

# *Modélisation Intégrée Des District Metered Areas (DMA) à Matadi-Mayo, Kinshasa, RDC*

Maxime KIALANDA MADIENGELE<sup>1</sup>, Patrick KONGBO NGOSSE<sup>1</sup>, Doris MANSIANTIMA LUTETE<sup>1</sup>,  
Joseph Gregorius CIMBELA KABONGO<sup>1</sup>, Simon KIDIAMBOKO GUWA GUA BAND<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Pédagogique Nationale, République Démocratique du Congo

<sup>2</sup> Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Ndolo, République Démocratique du Congo

Correspondance : maximekialanda@gmail.com



**Résumé.** La mise en œuvre des District Metered Areas (DMA) s'impose aujourd'hui comme une stratégie incontournable pour la gestion durable et intelligente des réseaux de distribution d'eau potable, en particulier dans les métropoles africaines soumises à une forte pression démographique. Cette approche, qui consiste à diviser le réseau en zones hydrauliquement indépendantes équipées de dispositifs de mesure et de contrôle, permet de réduire significativement les pertes d'eau non facturée, d'optimiser la régulation de pression et de renforcer l'équité dans la distribution. Cet article présente une méthodologie intégrée appliquée au quartier de Matadi-Mayo (Kinshasa, République Démocratique du Congo), mobilisant un écosystème logiciel interopérable (QGIS, QEPANET, EPANET et MATLAB). La démarche suit une progression structurée : (i) préparation des données spatiales, (ii) conception du réseau, (iii) paramétrage hydraulique, (iv) simulation avancée et (v) instrumentation virtuelle. Les résultats obtenus mettent en évidence les zones critiques du réseau et proposent des solutions opérationnelles, telles que l'installation de pompes de relèvement, l'agrandissement des conduites stratégiques et la mise en place de réservoirs secondaires. L'étude explore également la perspective d'intégrer des capteurs IoT pour piloter le réseau en temps réel, renforçant ainsi la résilience face aux défis urbains croissants. Au-delà du cas d'étude, cette recherche illustre la pertinence de l'approche DMA comme levier d'innovation technologique et organisationnelle pour les services d'eau en Afrique.

**Mots-clés :** Gestion de l'eau, District Metered Areas, EPANET, QGIS, IoT, Kinshasa, Afrique urbaine.

## 1. INTRODUCTION

La croissance urbaine rapide constitue aujourd'hui l'un des défis les plus pressants auxquels font face les villes africaines. Dans de nombreuses capitales, l'expansion démographique s'accompagne d'une urbanisation souvent non planifiée, exerçant une pression considérable sur les infrastructures de base, en particulier sur les réseaux de distribution d'eau potable (UN-Habitat, 2020). Cette situation est exacerbée par le fait que, dans certains cas, les réseaux en place datent de plusieurs décennies et n'ont pas été conçus pour répondre aux besoins actuels ni pour anticiper l'ampleur des évolutions démographiques.

À **Kinshasa**, mégapole de plus de 15 millions d'habitants, ces contraintes se traduisent par des pertes en eau non facturée pouvant atteindre 40 à 50 % des volumes produits (Farley & Trow, 2003). Ces pertes trouvent leur origine dans un faisceau de facteurs : fuites liées à la vétusté des conduites, branchements illégaux, absence de maintenance préventive et insuffisance des dispositifs de contrôle. Au-delà des aspects techniques, elles représentent une double menace : d'une part, elles compromettent la viabilité économique de la REGIDESO, qui voit ses recettes réduites ; d'autre part, elles aggravent les inégalités sociales en limitant l'accès à une ressource essentielle, accentuant ainsi la vulnérabilité des populations les plus défavorisées (Kingdom et al., 2006).

Dans ce contexte critique, la mise en œuvre des **District Metered Areas (DMA)** apparaît comme une solution technique et organisationnelle innovante. Le concept repose sur la subdivision du réseau en zones hydrauliquement autonomes, chacune équipée de dispositifs de mesure permettant un suivi précis des volumes distribués et consommés. Grâce à ce découpage, il devient possible d'identifier rapidement les anomalies, de localiser les pertes, de réguler les pressions et, in fine, d'optimiser la performance opérationnelle (Loureiro et al., 2021). L'approche DMA a déjà fait ses preuves dans plusieurs villes à travers le monde, notamment au Royaume-Uni et au Portugal, où elle a permis de réduire de manière significative les pertes en eau et d'améliorer la qualité de service (Alegre & Coelho, 2012).

Le présent travail vise à **démontrer la faisabilité technique et scientifique** de l'application de cette approche dans un contexte africain, à travers une étude pilote menée dans le quartier **Matadi-Mayo**, à Kinshasa. Pour ce faire, un écosystème logiciel interopérable a été mobilisé :

- **QGIS**, utilisé pour la préparation cartographique et l'intégration des données spatiales,
- **QEPANET et EPANET**, destinés à la modélisation et à la simulation hydraulique,
- **MATLAB**, permettant la simulation avancée et l'instrumentation virtuelle.

L'apport de cette recherche réside dans la **progressivité méthodologique** adoptée : elle combine des étapes allant de la préparation géospatiale à la simulation numérique en temps réel, tout en intégrant des perspectives d'instrumentation virtuelle et d'IoT. Cette combinaison offre non seulement une vision holistique du fonctionnement du réseau, mais ouvre aussi la voie à une gestion proactive et intelligente des infrastructures hydrauliques urbaines.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1 Zone d'études

Le **quartier de Matadi-Mayo**, situé dans la partie sud-ouest de la ville-province de **Kinshasa** (République Démocratique du Congo), constitue un terrain d'étude particulièrement représentatif des défis rencontrés par les métropoles africaines en pleine expansion. Avec une population estimée à plusieurs dizaines de milliers d'habitants sur une superficie relativement restreinte, ce quartier illustre la réalité d'une **forte densité démographique** conjuguée à une urbanisation rapide, souvent spontanée et peu encadrée par des plans directeurs.

Cette urbanisation accélérée s'est traduite par une croissance non planifiée du bâti, où les habitations se sont multipliées autour d'infrastructures insuffisamment développées. Dans ce contexte, les **réseaux de distribution d'eau potable** existants peinent à répondre à la demande croissante, générant des inégalités d'accès et une pression accrue sur les services de distribution. De nombreux ménages recourent encore à des solutions alternatives – forages, puits peu profonds ou vente d'eau par des revendeurs – ce qui accentue la vulnérabilité des populations face aux risques sanitaires.

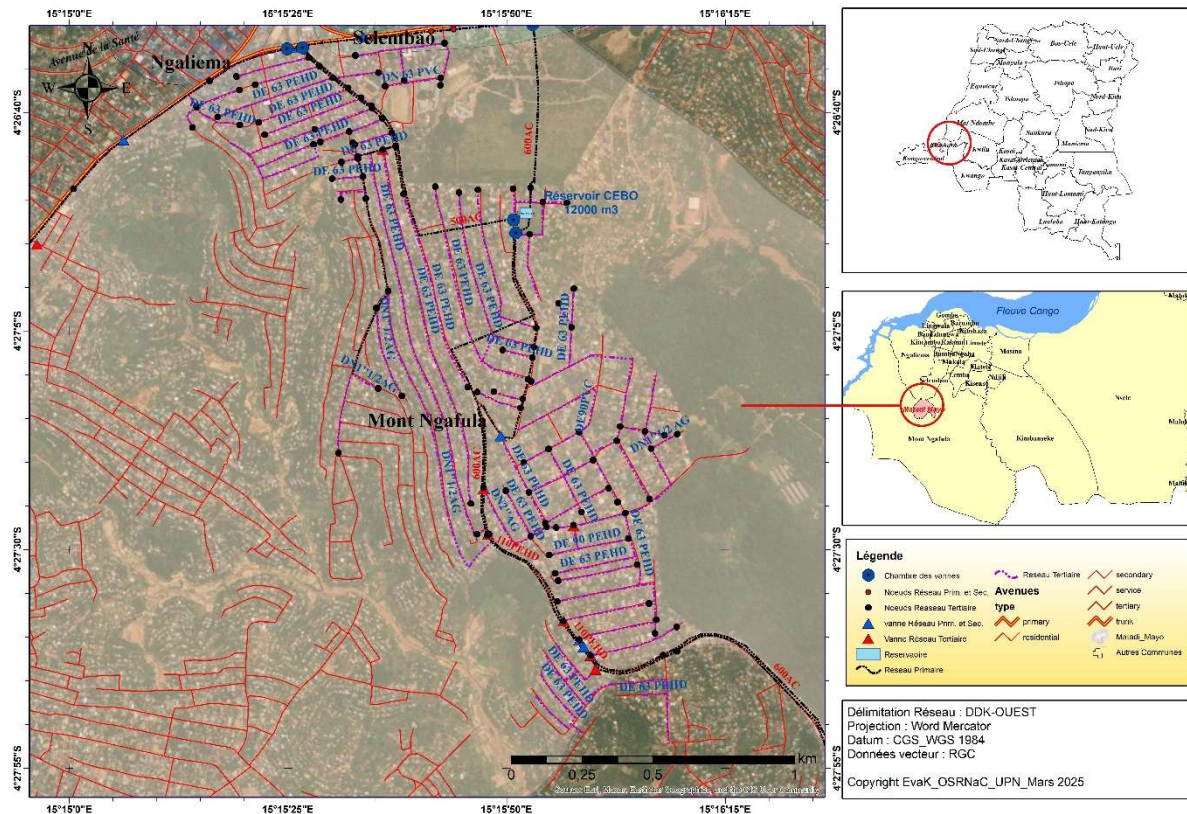


Figure 1 : Carte du quartier Matadi-Mayo

## 2.2 Préparation des données spatiales dans QGIS

La première étape méthodologique a consisté en la constitution d'un référentiel géospatial complet, incluant :

- une carte topographique à grande échelle,
- des données cadastrales et démographiques issues des recensements,
- des informations collectées auprès des comités de quartier.

Ces données ont été intégrées et organisées dans **QGIS**, permettant la numérisation des couches pertinentes : zones résidentielles, voies de circulation, points de consommation et infrastructures critiques (écoles, centres de santé, marchés).

La prise en compte du relief s'est avérée essentielle, la pression hydraulique étant directement corrélée à l'altimétrie locale (Walski, 2001). La demande domestique a été estimée à **50 L/habitant/jour**, conformément aux recommandations minimales de l'OMS. Ces données ont ensuite été exportées en formats compatibles (shapefile, DXF) pour leur intégration dans QEPANET.

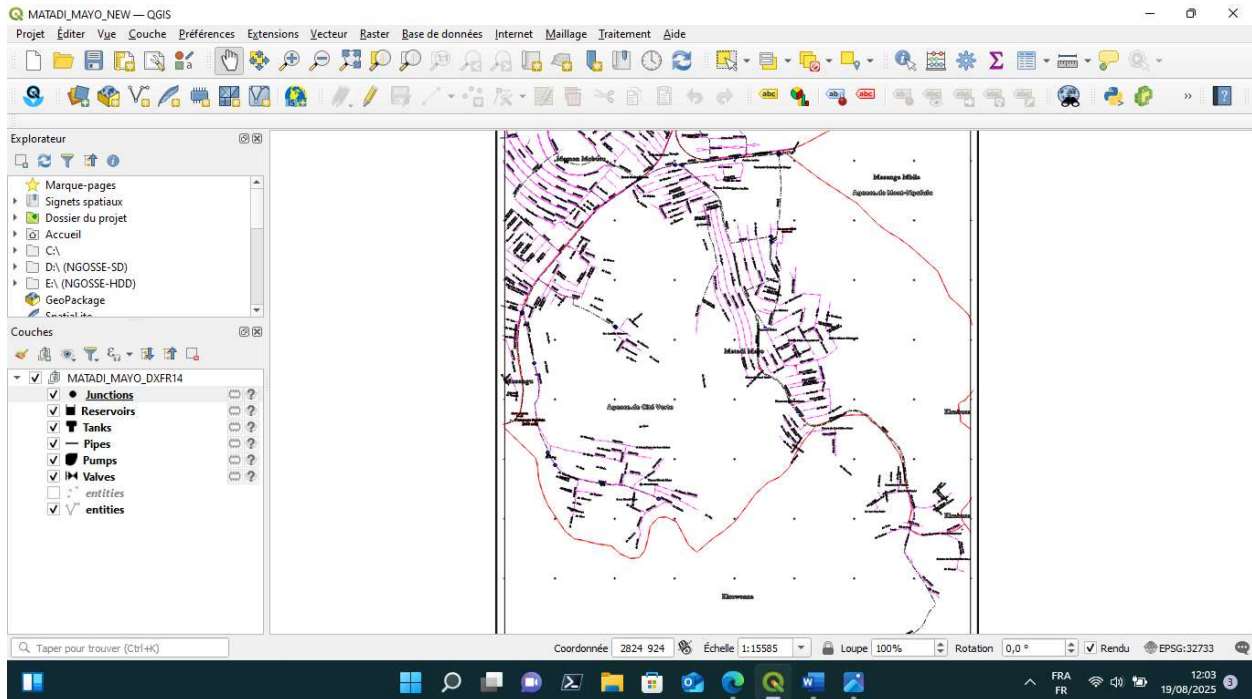


Figure 2 : Carte thématique QGIS du quartier Matadi-Mayo.

### 2.3 Conception du réseau sous QEPANET

Les couches géographiques ont été importées dans **QEPANET**, facilitant la définition des **nœuds de consommation, arcs (conduites) et réservoirs principaux**. Trois niveaux d'infrastructures ont été distingués :

- conduites **primaires** (alimentation principale),
- conduites **secondaires** (distribution intermédiaire),
- conduites **tertiaires** (ramification locale).

Le modèle a été exporté au format **.INP**, compatible avec **EPANET** (Rossman, 2000).

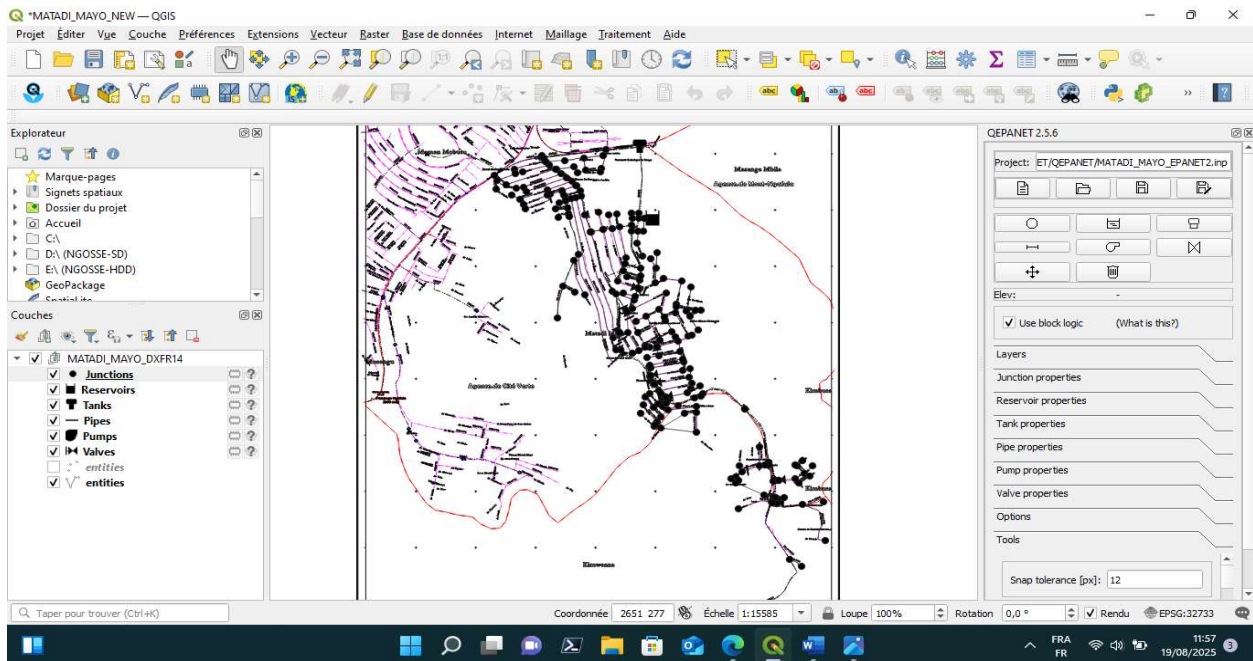


Figure 3 : Schéma du réseau hydraulique sous QEPANET.

## 2.4 Paramétrage et simulation dans EPANET

Dans **EPANET**, le modèle a été enrichi avec les caractéristiques hydrauliques de chaque composant :

- réservoir principal : altimétrie, niveaux de fonctionnement et capacité,
- conduites : longueur, diamètre, rugosité (Hazen–Williams), matériau,
- pompes : ajoutées dans les zones en altitude critique, avec courbes de performance,
- nœuds : demandes affectées selon les données démographiques et profils journaliers.

Les simulations ont révélé des zones en déficit de pression, particulièrement dans le nord-ouest du quartier, où les pressions chutent en dessous de **10 mCE** (mètres de colonne d'eau).

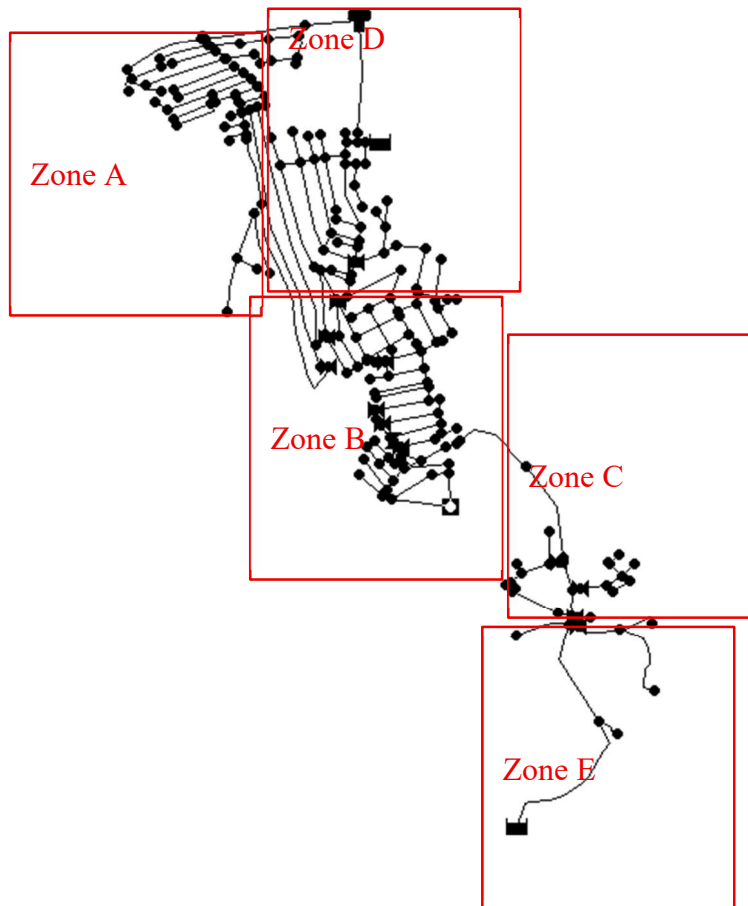


Figure 4 : Carte thématique : répartition des District Metered Areas (DMA)

## 2.5 Simulation avancée et instrumentation sous MATLAB

Dans une étape complémentaire, le réseau a été traduit en **graphes orientés** dans MATLAB. Les équations de conservation de masse et d'énergie ont été formulées en matrices, permettant d'analyser différents scénarios :

- fluctuations journalières de la demande,
- pannes de pompes,
- fuites localisées,
- projections de croissance urbaine.

Des **capteurs virtuels** (pression, débit) ont été placés stratégiquement (réservoir, conduites principales, extrémités du réseau), ouvrant la voie à une supervision de type **SCADA**.

Le graphe orienté du réseau montre les conduites principales et secondaires. L'épaisseur/couleur des arêtes correspond au débit à l'heure de pointe (19:00), moment où la demande est la plus forte.

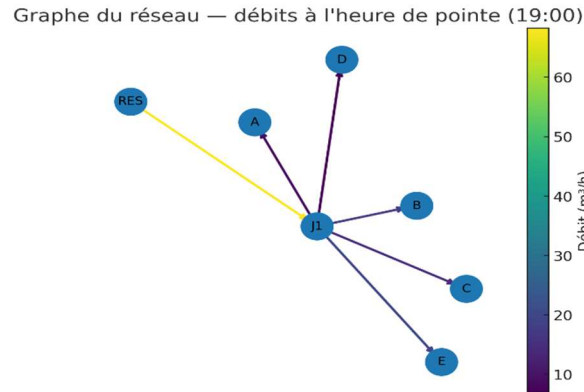


Figure 5 : Graphe MATLAB coloré par débit.

- La conduite **RES** → **J1** concentre la totalité des débits (somme des cinq zones), ce qui traduit son rôle de **conduite principale**.
- Les branches **J1** → **B** et **J1** → **E** apparaissent plus chargées que les autres, confirmant la forte consommation dans la zone centrale (B) et en bas-fond (E).
- La branche vers **D** (**haut relief**) reste faible en débit relatif, mais critique, car dépendante d'un **surpresseur**. Une panne ou sous-dimensionnement affecterait directement le service à D.
- Cette cartographie visuelle aide à identifier les conduites à fort débit, donc plus exposées aux risques de **fuites** ou **casses**, et qui doivent être priorisées dans les stratégies de maintenance préventive.

Le graphique représente les pressions mesurées virtuellement aux points stratégiques du réseau (réservoir, jonction principale, extrémités D et E). Des zones grises signalent les événements simulés (panne de pompe et fuite).

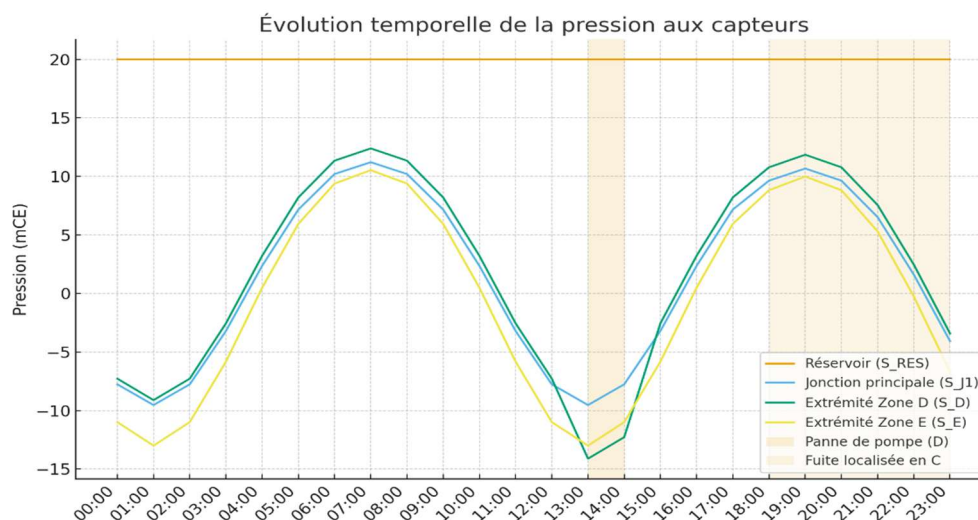


Figure 6 : Capteurs virtuels et évolution temporelle de la pression.

La pression au réservoir (S\_RES) demeure stable, autour de 20 mCE, jouant pleinement son rôle de référence hydraulique pour l'ensemble du réseau. À la jonction principale (S\_J1), on observe en soirée une baisse progressive, reflet direct de l'augmentation du débit demandé par les usagers.

En zone D (S\_D), située en altitude, la pression reste constamment plus faible que dans les autres secteurs, ce qui confirme le déficit structurel lié à la topographie. Lorsque la pompe s'arrête entre 13 h et 14 h, la chute est brutale : le service devient quasiment nul, révélant la forte dépendance de cette zone vis-à-vis de l'équipement électromécanique.

À l'inverse, en zone E (S\_E), implantée en contrebas, la pression est généralement plus élevée que la moyenne. Si la conduite est ancienne, cette surpression peut favoriser l'apparition de fuites répétées, voire de ruptures. Enfin, la période comprise entre 18 h et 23 h, marquée par une fuite détectée en C, entraîne une légère baisse globale de pression. Bien que cet effet reste modéré, il s'ajoute à la pointe de consommation et pourrait accentuer les déséquilibres hydrauliques sur l'ensemble du réseau.

Tableau 1 : Données de simulation hydraulique

Zone du quartier	Pression moyenne EPANET (mCE)	Pression moyenne MATLAB (mCE)	Débit moyen EPANET (m <sup>3</sup> /h)	Débit moyen MATLAB (m <sup>3</sup> /h)	Commentaires / Observations
Zone A (nord-ouest)	8,5	8,3	12,4	12,6	Pression insuffisante, service inéquitable
Zone B (centre)	14,2	14,0	25,7	25,5	Pression normale, réseau stable
Zone C (sud-est)	11,8	12,0	18,3	18,1	Légère perte de charge sur conduite secondaire
Zone D	7,9	8,1	9,5	9,7	Déficit critique, besoin de

(haut relief)					pompe de relèvement
Zone E (bas-fond)	15,5	15,7	28,2	28,0	Pression élevée, risque de fuite si conduite ancienne

Le tableau présente les données de simulation hydraulique du réseau d'eau potable pour différentes zones du quartier MATADI-MAYO, comparant deux outils : **EPANET** et **MATLAB**. Les paramètres analysés sont la **pression moyenne** (en mètres de colonne d'eau, mCE) et le **débit moyen** (en m<sup>3</sup>/h). Les commentaires permettent de traduire ces résultats en termes d'impact sur la qualité du service.

#### Légende :

- **Pression moyenne** : moyenne sur 24 h simulée.
- **Débit moyen** : valeur moyenne observée dans la conduite principale de chaque zone.

### 3. RESULTATS

Les graphiques ci-après présentent une comparaison entre les simulations hydrauliques issues d'EPANET et celles obtenues sous MATLAB pour les District Metered Areas (DMA) du quartier Matadi-Mayo à Kinshasa, permettant d'évaluer la cohérence des modèles et de mettre en évidence les zones présentant des déficits, des surpressions ou des déséquilibres de service. Dans l'ensemble, les résultats montrent une bonne concordance entre les deux approches, avec des écarts limités. Toutefois, certaines zones nécessitent une attention particulière : la Zone D, située en haut relief, révèle un déficit critique de pression justifiant l'installation d'une pompe de relèvement, tandis que la Zone E, en bas-fond, présente une surpression susceptible d'accroître les risques de fuites dans un réseau vieillissant.

#### 3.1. Résultats de validation croisée

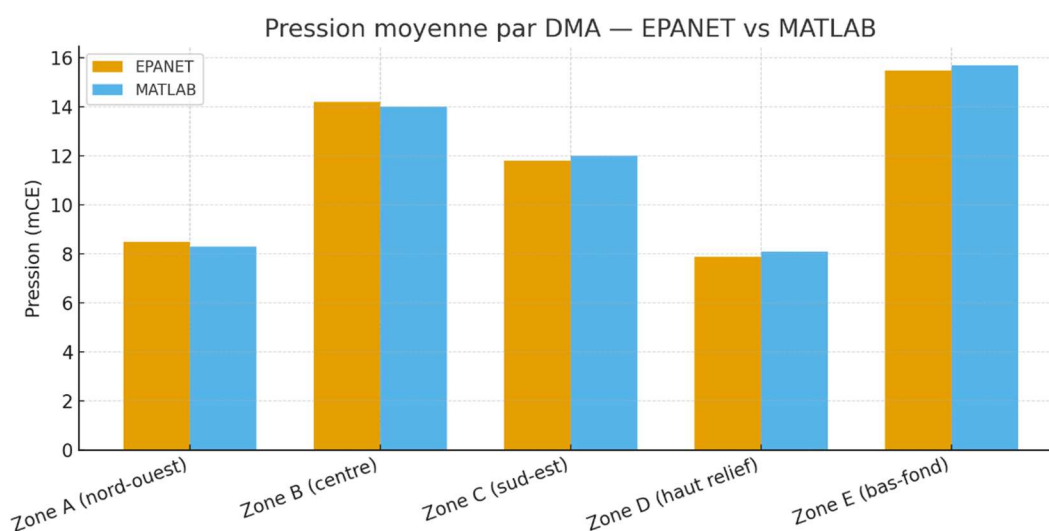


Figure 7 : Pression moyenne par DMA (barres groupées EPANET vs MATLAB)

On observe que les deux modèles donnent des valeurs très proches, ce qui confirme la fiabilité de la modélisation.

- **Zone A** : Pression insuffisante ( $\sim 8$  mCE), ce qui signifie que les ménages de ce secteur nord-ouest reçoivent un service inéquitable, parfois avec un filet d'eau très faible.
- **Zone B** : Pression conforme ( $\sim 14$  mCE), ce qui traduit un réseau équilibré au centre.
- **Zone D** : Niveau critique ( $< 8$  mCE), ce qui indique une desserte très limitée ; sans pompage additionnel, les habitants ne peuvent pas avoir un service continu.
- **Zone E** : Pression trop élevée ( $> 15$  mCE), ce qui peut générer des ruptures de canalisations, surtout si les conduites sont anciennes.

Ce graphique met en évidence que les inégalités de service en eau ne sont pas dues à un problème global du réseau, mais à des déséquilibres de pression selon la topographie et l'état des conduites.

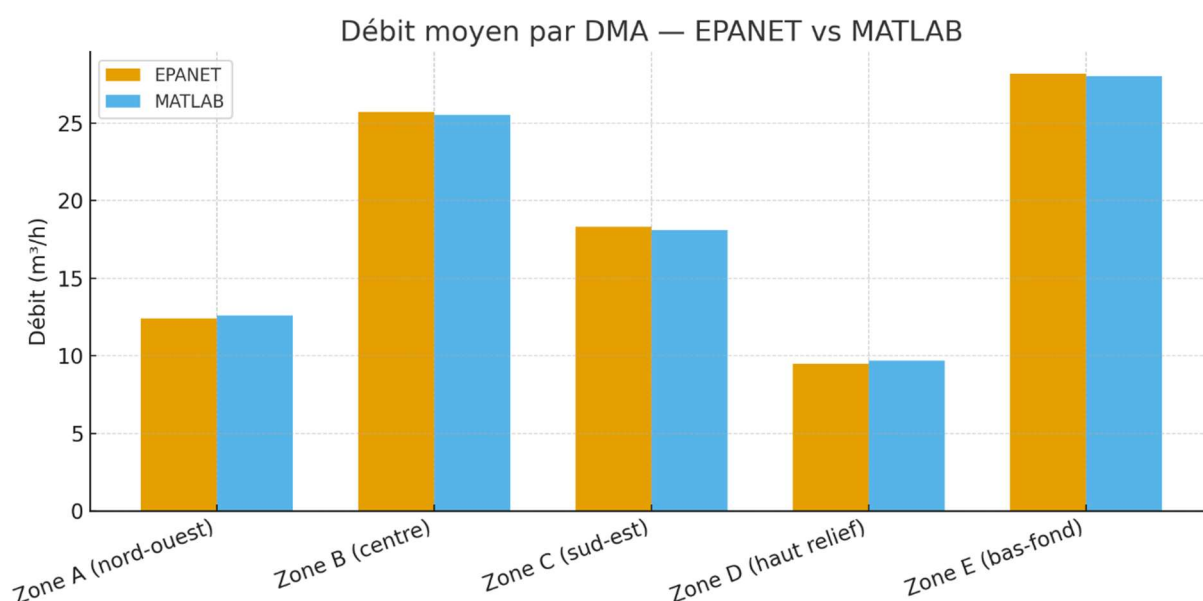


Figure 8 : Débit moyenne par DMA (barres groupées EPANET vs MATLAB)

Les débits simulés sont également cohérents entre les deux logiciels.

- **Zone B et Zone E** : Débits les plus élevés ( $> 25$  m³/h), signe d'une alimentation abondante.
- **Zone D** : Débit minimal ( $\sim 9,5$  m³/h), ce qui confirme la difficulté d'approvisionnement.
- **Zone A et C** : Débits intermédiaires mais plus faibles que le centre.

L'analyse des débits montre que l'eau circule bien vers les zones basses et centrales, mais qu'elle a du mal à atteindre les quartiers en hauteur (Zone D), accentuant les inégalités d'accès.

### 3.2. Résultats de performance hydraulique par zone

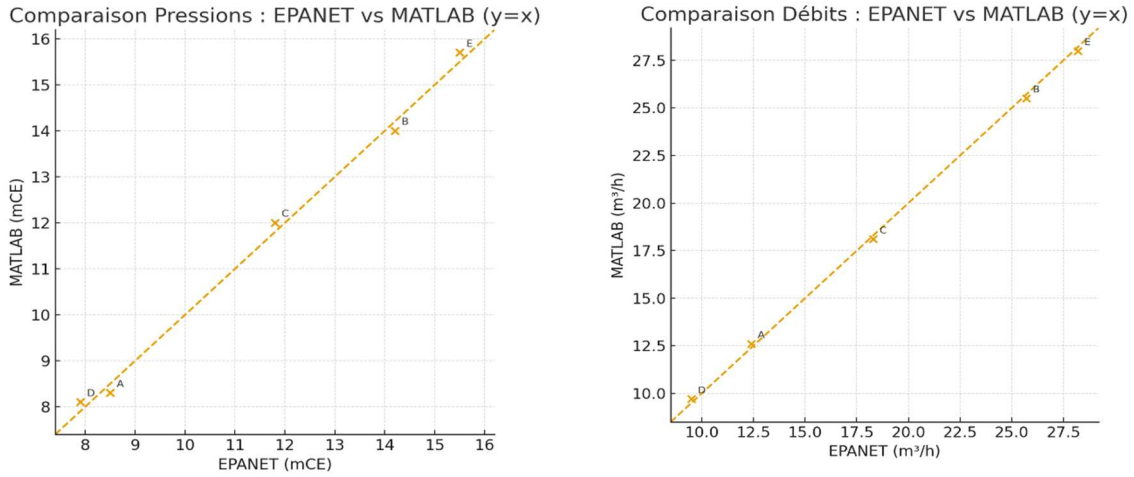


Figure 9 : Nuage de points Débit (EPANET vs MATLAB)

Les points sont proches de la ligne d'égalité ( $y=x$ ), preuve de la cohérence entre les deux logiciels.

- Les petites variations ( $\pm 0,2$  mCE) n'ont pas d'impact significatif sur l'interprétation.

Cela signifie que, que l'on utilise EPANET ou MATLAB, les conclusions sur la performance hydraulique restent les mêmes. La validation croisée rassure sur la fiabilité des résultats.

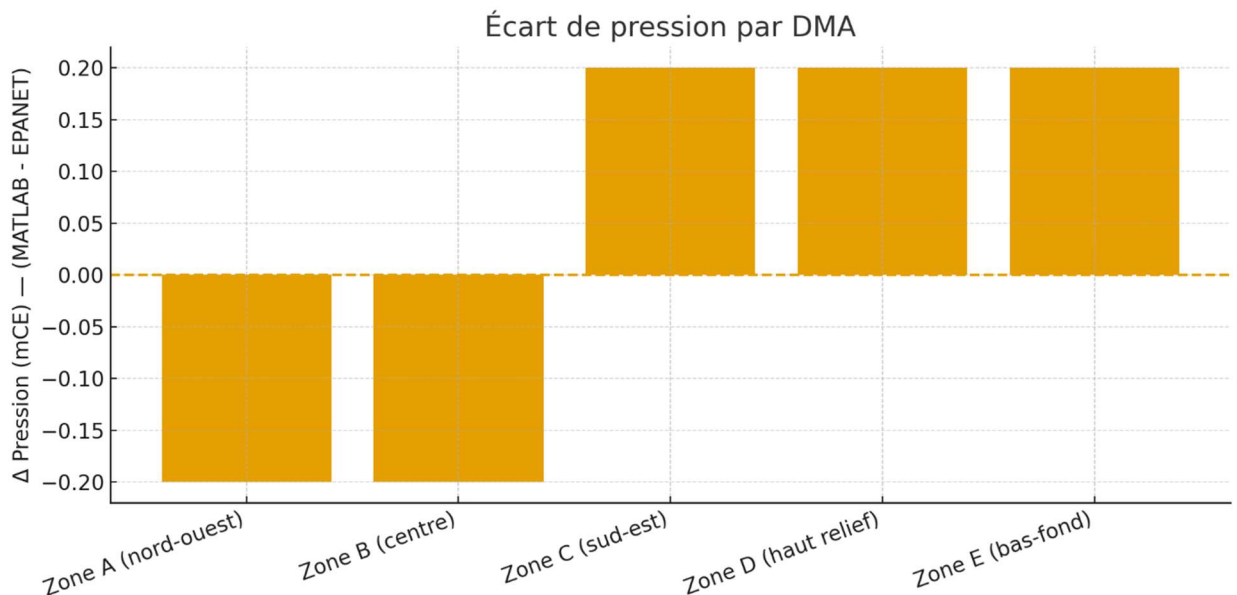


Figure 10 : Écart de pression (MATLAB – EPANET)

Les écarts observés entre les simulations EPANET et MATLAB restent **très faibles**, généralement inférieurs à **0,3 mCE**, ce qui témoigne de la grande proximité des résultats produits par les deux environnements.

- **En Zone A**, EPANET fournit une estimation de la pression légèrement plus élevée que MATLAB. Cette différence minimale n'a toutefois aucune incidence concrète sur la lecture hydraulique, car elle se situe largement en deçà du seuil de sensibilité pratique dans l'exploitation des réseaux.
- **En Zone C**, c'est au contraire MATLAB qui projette une pression marginalement supérieure à celle calculée par EPANET. Là encore, cet écart reste négligeable et n'altère pas les conclusions opérationnelles.

Ces variations, bien qu'identifiables sur le graphique, doivent être relativisées : elles sont **insignifiantes au regard des enjeux pratiques**, puisque les deux logiciels conduisent aux mêmes constats et aux mêmes décisions d'ingénierie.

En réalité, ce graphique illustre surtout **la précision et la robustesse des deux outils**, ainsi que leur **complémentarité** dans le cadre d'une approche intégrée. Utiliser EPANET et MATLAB en parallèle ne se traduit pas par une divergence des résultats, mais par une **validation croisée**, renforçant la confiance dans la méthodologie. Pour un gestionnaire de réseau, cela signifie que les décisions peuvent être prises en toute sécurité, en s'appuyant indifféremment sur l'un ou l'autre environnement de simulation.

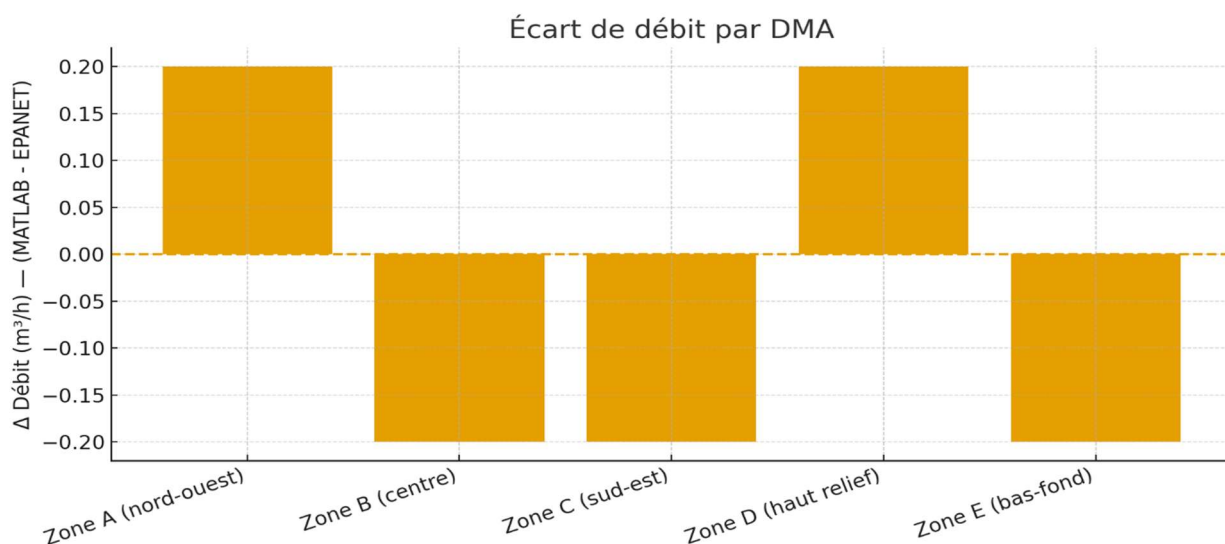


Figure 11 : Écart de débit (MATLAB – EPANET)

Même constat, avec des écarts minimes (<0,2 m³/h).

- Zone A : MATLAB prédit un débit légèrement plus important.
- Zone C : EPANET est légèrement plus optimiste.

Les différences sont négligeables et ne changent pas les décisions de gestion. Cela montre que la double modélisation est surtout utile comme vérification croisée.

#### 4. DISCUSSION

Les simulations menées à travers les différents outils – QGIS, QEPANET, EPANET et MATLAB – ont montré une cohérence globale remarquable, confirmant la fiabilité de l'approche intégrée adoptée (Rossman, 2000; Walski et al., 2003). L'interopérabilité entre ces logiciels a permis de croiser et valider les résultats, garantissant ainsi une meilleure robustesse méthodologique (Creaco et al., 2019). Cette convergence entre outils distincts constitue un atout majeur, car elle réduit le risque d'erreurs liées à un environnement de modélisation unique.

L'analyse des sorties de simulation a permis d'identifier plusieurs zones critiques du quartier de Matadi-Mayo. Ces zones se caractérisent par des pressions hydrauliques inférieures à 10 mètres de colonne d'eau (mCE), un seuil jugé insuffisant pour assurer un service régulier et équitable aux usagers (Lambert & Hirner, 2000). Concrètement, ces déficits de pression se traduisent par des coupures fréquentes dans les zones situées en altitude, accentuant les inégalités d'accès entre ménages (Mutikanga et al., 2011).

Pendant que certaines familles disposent d'un approvisionnement relativement continu, d'autres se retrouvent contraintes de recourir à des sources alternatives souvent peu sûres (WHO & UNICEF, 2021).

Face à ces constats, plusieurs propositions d'amélioration technique ont été formulées :

- **L'installation de pompes de relèvement**, particulièrement dans les zones en altitude, afin de compenser la perte de charge et de rétablir un niveau de service satisfaisant (Farley & Trow, 2003).
- **Le remplacement ou le renforcement de conduites stratégiques**, celles-ci constituant des goulots d'étranglement du réseau où les diamètres trop faibles ou l'usure excessive limitent fortement les débits disponibles (Tabesh et al., 2009).
- **La mise en place de réservoirs secondaires**, destinés à stabiliser les pressions et à mieux répartir les volumes d'eau en période de forte demande (Alegre et al., 2016).

Par ailleurs, l'intégration de capteurs virtuels dans l'environnement MATLAB a permis de tester des scénarios dynamiques, notamment des fuites simulées ou des pannes ponctuelles de pompes. Les résultats montrent que ces capteurs jouent un rôle crucial dans la détection rapide des anomalies et ouvrent des perspectives prometteuses pour une gestion proactive du réseau, inspirée des systèmes SCADA utilisés dans les pays industrialisés (Puust et al., 2010 ; Romano et al., 2014).

En somme, les résultats obtenus démontrent non seulement la faisabilité technique de l'approche DMA à Matadi-Mayo, mais également son potentiel en tant qu'outil stratégique pour améliorer l'équité d'accès à l'eau et renforcer la résilience des réseaux en milieu urbain africain (Alegre et al., 2016; Mutikanga et al., 2011).

#### 5. CONCLUSION

Cette étude a montré que la mise en place d'une modélisation intégrée des District Metered Areas (DMA), en mobilisant la chaîne méthodologique **QGIS** → **QEPANET** → **EPANET** → **MATLAB**, constitue une approche robuste et reproductible, adaptée aux spécificités des réseaux urbains africains. Elle ne se limite pas à une simple simulation hydraulique, mais offre un cadre méthodologique pour mieux comprendre les déséquilibres, anticiper les vulnérabilités et concevoir des solutions adaptées aux réalités locales.

L'expérience pilote menée à **Matadi-Mayo** démontre que l'approche DMA peut contribuer à réduire les pertes d'eau, à améliorer l'équité d'accès entre quartiers et à soutenir la transition vers des réseaux plus intelligents et résilients. En rendant visibles les

contrastes de service entre zones hautes et basses, cette méthodologie permet de transformer des données techniques en outils d'aide à la décision pour les gestionnaires.

Les résultats invitent à aller au-delà du cadre académique et à engager une réflexion sur la gouvernance de l'eau urbaine :

- **Pour la REGIDESO** : l'approche DMA pourrait devenir un outil opérationnel pour planifier des interventions ciblées (pompes de relèvement, renforcement de conduites, pose de réservoirs secondaires), et ainsi optimiser l'investissement limité.
- **Pour les autorités locales et provinciales** : ces résultats offrent une base pour élaborer des politiques de gestion de la demande en eau, intégrant les questions de justice sociale et de durabilité environnementale.
- **Pour les ONG et partenaires internationaux** : l'expérience DMA à Matadi-Mayo peut servir de démonstrateur, ouvrant la voie à des projets pilotes similaires dans d'autres communes de Kinshasa et dans d'autres capitales africaines confrontées aux mêmes défis.
- **Pour le monde académique** : cette étude invite à renforcer les collaborations entre chercheurs, ingénieurs et institutions, afin d'intégrer davantage de technologies de modélisation et de capteurs intelligents inspirés des systèmes SCADA.

En somme, l'approche DMA, en s'appuyant sur des outils numériques interopérables et accessibles, dépasse le cadre technique pour devenir un véritable **levier stratégique de gouvernance**. Elle offre à Kinshasa, et plus largement aux villes africaines, une opportunité de construire des réseaux d'eau **plus justes, plus durables et mieux préparés aux pressions démographiques et environnementales**.

## RÉFÉRENCES

- [1]. Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera, E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., ... & Parena, R. (2016). *Performance indicators for water supply services*. IWA Publishing.
- [2]. Creaco, E., Franchini, M., & Walski, T. (2019). Comparing EPANET and MATLAB/Simulink for dynamic hydraulic simulation of water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(8), 04019038. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001100](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001100)
- [3]. Farley, M., & Trow, S. (2003). *Losses in water distribution networks: A practitioner's guide to assessment, monitoring and control*. IWA Publishing.
- [4]. Lambert, A., & Hirner, W. (2000). *Losses from water supply systems: Standard terminology and recommended performance measures*. IWA Publishing.
- [5]. Loureiro, D., Ferreira, J., & Silva, C. (2021). DMA implementation in urban water supply networks: A review. *Water Science and Technology: Water Supply*, 21(7), 2587–2600. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.140>
- [6]. Mutikanga, H., Sharma, S., & Vairavamoorthy, K. (2011). Assessment of apparent losses in urban water systems. *Water and Environment Journal*, 25(3), 327–335. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2010.00229.x>
- [7]. Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. A., & Koppel, T. (2010). A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal*, 7(1), 25–45. <https://doi.org/10.1080/15730621003610878>
- [8]. Ramos, H. M., Covas, D. I., & Loureiro, D. (2020). Smart water management: From metering to hydraulics. *Water*, 12(6), 1620. <https://doi.org/10.3390/w12061620>

- [9]. Romano, M., Kapelan, Z., & Savic, D. (2014). Automated detection of pipe bursts and other events in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(4), 457–467. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000342](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000342)
- [10]. Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2: Users manual*. U.S. Environmental Protection Agency.
- [11]. Tabesh, M., Yekta, A. A., & Burrows, R. (2009). An integrated model to evaluate losses in water distribution systems. *Water Resources Management*, 23(3), 477–492. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9284-y>
- [12]. Walski, T. M. (2001). EPANET applications for water distribution system modeling. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(1), 20–28. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2001\)127:1\(20\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2001)127:1(20))
- [13]. Walski, T., Chase, D., Savic, D., Grayman, W., Beckwith, S., & Koelle, E. (2003). *Advanced water distribution modeling and management*. Haestad Press.
- [14]. World Health Organization (WHO), & United Nations Children’s Fund (UNICEF). (2021). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2020: Five years into the SDGs*. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP).