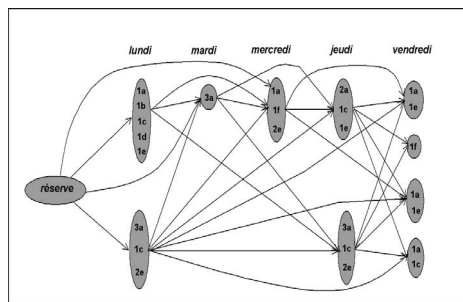
Tel quel, le problème se modélise remarquablement bien comme un problème de flot, qui peut donc se traiter facilement avec des algorithmes de graphe ou par programmation linéaire. Mais c'est sans compter sur la contrainte de maintenance, qui oblige une grue à se faire réviser au bout de tant d'heures d'usage, qui vient profondément complexifier la recherche de solutions.





#### 4 • Minimisation du nombre d'assemblages de coffrages sur chantier

Le coulage des murs constitue, avec celui des planchers, l'activité principale du gros œuvre d'un chantier de construction. Un seul étage d'un immeuble résidentiel du type de ceux construits par Habitat, la branche de Bouygues Bâtiment spécialisée dans le logement en Ile-de-France, est composée d'une centaine de murs et nécessite une dizaine de jours de travail, en utilisant un nombre limité de coffrages verticaux (cf photo de gauche). En effet, la location de ces coffrages est coûteuse, et ils encombrant le chantier quand ils sont inutilisés. Un coffrage vertical, ou banche, est une paire de panneaux métalliques entre lesquels le béton est coulé puis sèche pendant la nuit. La banche peut ensuite être enlevée (par la grue) et réutilisée pour un autre mur du chantier. Il existe des banches de différentes longueurs mais les murs dépassent en général la longueur maximale et il faut donc assembler plusieurs banches ensemble pour coffrer un mur.



Etant donné l'ordonnancement du chantier et l'affectation du matériel, c'est-à-dire connaissant pour chaque jour la liste des murs à couler et le jeu de coffrages à utiliser sur chaque mur, on cherche à minimiser le nombre de mouvements de grue nécessaires pour transporter ces coffrages d'un mur à l'autre tout au long du chantier. Par chance, lorsque plusieurs banches doivent être déplacées d'un mur à un autre, cette opération peut se faire en un seul mouvement de grue et évite les manutentions d'assemblage (qui peuvent prendre une dizaine de minutes).

On montre facilement que la solution naïve consistant à démarrer la première journée sans anticipation, puis à récupérer le maximum d'assemblages pour le lendemain, et ainsi de suite, induit de 10 à 20% de mouvements de grue supplémentaires par rapport à une solution optimale. Rechercher cet optimum n'est pas si aisé car nous sommes en face d'un problème de flot, tel que dépeint sur la figure ci-dessus (à droite), pour lequel on cherche à minimiser le nombre d'arêtes utilisées, symbolisant les mouvements de la grue (donc les assemblages réutilisés), ce qui suffit à rendre le

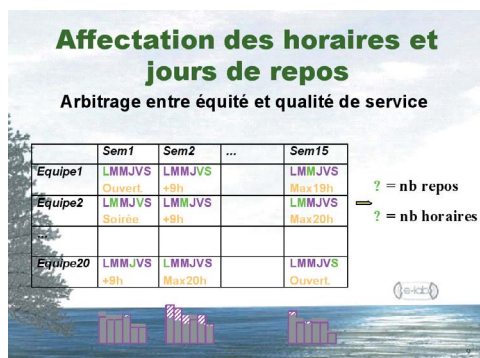
problème mathématiquement difficile. Un peu d'huile de coude et l'optimum peut être atteint sur tous les chantiers traités, en quelques minutes de temps calcul.

#### 5 • Planification des repos des conseillers de clientèle

L'introduction de la loi dite « des 35 heures », qui réduisit la durée hebdomadaire du travail de 39 à 35 heures en France, était particulièrement complexe pour les centres d'appel, car elle a introduit, au-delà de la modification du volume horaire, de nouvelles possibilités de lissage sur l'année. Bouygues Telecom, le troisième opérateur de téléphonie mobile français, dispose de 6 centres d'appels qui regroupent près de 2500 employés qui traitent une large gamme de services avec plus de 30 types d'activités différentes. Les emplois du temps des agents doivent être construits de manière à couvrir (stochastiquement) la charge prévisionnelle

« nocturnes » ou d' « ouvertures » doit être le même sur la période, tout comme le nombre de « Lundis » ou de « Samedis » en repos.

- **Verticalement**, c'est la qualité de service qui est en jeu. Il s'agit d'assurer un nombre de personnes présentes suffisant pour la charge d'activité prévisionnelle chaque jour, ainsi qu'un nombre minimum d'employés présents à l'ouverture et à la fermeture.



Ce sont ici les multiples contraintes d'équité, et dans une moindre mesure la variété des contraintes de présence (portant à la fois sur chaque jour et sur chaque semaine) qui renforcent la difficulté du problème et l'éloignent de la recherche d'un simple flot. L'aspect « carré magique » n'en rend pas la résolution aisée. Un travail qui occupait une bonne semaine pour chacun des 6 « planificateurs » des sites s'effectue désormais en quelques secondes, avec une équité renforcée.

#### 6 • Ordonnancement des campagnes marketing sur SMS

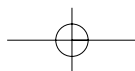
Plus de deux français sur trois tiennent désormais entre leurs doigts un téléphone mobile et s'en servent pour communiquer avec leurs clients, leurs tribus ou leurs magasins préférés. A la différence de la télévision ou du téléphone fixe, le téléphone portable est un media individuel, ce qui en fait un support publicitaire de choix. La boîte vocale (VMS : Voice Mail Service) ou les notifications par messages (SMS : Short Message Service) offrent la possibilité pour l'opérateur téléphonique de cibler ses clients, pour leur proposer de nouvelles offres ou les fidéliser au sens large.

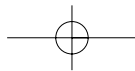
Média peu coûteux, individualisé, fournissant une information au creux de l'oreille, et possédant un taux de retour très efficace, les campagnes publicitaires sur mobile se multiplient et consomment autant de ressources de l'opérateur : des machines sont utilisées pour émettre les messages, des conseillers de clientèle doivent gérer les appels « retour » des clients, des analystes doivent interpréter les succès des campagnes émises.

par activité. Concrètement, il faut s'assurer, à chaque période de temps, que le nombre d'employés compétents est suffisant pour répondre aux appels prévus. Dans ce contexte, le lissage optimisé de la force de travail, dans le respect des 35 heures annualisées, a d'évidents impacts économiques si l'on souhaite maintenir la qualité de service perçue par le client. Ceci est renforcé par l'aspect saisonnier de la charge de travail des centres d'appel : la période de Noël amène de nouveaux clients, la Saint Valentin est synonyme de promotions, etc. Nous nous concentrons ici sur la planification « à gros grain » réalisée typiquement tous les 3 mois, dont on déduit principalement les jours de repos et les semaines d'ouverture ou de fermeture à réaliser par les équipes.

Le tableau ci-dessous résume schématiquement les deux natures de contraintes qui régissent la création d'horaires à 3 mois :

- **Horizontalement**, on doit s'assurer que le nombre de jours de repos sur la période est identique pour tous les agents. On doit également faire en sorte que la distribution d'horaires soit équitable. Par exemple le nombre de





Le e-Lab s'est penché sur cette problématique de planification des campagnes publicitaires sur média mobile, non pas du point de vue marketing – ce qui ne manquerait ni d'enjeu ni d'intérêt – mais sous celui de l'allocation des ressources de l'opérateur.

Plus formellement, nous sommes dans le cadre d'un problème d'ordonnement de tâches élastiques (les campagnes peuvent s'étirer) et préemptives (elles peuvent être interrompues puis reprendre) sous contrainte de capacité (les « tuyaux »). Chaque campagne candidate à la planification se caractérise par une date de début au plus tôt, une date de fin au plus tard et un volume de messages à écouler par un ou plusieurs canaux de communication. Typiquement, on parle de plusieurs centaines de campagnes par an. Il est nécessaire d'écouler l'intégralité des messages pour considérer qu'une campagne est sélectionnée sinon celle-ci est rejetée. On associe de plus à une campagne une valeur de retour sur investissement et une période de préférence. Par contre, les dates de fin au plus tard sont impératives, puisqu'un bouquet de fleurs après la Saint Valentin perd son parfum. Chaque canal de communication dispose d'une capacité maximale, estimée au quart d'heure par les équipes de prévision.

L'enjeu de la planification consiste d'une part à vérifier la faisabilité des campagnes, et d'autre part à maximiser le retour sur investissement global, en respectant les contraintes de capacité des canaux.

### 7 • Ventes de spots de pub à la volée

Si l'on observe trois mois de publicité sur une chaîne hertzienne comme TF1, on peut dénombrer plus de 30 000 spots remplissant plus de 4000 écrans. A tout moment, au fur et à mesure que les programmes sont connus par les annonceurs, ceux-ci sont susceptibles de changer d'avis, d'annuler certaines de leurs réservations de spots voire de les transférer vers d'autres endroits du planning, ou d'en générer de nouvelles pour maximiser leur audience et ainsi assurer le meilleur plan média possible à leurs produits pour un budget minimal. En tout, plus de 500 000 transactions par an sont effectuées dans les écrans publicitaires de la chaîne.

A chacune des nouvelles demandes de réservation, la régie publicitaire doit réagir en :

- acceptant la requête,
- la refusant
- ou en contre-proposant dans un écran proche, susceptible de plaire à l'annonceur.

Elle doit pour cela prendre en compte non seulement l'état actuel de remplis-

sage des écrans, les gains apportés par la nouvelle requête relativement à l'écran visé, mais également l'état futur estimé du système, avec le potentiel de nouvelles arrivées ainsi que les probabilités d'annulation des spots déjà réservés.

Nous touchons là une problématique bien connue de « yield management », gestion d'un actif périssable qui est l'écran publicitaire, qui doit être rempli au mieux avant une date limite, ici la diffusion, avec une surcapacité globale mais une sous-capacité locale (le « Prime Time »). Le monde du transport l'a amplement exploité, compagnies aériennes en tête, tout comme l'univers des casinos, de l'hôtellerie, des croisières et même des golfs.

L'affaire se corse dans les écrans, puisque l'hypothèse de fluidité retenue dans les avions (1 place sur 200 peut être considéré comme une fraction négligeable) n'est plus valable : en effet, sur les 240 secondes qui constituent un écran, moins de 7 spots trouveront place. Ainsi, à un spot près, c'est 14% de l'écran qui est perdu, contre moins de 1% dans un Airbus normalement constitué. Le pilotage du remplissage doit donc impérativement prendre en compte l'effet « chute de moquette » induit par la taille des spots.

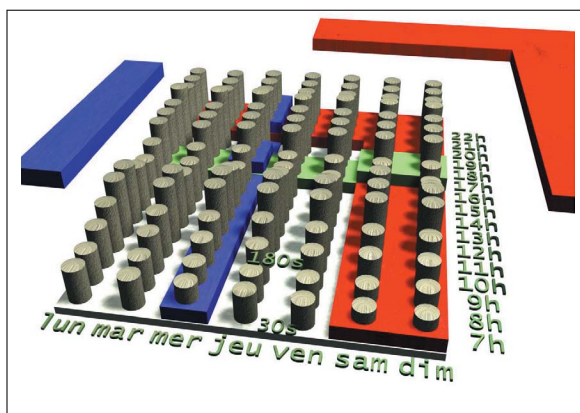
### 8 • Création d'offre publicitaire en « paquets » pour chaînes thématiques

Durant les 3 dernières années, les chaînes du câble et du satellite ont connu une nette progression (330M€ de dépenses publicitaires) et possèdent, avec MediaCabSat, une mesure fiable de leur audience (sur près de 12 millions d'abonnés). Les annonceurs publicitaires possèdent donc désormais un outil d'analyse pour construire leurs plans médias, tandis que la régie publicitaire de TF1 (mutualisant la gestion d'Eurosport, LCI, Télétoon, TV Breizh, ...) a pu structurer son offre commerciale.

L'offre à construire par la régie doit être à la fois attractive pour les annonceurs mais aussi rationnelle vis-à-vis de l'utilisation de l'espace à vendre. Différents types de packages (vendus sous la forme d'un nombre fixe de passage d'un message publicitaire) sont offerts à la vente afin de satisfaire un contrat sur une audience cible tout en respectant des contraintes de couverture sur la semaine, de concurrence intra-écran ainsi que des contraintes de capacité sur les écrans. Le but est de maximiser le poten-

tiel vendable vis-à-vis des habitudes du marché.

Plus formellement, le problème peut s'apparenter à un « packing » (de plusieurs ensembles de messages de 30 secondes, les packages, possédant à l'avance une certaine configuration sur la semaine) dans des « boîtes » (écrans publicitaires d'environ 3 minutes). De plus, des contraintes de nombre de passages sont à respecter par zones temporelles (au moins 5 messages en prime-time), des contraintes d'incompatibilité sont à assurer pour respecter la non-concurrence entre annonceurs d'un même secteur d'activité (pas plus d'une voiture dans le même écran publicitaire) ainsi que des contraintes dites cumulatives (couvrir un nombre minimum de 150 000 téléspectateurs de 4 à 10 ans par exemple).



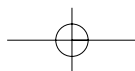
La véritable difficulté technique réside dans l'incorporation de la contrainte d'audience, en particulier pour des chaînes subissant une variation forte d'audience dans la journée. Mais l'enjeu est de taille car on peut obtenir des gains supérieurs à 15% en valeur, en construisant chaque nuit des paquets optimisés.

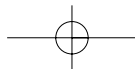
### 9 • Routage dynamique d'une flotte de véhicules anti-tags

Chaque soir, des adolescents expriment leur créativité et marquent leur territoire en taguant ou graffitant les murs de Paris. Chaque jour, ces dessins sont relevés par des techniciens qui indiquent leur taille, leur accessibilité et leur localisation. Une flotte de camions, basée à Saint-Denis, vient ensuite nettoyer ces chefs d'œuvre éphémères, de sorte que les tags sont effacés moins de quinze jours après détection.

Plusieurs centaines d'œuvres murales sont ainsi détruites quotidiennement par une flotte d'une trentaine de camions qui peuvent effectuer chacun jusqu'à une dizaine d'interventions par jour.

La filiale de la Coved, elle-même filiale de la Saur, en charge de cet entretien, doit également faire face à des urgences, sous la forme de graffitis de dernière





minute, dits « offensants » qui doivent être éradiqués dans les 3 heures. Par définition, ces interventions ne sont pas planifiables à l'avance, et désorganisent les tournées. A chaque appel au centre d'appels, il s'agit donc de dérouter le camion de la manière la plus efficace qui soit, pour éviter de déporter au lendemain un surcroît fâcheux d'activité.

Si l'on se place sous un angle prospectif, cette problématique de « Dial a Ride » bien connue des chauffeurs de taxi, des chauffagistes, des livreurs, des médecins de campagne et des techniciens de maintenance en général, se trouvera considérablement facilitée par l'apparition dans les véhicules de deux instruments : le téléphone portable et la localisation précise par GPS (le second pouvant être incorporé dans le premier comme on le voit déjà au Japon). Le centre d'appels pourra ainsi affecter la nouvelle requête au véhicule le plus proche, ou le moins surchargé, dans le respect du niveau de service demandé. En général, compte tenu des contraintes de localisation, l'homme effectue la tâche d'affectation manuellement, mais dès que la flotte dépasse la vingtaine de véhicule, les choix deviennent vite délicats, et la recherche d'algorithmes d'affectation « en ligne » efficaces se justifie, en permettant par exemple de limiter l'intervention du centre d'appel.

Le e-Lab a réalisé un démonstrateur, sur téléphone mobile i-mode™, pour ce type de planification réactive.

## 10 • Création de plans de tables harmonieux

Les directions des ressources humaines sont fréquemment amenées à réunir des collaborateurs – par exemple les managers d'une ou de plusieurs Business Unit –, autour d'un évènement fédérateur. Ils sont placés à des tables de travail, avec un souci « d'homogénéité » pour favoriser les échanges. Le lecteur qui a marié sa fille comprend aisément la difficulté de répartir 150 individus en 20 tables dans le respect de critères d'équilibre pour que l'évènement respecte le protocole et soit socialement réussi. En l'espèce, un manager est doté de caractéristiques telles que :

- Son ancienneté dans la société
- Son niveau hiérarchique
- Sa fonction dans l'entreprise
- Son lieu de travail
- Sa filiale d'appartenance

Et l'organisateur de la journée souhaitera favoriser la socialisation en variant les profils à une même table.

Si l'on s'arrêtait là, le problème de partition ainsi défini serait déjà difficile pour peu que plusieurs critères soient en jeu. S'y ajoutent des contraintes « à la carte » si l'on veut qu'une table d'honneur ait une sur-représentativité de telle ou telle

catégorie de personnel. Ou encore on peut vouloir forcer deux collaborateurs à être à la même table voire l'interdire.

Ce problème se complique significativement quand on y ajoute une dimension « historique ». Les mêmes managers peuvent être réunis plusieurs fois de suite et on va chercher à varier les tables d'une fois à l'autre, pour favoriser les rencontres faites par un même individu. Des expériences menées sur 15 managers, 4 tables et 3 journées, avec une seule caractéristique retenue par manager en font déjà un casse-tête redoutable ressemblant au fameux « social golfer problem » de la littérature.

Quelques heures de travail suffisent néanmoins à créer un outil opérationnel réalisant ces plans de tables en quelques secondes. Au-delà de l'assistance à une tâche ingrate et de l'amélioration de la « qualité » des tables, on constate que :

- L'explicitation et la mise au propre des « règles » par l'organisateur est un exercice à valeur plus ajoutée que leur implémentation, et amène en général à les enrichir
- Le fait de disposer d'un outil rapide permet de mieux faire face aux aléas comme les faux bonds de dernière minute.

### Conclusion

Pour rester dans l'univers du ludique, nous n'avons donné que le parfum des techniques d'optimisation employées, mais on peut schématiquement les résumer par le tableau ci-dessous, avec la légende suivante :

- PL : Programmation Linéaire (essentiellement avec XPRESSMP de Dash, partenaire du e-Lab)
- PPC : Programmation Par Contraintes (avec Choco, solver freeware du groupe OCRC)
- PPCM : Programmation Par Contraintes sur Mesure (algorithmes en Claire, langage de Y. Caseau)
- RL : Relaxation Lagrangienne (avec fab4, du e-Lab ou Dualis d'Artelys, partenaire du e-Lab)
- MONT : Monte-Carlo (algorithmes spécifiques)
- VOIS : Recherche Tabou (algorithmes spécifiques)
- BEND : Décomposition de Benders (Choco et XPRESSMP)
- HYB : Hybridation (sous Choco, avec PL, RL ou VOIS)

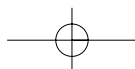
	PL	PPC	PPCM	RL	MONT	VOIS	BEND	HYB
<b>25ans</b>				&		&		
<b>Salage</b>			&			&		
<b>Stock</b>	&		&	&				
<b>Assemblage</b>	&					&		
<b>35heures</b>	&	&		&			&	&
<b>SMS</b>		&						
<b>Spots</b>			&		&	&		
<b>Paquets</b>	&	&		&		&		&
<b>Routage</b>		&						
<b>Tables</b>		&						

La philosophie du e-Lab est profondément agnostique, la typologie et les contraintes opérationnelles des problèmes à traiter guidant la recherche des techniques à adopter. En général, au moins deux techniques sont comparées, et se fertilisent.

La résolution, parfois approchée, des 10 jeux ci-dessus a eu des impacts divers. La gestion des emplois du temps des conseillers de clientèle a par exemple donné naissance à une start-up, numéro 4 mondial de la planification d'emploi du temps en centre d'appels avec plus de 250 000 agents planifiés dans le monde, et un chiffre d'affaires annuel dépassant la 20aine de millions de dollars. La rationalisation de la vente d'espace publicitaire a eu des conséquences aussi heureuses pour TF1 qu'en son temps le « yield management » pour Air France. Les sujets de planification, tels les assemblages de coffrage, ou les ordonnancements de campagnes publicitaires sont intégrés dans des ensembles logiciels bien vivants. Les outils de dimensionnement de travaux de maintenance ont servi à calculer des offres commerciales complexes et innovantes. Enfin, l'effet viral des plans de table automatisés est désopilant.

La difficulté des problèmes évoqués, au sens de la théorie de la complexité, peut en faire des sujets de recherche à part entière, mais du point de vue de nos clients, qui sont passés à autre chose, ils sont clos. Le socle technologique change, la compétition contre-offre, les activités non vitales s'externalisent et il est rare qu'une de nos applications reste à la fois stable et utile pendant un laps de temps supérieur à 2 ans. Aussi avons-nous soumis la plupart de ces problématiques, quand la confidentialité le permettait et après purification académique, à la communauté scientifique pour essayer d'enrichir et de rafraîchir son catalogue de problèmes. Nous espérons très modestement qu'ils participeront à dépoussiérer l'image de la recherche opérationnelle dans le regard de nos lecteurs. Image qui rappelons-le s'est bâtie dans les années 50-60 grâce à la SEMA ou d'autres pionniers en France, en une période où le pays devait planifier sa reconstruction, dans l'intérêt de tous et dans la durée. Image relayée par les gros centres de recherche des monopoles d'état, flamboyants de créativité et de talents, comme ceux d'EDF ou de France Télécom, jusques vers la fin des années 80. Image déclinée dans la plupart des cursus d'écoles d'ingénieurs « généralistes » ou informatiques, dont il reste à ce jour des traces

homéopathiques auxquelles il nous arrive de prendre part (X, Ecoles des Mines, Ponts, ENSTA, Télécom, Ecoles Centrales, ENSIMAG, IIE). La libéralisation régulée du transport, des télé-



coms, des services de l'eau, des médias audiovisuels et bientôt de l'énergie ou de la poste a brisé le mythe d'une optimisation du bien commun à long terme. Les décideurs ont changé d'actionnaires, donc de perspective, le Marketing s'est emparé des cathédrales des ingénieurs, les sites de production ont délaissé le territoire pour donner naissance à ces entreprises « sans usines ». Il nous semble que les mathématiques appliquées, si elles souhaitent continuer à l'être doivent s'adapter à cette nouvelle donne, et offrir, sans doute en lien avec l'informatique, des outils d'aide à ces nouvelles décisions.

### Curriculum vitae de Benoît Rottembourg.

L'auteur de ces pages anime le e-Lab depuis 2001

(<http://www.e-lab.bouygues.com>).

Après un diplôme d'ingénieur de l'IIE et un DEA en informatique, en 1989, il a obtenu un doctorat en informatique à l'université Paris 6 en 1993, sur le thème de l'optimisation combinatoire dans les graphes (recherche d'arbres de Steiner).

Enseignant chercheur à l'ENSTA de 1993 à 1998, il a développé le cursus « Recherche Opérationnelle » de l'école, en centrant ses recherches sur l'optimisation dans les réseaux, et en initiant des activités de conseil dans cette filière pour rapprocher les enseignements des besoins aval de l'industrie et des services.

Séduit par le projet d'Yves Caseau, fondateur du e-Lab, il rejoint Bouygues en 1998. Techniquement, il a participé au sein du e-Lab à l'hybridation de techniques de relaxation convexes avec les techniques de programmation par contraintes, pour l'optimisation de problèmes combinatoires de grande taille.

*Son utopie dominante est qu'il est possible, par des approches quantitatives, de bâtir et d'assortir des offres commerciales tirant parti à la fois de la connaissance du comportement client dans son cycle de vie et de la sensibilité de l'outil de production.*

Auteur d'une quarantaine de publications et communications, avec un goût prononcé pour les travaux de vulgarisation, il est membre de la SMAI (Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles), et des sociétés de Recherche Opérationnelle, américaine

(INFORMS), et anglaise (OR) et a enseigné dans une dizaine d'écoles d'ingénieurs ou d'universités.

Il a été co-fondateur, autour d'Arnaud Renaud, d'ARTELYS, société de service en optimisation stratégique. Vous pouvez le joindre à [brottembourg@bouygues.com](mailto:brottembourg@bouygues.com)

