

Présentation de l'outil informatique NeatWork

Gilles Corcos et Jean-Philippe Vial, juillet 2020.

Les innombrables réseaux de distribution d'eau potable qui existent ou qui doivent être planifiés un peu partout dans le monde, sont conçus selon des critères différents et multiples et en fonction des conditions locales particulières comme : l'origine de l'eau à utiliser ; l'environnement urbain ou rural des communautés qu'ils desservent ; la géomorphologie de la région où le projet se trouve ; le coût du projet ; le type de bâtiments nécessitant accès à l'eau potable et le degré de leur dispersion ; le fait que les habitations sont ou non déjà présentes au moment de la conception du projet ; la présence ou non d'un réseau existant dont il faut programmer l'extension ; la présence ou l'absence de techniciens réparateurs locaux auxquels faire appel en cas de besoin ; la simplicité et les frais d'entretien ; les restrictions dictées par l'urbanisme ; et surtout la facilité d'accès des consommateurs à leur quota d'eau potable.

Il n'est donc pas étonnant que pour s'adapter à ces besoins multiples des outils informatiques, basés sur des modèles mathématiques et des algorithmes de calcul, aient été développés. Ce qui est plus surprenant, c'est que tous les outils que nous connaissons utilisent des modèles dont les hypothèses de base ne sont pas compatibles avec les conditions d'application sur le terrain, auxquelles l'ONG Agua Para La Vida (APLV) [1], et sans doute bien d'autres organisations sont confrontées. Cet état de fait a conduit les développeurs de l'outil informatique NeatWork à adopter une approche très différente de celle consignée dans les manuels et dans les rapports comme [5,6].

L'approche de NeatWork concerne au premier chef des réseaux destinés à de petites communautés rurales pauvres et dispersées et qui ont besoin d'une garantie d'accès à l'eau potable à tout moment, ne nécessitant, au delà de la période de construction, qu'un minimum absolu d'interventions extérieures. Ce choix est motivé par les buts de l'ONG Agua para la Vida, (APLV) qui a pour mission, depuis plus de trente ans, d'aider ces communautés rurales à satisfaire leur droit à l'eau potable. Dans pratiquement tous les cas, le système d'adduction est conçu pour un village qui existe déjà de sorte qu'il est possible de concevoir le projet dans son intégralité. Pour garantir l'appropriation du projet par les villageois et favoriser la réplique des expériences, APLV s'impose de confier les travaux de conception des projets à des techniciens locaux formés dans l'école technique ETAP. Ces techniciens doivent être capables de se passer de la supervision d'ingénieurs grâce à des outils informatiques développés à leur usage. En particulier, pour la conception du réseau de distribution, l'outil NeatWork ne requiert qu'un niveau d'expertise réduit, ce qui facilite sa maîtrise par les techniciens formés par ETAP et fait qu'il est plébiscité par cette petite communauté. Plus de 80 systèmes d'adduction d'eau ont été réalisés avec succès en une vingtaine d'années à partir de NeatWork et continuent à fonctionner sans avoir nécessité d'autres opérations de maintenance que celles de routine exécutées par les techniciens locaux. L'efficacité de l'outil et sa facilité de mise en œuvre par les praticiens ont été récompensées par un prix lors de la septième édition du Water and Sanitation prize parrainé par BID et la fondation FEMSA en 2015.

Pour comprendre l'apport et l'originalité de NeatWork, il est nécessaire de préciser la nature exacte des réseaux auxquels il s'applique. L'objectif de la distribution est de

relier chaque usager à un réservoir par un système de tuyaux protégés aboutissant à des robinets adjacents aux habitations. Les habitants font un usage élémentaire de l'eau fournie par les robinets. Ils recueillent l'eau avec des récipients ou s'en servent directement à la sortie du robinet pour se laver ou laver leur linge. Le réservoir, alimenté par une source contenant de l'eau potable, est situé à l'origine de ce réseau qui a une forme d'arbre, c'est-à-dire qu'il ne comporte aucune maille. L'eau est transportée du réservoir aux robinets par la seule force de la gravité. Comme le début du réseau est la surface libre d'un réservoir et que le réseau se termine par la sortie de robinets, l'énergie disponible est simplement donnée par les différences de niveau entre le réservoir et les robinets. La topographie du réseau, c'est-à-dire sa disposition spatiale, est établie préalablement et est fournie à NeatWork comme une donnée. Le travail de conception consiste alors à sélectionner les équipements (tuyaux) à installer tout au long du réseau pour garantir un service adéquat aux utilisateurs, tout en minimisant le coût de cet équipement.

Pour définir ce que peut être un service adéquat aux utilisateurs, il faut se pencher sur le comportement des utilisateurs. C'est dans cette analyse et dans son utilisation que réside l'originalité de NeatWork. Pour commencer on admet que les utilisateurs soutirent leur quota d'eau à n'importe quelle heure de la journée en ouvrant le robinet qui leur est attribué. La règle générale est qu'à chaque famille est attribué un robinet adjacent à son habitation. Le montant journalier de l'allocation d'eau aux membres de chaque famille et partant, à chaque robinet est un paramètre introduit par le concepteur. Il est le même pour tous les membres, mais le montant prélevé varie durant la journée (période de pointe, période journalière moyenne, etc. définies selon l'usage habituel observé chez des villages similaires). Si la quantité d'eau attribuée à un robinet est prescrite dans un intervalle donné de la journée, il n'est pas dit que le prélèvement s'opère de manière continue et uniforme durant l'intervalle de temps considéré. Par exemple, si le robinet est utilisé pour remplir un récipient de capacité donnée, disons une douzaine de litres, on doit s'attendre à ce que l'utilisateur préposé à cette collecte souhaite faire cette opération aussi rapidement que possible. Pour être concret, si le récipient à remplir a une capacité de 12 litres (déjà lourd pour les quelques pas nécessaires à une gamine pour transporter l'eau du robinet à l'habitation) un remplissage qui durerait 4 minutes serait excessif, et un temps de 2 minutes serait déjà long. Il en résulte que l'utilisateur ouvre puis ferme le robinet, et le laisse fermé jusqu'à un prochain passage. D'une manière générale, le fonctionnement du robinet sera intermittent, avec des alternances d'ouvertures et de fermetures, si bien que le temps total d'ouverture sera toujours inférieur à la durée de la période. Il est donc nécessaire, pour limiter le temps de remplissage, d'assurer à tout moment un débit minimum lorsque le robinet est ouvert. On peut estimer à partir de la donnée d'un débit minimum la proportion du temps où le robinet sera ouvert, proportion qui sera toujours inférieure à 1, et souvent de beaucoup. En revanche, il est impossible de préciser à quels moments s'effectueront l'ouverture et la fermeture. Les arrivées et les départs d'un utilisateur ne peuvent être prédits avec précision ; ils sont typiquement aléatoires. Une conséquence de ces aléas est qu'à chaque moment d'une période d'observation, certains robinets seront ouverts et d'autres fermés suivant une configuration aléatoire.

La question qui se pose est de savoir comment se comportera le système dans un nombre potentiellement très grand de configurations. Est-ce que les utilisateurs bénéficieront d'un débit à peu près constant quelque soit le moment où ils effectuent

un prélèvement, ce qui serait un service adéquat, ou bien feront-ils face à certains moments à des robinets taris, ce qui serait problématique ? *Cette question doit raisonnablement être posée pour tout réseau existant, qu'il ait été conçu par NeatWork ou par tout autre biais.*

La réponse à cette question se fait en deux temps. En premier lieu, les lois physiques qui régissent les écoulements permettent de déterminer avec exactitude les débits pour toute configuration donnée de robinets ouverts. Ces lois sont au nombre de deux, l'une impose la conservation des masses, l'autre la conservation de l'énergie (cette dernière est équivalente à un principe de dissipation minimum d'énergie). Les calculs sont exécutés par un algorithme d'optimisation redoutablement efficace [4], qui donne presque instantanément la solution, permettant sa répétition des milliers de fois sur des configurations différentes. En second lieu, il faut déterminer pour quelles configurations de robinets ouverts il convient de déterminer les écoulements, et donc le service rendu aux utilisateurs. Malheureusement le nombre potentiel de configurations de robinets ouverts est astronomique. Il ne saurait être question de les envisager toutes. Il faut donc faire un sondage en tirant au hasard un échantillon de scénarios représentatifs sur une base statistique solide. Pour cela, NeatWork considère qu'à un moment donné, chaque robinet a une probabilité donnée d'être ouvert, que cette probabilité est indépendante des autres robinets et qu'elle est la même pour tous les robinets. Enfin, cette probabilité est égale à la proportion du temps où un robinet est ouvert durant la période d'analyse (période de pointe, d'étiage, d'entre-deux, etc.). Ce modèle probabiliste est compatible avec les hypothèses faites sur le comportement des utilisateurs : choix libre pour chaque utilisateur des moments de prélèvement, indépendance entre les utilisateurs, même temps d'occupation de chaque robinet.

Ces éléments sont mis en œuvre dans un module dit de **simulation** qui permet de tester tout réseau dont le dimensionnement des tuyaux est connu. Pour chaque robinet, le module de simulation fournit une analyse statistique détaillée des débits observables. Idéalement, on souhaite que le débit moyen soit celui qui permet le soutirage de la quantité d'eau prévue dans la proportion du temps allouée. On s'attend aussi à ce que les écarts par rapport à cette moyenne soient faibles, pratiquement jamais en dessous d'un seuil assigné. Une déviation par rapport à ces exigences indiquerait une forme d'instabilité incompatible avec les hypothèses de départ.

Muni de ce puissant outil d'analyse, le concepteur du projet peut se poser la question du choix des équipements pour le réseau. En effet, il lui sera toujours possible de mesurer a posteriori si ses choix assurent suffisamment de stabilité au réseau, et donc de les réviser si besoin. Pour cela, un deuxième module dit de **design** est mis à disposition du concepteur. Ce module génère une proposition de solution à un problème de choix dans l'incertain particulièrement ardu à formuler et à résoudre. En effet, le travail de conception consiste à fixer **ici et maintenant** le choix des équipements pour faire face, **dans le futur, à une variété** quasi infinie de conditions d'utilisation. Formuler ce problème en termes mathématiques est possible mais la résolution demanderait des ressources informatiques incompatibles avec la cible choisie de son utilisation. A la place, les auteurs de NeatWork ont proposé une ingénieuse approche heuristique qui néglige la première des deux lois des écoulements, celle de la conservation des masses, pour se concentrer sur la conservation de l'énergie. Cette heuristique est pilotée par la recherche d'une solution à **coût minimum**, autre aspect que négligent ou ne traitent que partiellement, les

approches traditionnelles. La méthodologie de l'heuristique est décrite dans le détail dans la publication [3]. NeatWork fournit quasi instantanément une solution que l'utilisateur peut, et doit, tester dans le module de design. Des procédures simples, décrites dans le guide d'utilisateur et des tutoriels en cours de réalisation permettent facilement d'apporter des retouches conduisant à une solution satisfaisante.

En résumé, NeatWork propose une aide à la conception intégrale d'un système d'adduction d'eau à coût minimum, qui précise tous les équipements à mettre en place depuis le réservoir jusqu'à chacun des utilisateurs. La conception tient compte du comportement essentiellement aléatoire des prélèvements d'eau et donne une garantie que des débits réguliers et suffisants seront observés sur le terrain une fois le projet réalisé. Cette garantie est obtenue grâce à un outil puissant de simulation qui confronte le système à une sélection représentative très vaste de situations de fonctionnement. Quelques faits remarquables sont à mettre en avant tout particulièrement.

- L'outil est suffisamment simple et robuste d'utilisation pour que la communauté des techniciens s'en soit emparé et l'ait plébiscité.
- Une fois les données topographiques introduites dans l'outil logiciel, la création et la finalisation du projet ne demandent pas plus qu'une fraction d'heure.
- La qualité des solutions fournies par NeatWork est massivement validée depuis vingt ans par le fonctionnement sans faille des projets réalisés.

Bibliographie

- [1] APLV, *Agua para la Vida*, [Home page](#).
- [2] F. Babonneau, L. Drouet, G. Corcos, and J.-P. Vial, *NeatWork: Software and user guide*. APLV and Ordecys, 2002.
- [3] F. Babonneau, G. Corcos, L. Drouet, and J. P. Vial, "Neatwork: A tool for the design of gravity-driven water distribution systems for poor rural communities," *Infirms Journal on Applied Analytics*, vol. 49, March-April 2019.
- [4] MOSEK ApS, "The MOSEK optimization toolbox for MATLAB manual. Version 9.0.", 2019, <http://docs.mosek.com/9.0/toolbox/index.html>.
- [5] Rossman, L., H. Woo, M. Tryby, F. Shang, R. Janke, and T. Haxton. EPANET 2.2 User Manual. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-20/133, 2020.
- [6] World Bank. 2012. Rural water supply: [Design manual \(English\)](#). Washington, DC:

Post-Scriptum

Etant donné que NeatWork propose une alternative à la pratique usuelle, il est juste de dire un mot de cette dernière. Ce n'est pas chose facile, car s'il est aisé de comprendre, à partir de l'exposé qui précède, que NeatWork procède sur des bases jamais discutées ailleurs dans la littérature, il est beaucoup plus difficile d'affirmer qu'il y a une méthode bien établie pour concevoir le dimensionnement des réseaux qui nous intéressent. Néanmoins, on aura bien compris dans les développements qui précèdent que mettre en avant le souci d'un service adéquat aux robinets et la volonté

d'inclure dans la conception du dimensionnement l'intégralité du réseau jusqu'à chaque robinet oblige à prendre en considération le comportement des utilisateurs qui est par essence stochastique. Comme ce type d'aléas n'est jamais décrit dans la littérature, c'est que les méthodes alternatives l'ignorent et y substituent une valeur moyenne déterministe. Nous affirmons que cette approximation/substitution n'a aucun sens aux extrémités du réseau. Pensons simplement à un robinet censé couler à 0,12 litres par seconde 10% du temps ; il occasionnera dans le conduit qu'il lui est adjacent une alternance de débits de 0,12 l/s et de débits nuls. Remplacer cette situation par un débit moyen constant dans le temps de $0,12 / 10 = 0,012$ l/s (un bien mince filet d'eau) n'a aucun sens et ne peut conduire à un bon dimensionnement. Comme personne ne fait une chose aussi stupide, c'est que la pratique est autre. Elle consiste à se focaliser sur des points du réseau pour lesquels l'approximation déterministe peut avoir un sens. En effet, en un point desservant une dizaine ou plus de robinets, la somme des débits individuels intermittents peut être considérée comme une moyenne à peu près constante et déterministe, par une application (un peu hardie) de la loi des grands nombres. L'ensemble des nœuds qui desservent, chacun, un nombre de robinets supérieur à un certain seuil, définit un sous-réseau, appelé réseau principal. Ce réseau principal est le seul qui fasse l'objet d'une étude de dimensionnement. Le dimensionnement des parties secondaires, qui ne sont pas incluses dans le réseau principal, semble être laissé au savoir-faire des techniciens chargés de la mise en place physique du réseau. Cette approche laisse une question cruciale dans l'ombre : comment s'assurer qu'un service adéquat sera fourni aux utilisateurs alors qu'il n'est pas écrit comment se fait le dimensionnement des parties secondaires ? Il semble qu'il existe une règle, non justifiée, selon laquelle l'existence d'une pression minimale aux nœuds de jonction des parties secondaires au réseau principal permettrait de compléter aisément le dimensionnement. Une deuxième question épineuse est de savoir comment traiter le cas d'un robinet d'utilisateur relié directement au réseau principal. Ce n'est pas l'objet de cette présentation de passer en revue les solutions possibles ; il faut simplement noter que les deux problèmes mentionnés sont automatiquement pris en charge et résolus dans l'approche NeatWork.

Pour illustrer les différences, nous avons traité un exemple réel [6] par les deux approches, stochastique et déterministe. Le rapport sera très prochainement mis en ligne.