

Présenté par



Google Cloud

Accelerate Rapport sur l'état du DevOps en 2023



Sponsors Premier



Deloitte.

Qorik

v. 2023-12

Table des matières

Avant-propos

Synthèse	03
Concepts et mesures	06

Chapitre 1

Où en êtes-vous ?	10
-------------------------	----

Chapitre 2

Une approche axée sur l'utilisateur	17
---	----

Chapitre 3

Les capacités techniques influencent les performances	20
--	----

Chapitre 4

La documentation est primordiale	27
--	----

Chapitre 5

La fiabilité optimise les performances	31
---	----

Chapitre 6

Une infrastructure flexible est la clé du succès	38
---	----

Chapitre 7

Tout effort est vain sans investir dans la culture d'entreprise	45
--	----

Chapitre 8

Votre identité compte, et voici pourquoi	51
---	----

Le mot de la fin

Conclusions	57
Remerciements	58
Auteurs	59
Méthodologie	62
Données démographiques et sur les entreprises	72
Modèles	81
Documentation complémentaire	91
Annexe	92

Toutes les citations datent du 27 septembre 2023

Synthèse

Depuis près de dix ans, le programme de recherche DORA étudie les capacités et mesures des organisations très performantes basées sur la technologie. Nous avons échangé avec plus de 36 000 professionnels d'entreprises de toutes tailles et de secteurs d'activité variés. Nous les remercions pour les informations précieuses qu'ils ont partagées avec nous.

DORA tente de comprendre la relation entre les méthodes de travail (c'est-à-dire les capacités) et les résultats obtenus, à savoir les succès importants pour l'organisation et les personnes qui la composent. Cette étude s'appuie sur une évaluation statistique rigoureuse et ne dépend d'aucune plate-forme (reportez-vous à la section [Méthodologie](#)).

Nous espérons que les informations présentées ici donneront aux responsables et aux professionnels une idée des aspects sur lesquels ils peuvent agir.

L'étude de cette année s'est penchée sur trois résultats clés et sur les capacités qui contribuent à les atteindre :

- **Performances organisationnelles** : l'organisation doit générer non seulement des revenus, mais aussi de la valeur pour ses clients comme pour la collectivité au sens large.
- **Performances des équipes** : la capacité d'une équipe travaillant sur une application ou un service à créer de la valeur, innover et collaborer.
- **Bien-être des employés** : une organisation ou une équipe doit adopter des stratégies bénéfiques aux employés qui permettent de limiter le surmenage, de favoriser une expérience satisfaisante au travail et d'augmenter la capacité des collaborateurs à générer de la valeur (productivité).

L'étude a également exploré les moyens ou les mesures de performances que nous considérons souvent comme une fin en soi :

- **Performances concernant la livraison de logiciels** : les équipes peuvent modifier leurs systèmes technologiques de manière sécurisée, rapide et efficace.
- **Performances opérationnelles** : le service propose une expérience fiable à ses utilisateurs.



Principales conclusions



Instaurer une culture saine

La culture est fondamentale lorsqu'il s'agit d'établir des capacités techniques, d'accroître les performances techniques, d'atteindre les objectifs de performances organisationnelles et d'aider les employés à réussir. Les équipes mues par une culture générative affichent des performances organisationnelles 30 % supérieures aux autres.



Placer l'utilisateur au cœur de toutes les initiatives

Une approche axée sur l'utilisateur peut être à l'origine d'améliorations dans tous les aspects techniques, culturels et liés aux processus que notre étude aborde. Une équipe peut déployer un produit rapidement et avec brio, mais si elle ne se concentre pas sur l'utilisateur, ce peut être un coup d'épée dans l'eau. Les équipes qui accordent la priorité à l'utilisateur affichent des performances organisationnelles 40 % supérieures aux autres.



Accroître les performances de livraison de logiciels en accélérant les revues de code

Accélérer les revues de code est l'un des moyens les plus efficaces d'améliorer les performances de livraison de logiciels. Les équipes qui examinent le code plus rapidement affichent des performances de livraison de logiciels 50 % supérieures aux autres.



Renforcer les capacités techniques avec une documentation de qualité

Une documentation de qualité amplifie l'impact des capacités techniques sur les performances organisationnelles. Par exemple, d'après une estimation, le développement à branche unique a 12,8 fois plus d'impact sur les performances organisationnelles s'il est accompagné d'une documentation de qualité par rapport à une documentation médiocre.



Augmenter la flexibilité de l'infrastructure avec le cloud

Le cloud computing présente l'avantage d'offrir une infrastructure flexible. Par exemple, l'utilisation d'un cloud public entraîne une hausse de 22 % de la flexibilité de l'infrastructure par rapport à un environnement sans cloud. Cette flexibilité génère quant à elle des performances organisationnelles 30 % supérieures à celles des infrastructures non flexibles. Pour optimiser la valeur du cloud, la clé est de tirer parti de ses caractéristiques et fonctions uniques, c'est-à-dire la flexibilité de l'infrastructure.



Équilibrer vitesse de livraison, performances opérationnelles et approche axée sur l'utilisateur

Pour que vos performances organisationnelles soient optimales, vos performances opérationnelles et de livraison de logiciels doivent être solides. En combinant de façon équilibrée ces deux types de performances à une approche axée sur l'utilisateur, vous obtiendrez des résultats organisationnels optimaux tout en améliorant le bien-être des employés.



Répartir équitablement la charge de travail

Les individus qui s'identifient comme sous-représentés, les femmes et les personnes qui ont choisi de décrire elles-mêmes leur genre présentent des niveaux de surmenage plus élevés. Cette situation est probablement due à de multiples facteurs systémiques et environnementaux. Sans surprise, nous constatons que les personnes interrogées qui assurent des tâches répétitives sont davantage à risque de ressentir un degré élevé de surmenage, et les groupes sous-représentés sont plus susceptibles d'assumer ce type de tâches. Les personnes interrogées des groupes sous-représentés sont 24 % plus surmenées que celles des autres groupes. Les personnes interrogées des groupes sous-représentés effectuent 29 % de tâches répétitives en plus que celles des autres groupes. Les femmes et les personnes qui décrivent elles-mêmes leur genre effectuent 40 % de tâches répétitives en plus que les hommes.

Appliquer les informations issues de la recherche DORA à votre situation

Les équipes qui adoptent un état d'esprit d'amélioration continue et le mettent en pratique tendent à en tirer de nombreux avantages¹. DORA peut vous aider dans vos initiatives d'amélioration.

Pour tirer pleinement parti de cette étude, adaptez-la à votre équipe et à vos utilisateurs. Par exemple, nous avons indiqué précédemment que les équipes qui révisent le code rapidement affichent des performances de livraison de logiciels 50 % supérieures aux autres. Il est toutefois peu probable que vos performances de livraison de logiciels s'améliorent si vos revues de code sont déjà rapides, mais qu'un autre point du système freine le rythme global. La mise en contexte de cette étude est possible dès lors que les professionnels discutent de la façon dont le travail est accompli actuellement. Ce type de discussion peut faire gagner en empathie, améliorer la collaboration et permettre de comprendre les motivations de chaque participant.

Le travail d'amélioration n'est jamais fini : trouvez le goulot d'étranglement dans votre système, éliminez-le et répétez le processus. Les comparaisons les plus parlantes sont celles qui portent sur une même application au fil du temps, et non les comparaisons avec d'autres applications, organisations ou secteurs d'activité.

Métriques et mesures

Les métriques et les tableaux de bord aident les équipes à surveiller leur progression et à se corriger.

Les professionnels et les responsables s'efforcent d'optimiser les performances organisationnelles et des équipes, ainsi que le bien-être au travail. Cependant, réaliser des mesures spécifiques n'est pas l'objectif final, pas plus que la livraison de logiciels.

Se préoccuper uniquement des métriques de performances peut mener à des comportements inefficaces. Investir dans les capacités et dans la formation est une voie plus intéressante vers le succès. Les équipes qui apprennent sont celles qui s'améliorent le plus.

S'améliorer est une affaire collective

Nous pouvons tous apprendre de l'expérience des autres, et le site de la communauté DORA est une excellente plate-forme d'échange et d'apprentissage pour s'améliorer : <https://dora.community>.

¹2022 Accelerate State of DevOps Report.
<https://dora.dev/research/2022/dora-report/2022-dora-accelerate-state-of-devops-report.pdf#page=7>



Concepts et mesures

Cette section décrit les concepts que DORA tente de mesurer¹. Ce sont ces éléments qui constituent le socle de ce rapport et de nos modèles. Cette partie inclut les ingrédients que nous avons utilisés pour préparer ce rapport. Il est donc important que nous, les auteurs, soyons clairs sur la définition de ces concepts et que nous en parlions de façon cohérente. Les tableaux ci-après sont conçus pour faire en sorte que nous tous, lecteurs comme auteurs, entendions clairement et de la même manière la terminologie employée.

Puisque bon nombre des concepts de ce rapport présentent de multiples facettes, nous utilisons souvent plusieurs indicateurs pour les saisir. Pour évaluer notre capacité à bien saisir ces concepts, nous avons eu recours à l'analyse factorielle exploratoire et à l'analyse factorielle confirmatoire. Vous pourrez en apprendre davantage dans la section [Méthodologie](#). Après avoir évalué nos méthodes de mesure, nous avons établi des scores de 0 à 10, 0 représentant l'absence totale d'un concept et 10 la présence maximale d'un concept. Nous avons adopté cette approche pour présenter le fonctionnement de ces concepts de façon standardisée et comparer les données d'une année sur l'autre.

Chaque concept abordé est accompagné des éléments suivants :

- Une icône pour en refléter la signification et, en principe, faciliter son identification à l'aide de ce chapitre comme référence.
- Le score moyen de ce concept dans l'échantillon (moyenne).
- Les limites de l'écart interquartile (EI). En vous fournissant les deux chiffres (25e et 75e centiles) entre lesquels résident les 50 % de données du milieu, ces limites doivent aider à cerner la dispersion des réponses.
- La valeur du milieu d'un ensemble de données (médiane). Si elle est extrêmement différente de la moyenne, cela peut indiquer que les données sont biaisées.
- Une description du concept et de la méthode de mesure associée.

¹ Les questions de l'enquête utilisées pour notre analyse sont publiées sur <https://dora.dev>.

Résultats clés

Les résultats clés sont les objectifs que, selon nous, les personnes, les équipes ou les organisations cherchent à atteindre (par exemple, les performances organisationnelles) ou à éviter (par exemple, le surmenage). Par conséquent, nous pensons que les mesures sont des moyens importants pour les personnes de s'évaluer, et d'évaluer leurs équipes et leur organisation.

Performances organisationnelles			Performances des équipes			Performances de livraison de logiciels		
Moyenne	EI	Médiane	Moyenne	EI	Médiane	Moyenne	EI	Médiane
6,3	5-8	6,3	7,6	6,6-9	8	6,3	5,1-7,8	6,4
Les organisations très performantes comptent plus de clients, enregistrent des profits supérieurs et affichent une part de marché plus relative pour leur produit ou service principal.			Les équipes très performantes s'adaptent aux changements, pratiquent l'entraide, travaillent efficacement, innovent et collaborent.			Les quatre métriques suivantes mesurent la vitesse et la stabilité de la livraison de logiciels : <ul style="list-style-type: none"> • Fréquence de déploiement • Délai de livraison des modifications • Taux d'échec sur l'implémentation des modifications • Temps de récupération en cas d'échec de déploiement 		
Performances opérationnelles			Cibles de fiabilité					
Moyenne	EI	Médiane	Moyenne	EI	Médiane			
6,2	5-7,5	6,3	7	5-7,5	7,5			
Indique à quel point un service peut répondre aux attentes des utilisateurs, en incluant des mesures comme la disponibilité et les performances.			Indique à quel point un service atteint les objectifs définis pour les mesures comme la disponibilité, les performances et l'exactitude.					

Le **bien-être** combine les mesures de surmenage, de productivité et de satisfaction au travail.


Surmenage			Productivité			Satisfaction au travail		
Moyenne	EI	Médiane	Moyenne	EI	Médiane	Moyenne	EI	Médiane
4,1	2-6	4	7,5	6,7-8,8	7,9	6,08	5,7-7,1	7,1
Impact psychologique et physique du travail, mais aussi ressenti de la valeur et du sens de son propre travail. Le surmenage provoque le cynisme ² .			Une personne productive réalise des tâches qui sont en adéquation avec ses compétences, apportent une valeur ajoutée et lui permettent de travailler efficacement.			Question unique qui demande à la personne interrogée de prendre tous les aspects en compte et d'évaluer son ressenti par rapport à son travail dans son ensemble ³ .		

² Maslach, C., Leiter, MP. Understanding the burnout experience: recent research and its implications for psychiatry. World Psychiatry. 2016 Jun;15(2):103-11. doi: 10.1002/wps.20311. PMID: 27265691; PMCID: PMC4911781.

³ Warr, P., Cook, J. et Wall, T. Scales for the Measurement of Some Work Attitudes and Aspects of Psychological Well-Being. Journal of Occupational Psychology, 52(2), 1979. 129-148. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8325.1979.tb00448.x>

Processus et capacités techniques

Il s'agit des activités, des pratiques ou des états qui peuvent surgir dans une équipe ou une organisation. En d'autres termes, nous parlons ici de ce que font les équipes ou de leur façon d'être.

 Contribution de l'intelligence artificielle	 Architecture faiblement couplée	 Intégration continue																		
<table> <tr> <th>Moyenne</th><th>EI</th><th>Médiane</th></tr> <tr> <td>3,3</td><td>0,3-6,3</td><td>2,4</td></tr> </table>	Moyenne	EI	Médiane	3,3	0,3-6,3	2,4	<table> <tr> <th>Moyenne</th><th>EI</th><th>Médiane</th></tr> <tr> <td>6,4</td><td>4,7-8,3</td><td>6,7</td></tr> </table>	Moyenne	EI	Médiane	6,4	4,7-8,3	6,7	<table> <tr> <th>Moyenne</th><th>EI</th><th>Médiane</th></tr> <tr> <td>6,9</td><td>5-8,9</td><td>7,8</td></tr> </table>	Moyenne	EI	Médiane	6,9	5-8,9	7,8
Moyenne	EI	Médiane																		
3,3	0,3-6,3	2,4																		
Moyenne	EI	Médiane																		
6,4	4,7-8,3	6,7																		
Moyenne	EI	Médiane																		
6,9	5-8,9	7,8																		
Importance du rôle de l'intelligence artificielle dans diverses tâches techniques.	Logiciels qui peuvent être écrits, testés et déployés indépendamment.	Pratique qui consiste à compiler et à tester automatiquement les modifications logicielles.																		
 Livraison continue	 Vitesse de revue du code	 Documentation																		
<table> <tr> <th>Moyenne</th><th>EI</th><th>Médiane</th></tr> <tr> <td>7,0</td><td>5,7-8,7</td><td>7,3</td></tr> </table>	Moyenne	EI	Médiane	7,0	5,7-8,7	7,3	<table> <tr> <th>Moyenne</th><th>EI</th><th>Médiane</th></tr> <tr> <td>6,5</td><td>6-8</td><td>6</td></tr> </table>	Moyenne	EI	Médiane	6,5	6-8	6	<table> <tr> <th>Moyenne</th><th>EI</th><th>Médiane</th></tr> <tr> <td>5,8</td><td>3,8-7,9</td><td>6,25</td></tr> </table>	Moyenne	EI	Médiane	5,8	3,8-7,9	6,25
Moyenne	EI	Médiane																		
7,0	5,7-8,7	7,3																		
Moyenne	EI	Médiane																		
6,5	6-8	6																		
Moyenne	EI	Médiane																		
5,8	3,8-7,9	6,25																		
Capacité à passer en production ou à mettre à la disposition des utilisateurs les modifications de tous types (nouvelles fonctionnalités, changements de configuration, corrections de bugs et tests) de manière sécurisée, rapide et durable ⁴ .	Question unique qui permet d'évaluer le délai entre la demande d'extraction et l'examen de changement de code.	Qualité des contenus rédigés que les membres de l'organisation créent et utilisent dans leurs tâches quotidiennes.																		
 Pratiques de fiabilité	 Développement à branche unique	 Infrastructure flexible																		
<table> <tr> <th>Moyenne</th><th>EI</th><th>Médiane</th></tr> <tr> <td>5,9</td><td>3,9-8,3</td><td>6,1</td></tr> </table>	Moyenne	EI	Médiane	5,9	3,9-8,3	6,1	<table> <tr> <th>Moyenne</th><th>EI</th><th>Médiane</th></tr> <tr> <td>5,6</td><td>3,9-7,8</td><td>5,6</td></tr> </table>	Moyenne	EI	Médiane	5,6	3,9-7,8	5,6	<table> <tr> <th>Moyenne</th><th>EI</th><th>Médiane</th></tr> <tr> <td>6,6</td><td>5-8,3</td><td>7,3</td></tr> </table>	Moyenne	EI	Médiane	6,6	5-8,3	7,3
Moyenne	EI	Médiane																		
5,9	3,9-8,3	6,1																		
Moyenne	EI	Médiane																		
5,6	3,9-7,8	5,6																		
Moyenne	EI	Médiane																		
6,6	5-8,3	7,3																		
Activités et pratiques que les équipes utilisent pour améliorer les performances opérationnelles des services.	Pratique qui consiste à effectuer de petites modifications fréquentes fusionnées régulièrement avec la branche de code principale du système de contrôle des versions.	Infrastructure évolutive, élastique, accessible, et mesurée ⁵ .																		

⁴ What is Continuous Delivery <https://continuousdelivery.com/>

⁵ National Institute of Standards and Technology (2018) NIST, The NIST Definition of Cloud Computing. Disponible à l'adresse <https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/145/final>

Aspects liés à la culture

Définir la culture n'est pas chose facile, mais on peut dire qu'elle regroupe les normes dominantes (comme la flexibilité), l'orientation générale (comme l'approche axée sur l'utilisateur) et l'atmosphère (comme la stabilité organisationnelle) du lieu de travail.

Répartition du travail

Moyenne

EI

Médiane

5,8

3,8-7,9

5,8

Processus formels qui aident les employés à répartir les tâches équitablement dans une équipe.

Flexibilité

Moyenne

EI

Médiane

7,7

6,6-8,9

8,3

Comment, où et quand une personne exécute ses tâches⁶.

Sécurité de l'emploi

Moyenne

EI

Médiane

5,9

3,3-8,3

6,7

Mesure unique qui consiste à demander aux personnes interrogées à quelle fréquence elles s'inquiètent de la sécurité de leur emploi. Plus le score est élevé, moins l'inquiétude est forte.

Stabilité organisationnelle

Moyenne

EI

Médiane

7,2

6,7-8,3

8,3

Mesure unique qui consiste à demander à quel point l'environnement de travail est stable ou non pour les employés.

Partage des connaissances

Moyenne

EI

Médiane

6,4

5,0-8,3

6,7

Façon dont les idées et les informations sont diffusées dans une organisation. Les membres des équipes répondent aux questions une fois et mettent les informations à la disposition des autres. Les réponses sont accessibles immédiatement⁷.

Approche axée sur l'utilisateur

Moyenne

EI

Médiane

7,8

5,6-8,3

7,8

Fait de comprendre et d'intégrer les besoins et les objectifs des utilisateurs pour améliorer les produits et services⁸.

Culture organisationnelle Westrum

Moyenne

EI

Médiane

7,3

6,1-8,6

7,8

Façon dont une organisation a tendance à réagir aux problèmes et aux opportunités. Il existe trois types de culture : générative, bureaucratique et pathologique⁹.

⁶ Shifrin, Nicole V. et Michel, Jesse S. Flexible work arrangements and employee health: A meta-analytic review. *Work & Stress* 36, no. 1, 2022. 60-85

⁷ 2022 Developer Survey <https://survey.stackoverflow.co/2022#overview>

⁸ Kersten, Mik. Project to Product: How to Survive and Thrive in the Age of Digital Disruption with the Flow Framework. *IT Revolution*, 2018, 54. <https://itrevelution.com/product/project-to-product/>

⁹ Westrum, R. A typology of organisational cultures. *BMJ Quality & Safety*, 2004. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1765804/>

Où en êtes-vous ?

Selon la loi de Goodhart, lorsqu'une mesure devient un objectif, elle cesse d'être une bonne mesure¹.

Points à retenir

Pour améliorer les performances, la première étape consiste à définir une référence pour les performances actuelles de l'application en matière de livraison de logiciels, d'opérations et d'approche axée utilisateur. Ces mesures vont aider les équipes à s'évaluer et représentent un signal efficace sur l'évolution au fil du temps.

En revanche, ces mesures ne sont pas les actions que l'équipe va mettre en place pour s'améliorer. Avec cette référence, l'important est d'évaluer la réussite de l'équipe au niveau de divers individus, processus et capacités techniques pour identifier les points qui peuvent représenter un frein². Ensuite, les équipes ont besoin de temps et d'espace pour un cycle d'ajustement, de test et de réévaluation. La répétition de ce processus va aider les équipes à adopter un état d'esprit d'amélioration continue et à le mettre en pratique.

¹Strathern, Marilyn (1997). 'Improving ratings: audit in the British University system. European Review. John Wiley & Sons. 5 (3): 305–321. doi:10.1002/(SICI)1234-981X(199707)5:3<305::AID-EURO184>3.0.CO;2-4. S2CID 145644958.

²Ce rapport et les ressources fournies sur la page "Capability catalog" (<https://dora.dev/devops-capabilities/>) peuvent vous être utiles.

³Forsgren, N., Storey, M-A., et. al. The SPACE of Developer Productivity: There's more to it than you think, 2021. <https://queue.acm.org/detail.cfm?id=3454124>

Faites attention aux écueils suivants (entre autres) lorsque vous effectuez des comparaisons :

- **Comparer les différences.** Comparer des applications seulement sur la base de ces regroupements ne vous sera probablement d'aucune utilité. En effet, le contexte de chaque application est éliminé d'une manière qui peut être préjudiciable à l'objectif d'amélioration.
- **Faire des métriques un objectif.** Ignorer la loi de Goodhart et formuler des demandes générales comme "toutes les applications doivent afficher des performances exceptionnelles d'ici la fin de l'année" augmente la probabilité que les équipes tentent de fausser les métriques.
- **Donner la priorité à une seule métrique.** Ne tentez pas d'évaluer des systèmes complexes avec "LA métrique qui compte". L'utilisation d'une combinaison de métriques offre une analyse plus fine³.
- **Définir des métriques trop restreintes.** On a tendance à mesurer ce qui est le plus facile à mesurer, et pas ce qui est le plus utile.
- **Chercher dans le secteur d'activité des prétextes pour ne pas s'améliorer.** Par exemple, certaines équipes de secteurs hautement réglementés peuvent invoquer ces réglementations pour justifier leur inaction.

Pour obtenir plus de détails sur nos conclusions et des conseils sur l'adoption de l'amélioration continue dans l'état d'esprit comme en pratique, consultez la page "How to transform" : dora.dev/devops-capabilities/cultural/devops-culture-transform//

Introduction

Chaque année, nous réalisons une ou plusieurs analyses par groupe pour identifier les tendances communes entre les applications. Nous vous recommandons d'utiliser ces analyses pour comprendre où vous vous situez, mais de ne pas en faire votre seul et unique outil. Les comparaisons les plus efficaces sont celles qui portent sur une même application dans la durée plutôt qu'entre différentes applications, qui auront toujours un contexte différent.

Les équipes créent leurs logiciels pour les utilisateurs, qui sont les juges suprêmes de la fiabilité et de l'utilité du service. Celles qui se concentrent sur les besoins des utilisateurs sont les plus à même de créer la bonne solution. En associant cette approche orientée utilisateur aux performances opérationnelles et de livraison de logiciels, ces équipes sont également capables de créer cette solution efficacement.

Les équipes qui se concentrent sur les besoins des utilisateurs créent la bonne solution ET le font bien.

Résultats

Performances de livraison de logiciels

Nous nous appuyons sur les mesures suivantes pour évaluer les performances de livraison de logiciels :

- **Délai de livraison des modifications** : délai entre commit et déploiement pour une modification.
- **Fréquence de déploiement** : fréquence de passage des modifications en production.
- **Taux d'échec sur l'implémentation des modifications** : fréquence à laquelle un déploiement introduit un échec qui exige une intervention immédiate.
- **Temps de récupération en cas d'échec de déploiement** : délai nécessaire à la récupération à la suite d'un échec de déploiement.

L'une des approches courantes adoptées pour améliorer les quatre mesures consiste à réduire la taille du lot de modifications pour une application⁴. Les modifications mineures sont plus faciles à élaborer et à faire progresser dans le processus de livraison. La récupération est également plus simple en cas d'échec. Les équipes doivent faire en sorte que chaque modification soit aussi minime que possible pour assurer une livraison rapide et stable. Cette façon de travailler contribue à garantir la vitesse et la stabilité des modifications.

⁴ Le plus souvent, une fonctionnalité peut se décomposer en diverses modifications livrées indépendamment. Nos mesures des performances de livraison de logiciels évaluent les modifications apportées à une application ou à un service.

Cette année, nous avons affiné les mesures pour les performances de livraison de logiciels. Vous en saurez plus sur ces changements dans la section "Affiner nos mesures des performances de livraison de logiciels" en [annexe](#).

Voici un aperçu des performances de livraison de logiciels des participants à l'enquête de cette année :

Niveau de performances	Fréquence de déploiement	Délai de livraison des modifications	Taux d'échec sur l'implémentation des modifications	Temps de récupération en cas d'échec de déploiement	Pourcentage des personnes interrogées
Exceptionnel	À la demande	Moins d'un jour	5 %	Moins d'une heure	18 %
Élevé	Entre une fois par jour et une fois par semaine	Entre un jour et une semaine	10 %	Moins d'un jour	31 %
Moyen	Entre une fois par semaine et une fois par mois	Entre une semaine et un mois	15 %	Entre un jour et une semaine	33 %
Bas	Entre une fois par semaine et une fois par mois	Entre une semaine et un mois	64 %	Entre un mois et six mois	17 %



Performances opérationnelles

Pour évaluer les performances opérationnelles, nous avons demandé aux participants à quelle fréquence leur service connaît les événements suivants :

- Reçoit de la part des utilisateurs finaux des rapports d'insatisfaction sur la fiabilité du système
- Est indisponible ou plus lent que prévu, ou fonctionne mal

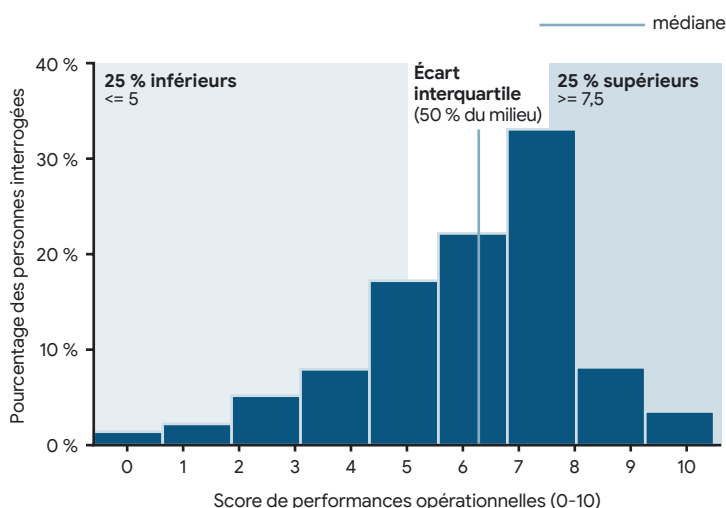
Pour savoir comment les performances opérationnelles influencent les performances organisationnelles, reportez-vous au [chapitre 5 – La fiabilité optimise les performances](#).

Approche axée sur l'utilisateur

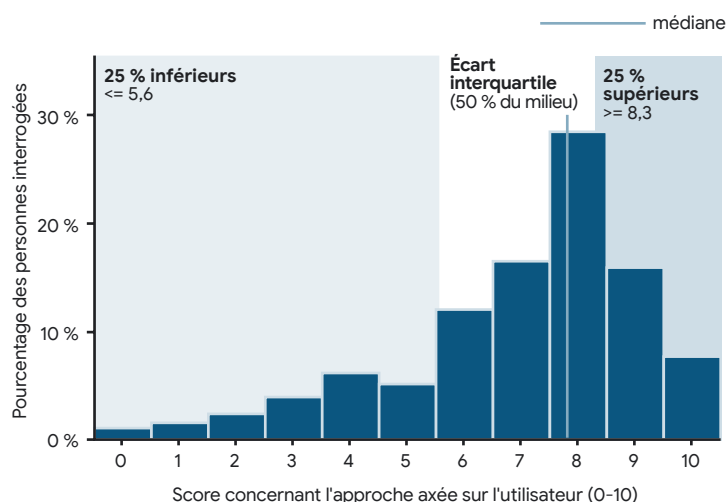
Une application ou un service axé sur l'utilisateur est conçu en gardant l'utilisateur final à l'esprit. Pour créer un produit de cette façon, il est essentiel de bien connaître les besoins des utilisateurs et de les intégrer à la feuille de route du produit. Pour évaluer l'orientation utilisateur des personnes interrogées, nous leur avons demandé dans quelle mesure les déclarations suivantes sont vraies :

- Leur équipe comprend clairement ce que les utilisateurs souhaitent accomplir.
- La réussite de leur équipe est évaluée en fonction de la valeur qu'elle apporte à l'organisation et aux utilisateurs de l'application.
- Les spécifications (par exemple, la planification des exigences) sont réexaminées et rehiérarchisées continuellement selon les signaux utilisateur.

Voici un aperçu des performances opérationnelles des participants à l'enquête de cette année :



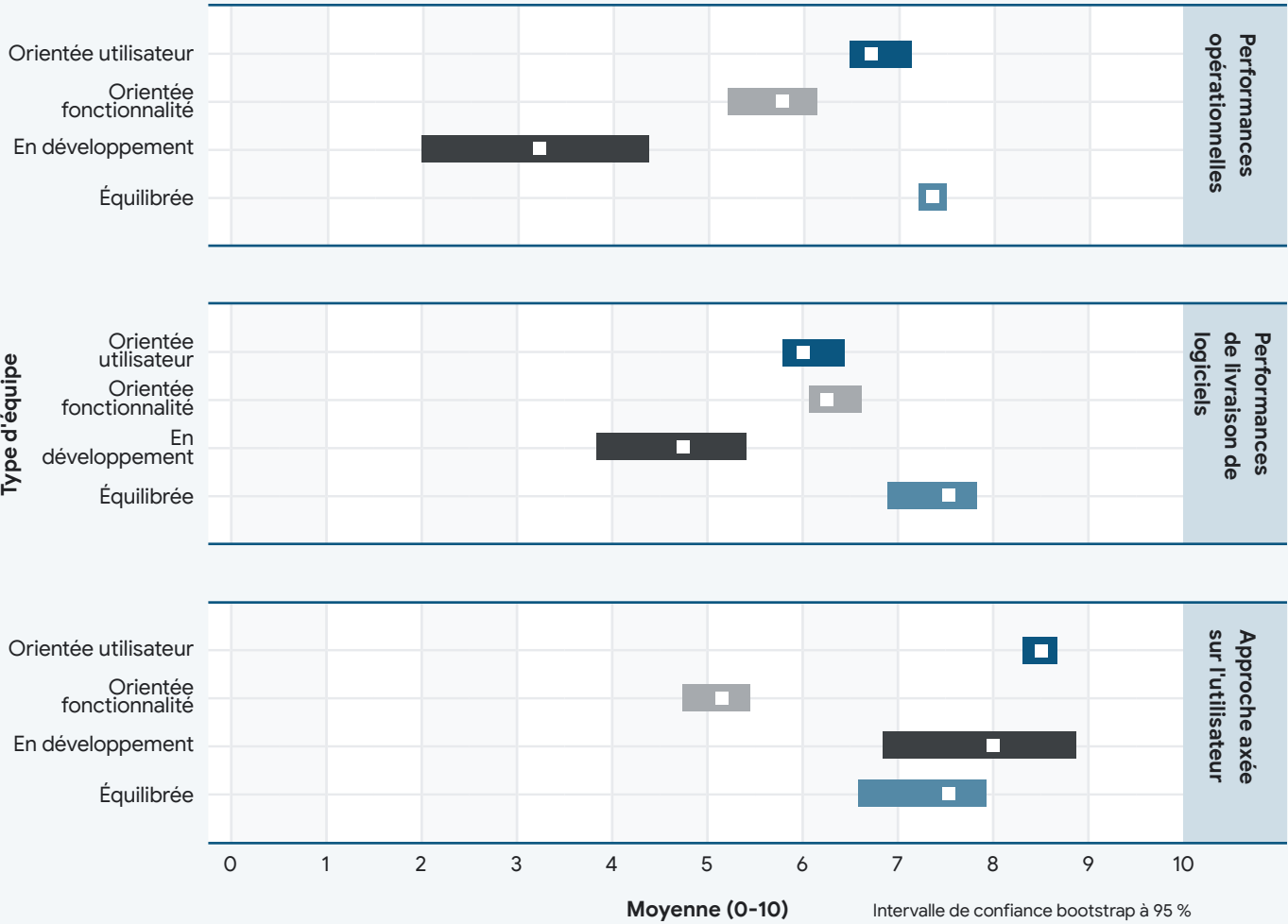
Voici un aperçu des résultats des participants à l'enquête de cette année en matière d'approche axée sur l'utilisateur :



Regroupement en types d'équipes

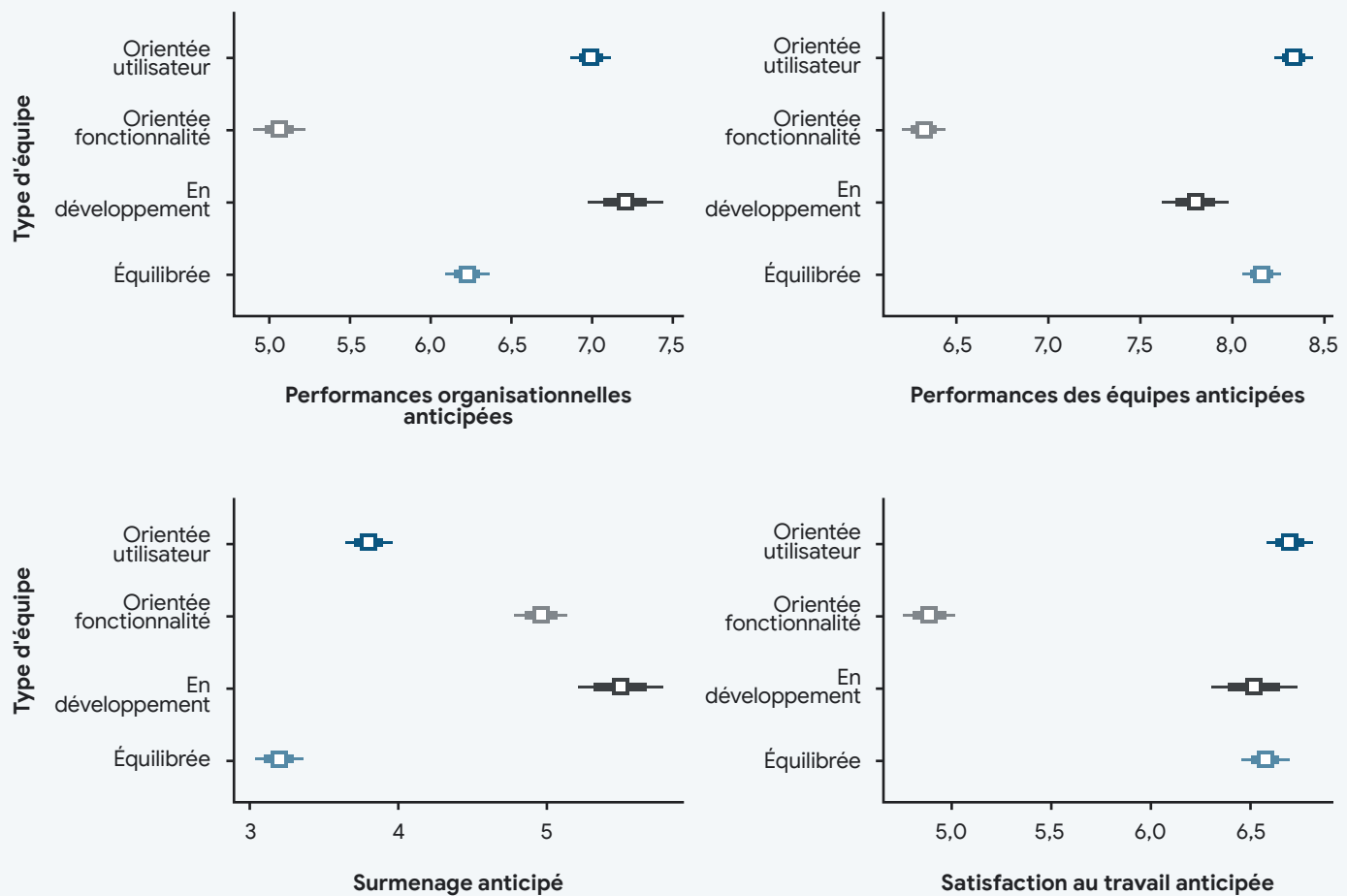
Comparer les performances de livraison de logiciels, les performances opérationnelles et l'approche axée sur l'utilisateur sous forme de bloc révèle quatre types d'équipes. Ces types d'équipes, à l'instar de toutes les mesures impliquées dans leur création, s'entendent au niveau de l'application ou du service.

Nous avons nommé les types d'équipes "Orientée utilisateur", "Orientée fonctionnalité", "En développement" et "Équilibrée".



Vous pouvez voir les métriques de performances dont nous avons parlé comme des curseurs qu'une organisation ou une équipe peut ajuster pour faire évoluer les performances organisationnelles, les performances des équipes et le bien-être des membres des équipes.

Les graphiques ci-dessous présentent les performances anticipées par type d'équipe.



* Le point représente la valeur estimée pour la moyenne du type d'équipe. Intervalle large contenant 66 % des simulations. Intervalle étroit contenant 89 % des simulations.

Chaque type d'équipe possède des caractéristiques uniques, représente une proportion conséquente des personnes interrogées et affiche des résultats différents. Il est probable que votre équipe n'appartienne pas strictement à un seul type, et nous ne nous attendons pas à ce que votre type d'équipe demeure inchangé au fil du temps.



Que signifient ces résultats ?



Type d'équipe "Orientée utilisateur"

Ce type d'équipe est celui qui tient le plus compte des besoins des utilisateurs. Cette approche, associée à de solides performances opérationnelles et de livraison de logiciels, permet d'anticiper des niveaux optimaux de performances organisationnelles. En revanche, ce type d'équipe semble plus surmené que le type "Équilibrée". Améliorer les performances opérationnelles et/ou de livraison de logiciels pourrait être le meilleur moyen pour ces équipes de réduire le surmenage.



Type d'équipe "Orientée fonctionnalité"

Ce type d'équipe donne la priorité à la livraison de fonctionnalités. Cette approche peut détourner l'attention de l'équipe des besoins des utilisateurs, comme le montrent les chiffres inférieurs en matière d'approche orientée utilisateur et de performances opérationnelles. Ce type d'équipe enregistre l'un des plus hauts niveaux de surmenage, et l'un des plus faibles niveaux de satisfaction au travail, de performances des équipes et de performances organisationnelles. Les employés accordent de l'importance à la création de valeur, et pas seulement à la livraison de fonctionnalités. Les équipes orientées fonctionnalité peuvent tirer parti d'une réflexion sur les besoins des utilisateurs pour accroître la valeur des fonctionnalités livrées.



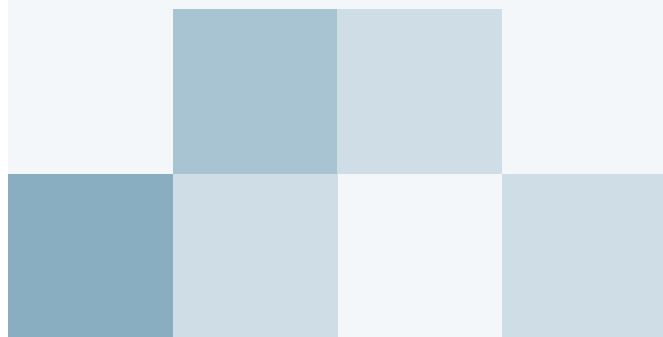
Type d'équipe "En développement"

Les équipes de ce type obtiennent de bonnes performances organisationnelles en se concentrant sur les besoins des utilisateurs de l'application. Elles n'ont néanmoins toujours pas terminé de développer l'adéquation de leur produit au marché ou leurs capacités techniques. Elles appartiennent plus souvent à des organisations de petite taille. Elles enregistrent des performances opérationnelles et de livraison de logiciels inférieures, et les équipes qui travaillent sur ces applications présentent un plus fort niveau de surmenage que celles des types "Équilibrée" et "Orientée utilisateur". Il se peut que ces équipes recourent à des processus lourds ou effectuent des tâches répétitives qu'elles pourraient automatiser afin d'améliorer leurs performances opérationnelles et de livraison de logiciels.



Type d'équipe "Équilibrée"

Les équipes de ce type adoptent une approche équilibrée et pérenne. Elles utilisent les technologies de façon durable pour obtenir un bon niveau de performances organisationnelles, de performances des équipes et de satisfaction au travail. Par ailleurs, elles affichent le plus faible niveau de surmenage. Ces équipes ont ajusté leurs capacités de façon à enregistrer de bonnes performances sur les trois mesures. Accorder davantage d'importance à l'utilisateur pourrait être un moyen pour elles d'améliorer les performances organisationnelles.



Se concentrer sur les utilisateurs pour influencer les performances organisationnelles

Points à retenir

Les organisations peuvent être absorbées par les dernières tendances en technologie et en gestion lorsqu'elles cherchent à améliorer la productivité des développeurs et les performances organisationnelles. Notre étude démontre que l'approche axée sur l'utilisateur pour créer des applications et des services fait partie des moteurs les plus efficaces pour anticiper les performances organisationnelles globales. Afin d'améliorer les performances, tâchez de comprendre vos utilisateurs en profondeur, et d'effectuer des itérations pour ajuster votre travail et intégrer leurs commentaires.

Les équipes fortement axées sur l'utilisateur présentent des performances organisationnelles

40 %
plus élevées

Introduction

Le mouvement DevOps a commencé comme un moyen d'inciter les équipes chargées du développement et des opérations à mieux collaborer, afin de créer davantage de valeur pour les utilisateurs. Cette harmonisation a rapidement fait ses preuves, et les notions et capacités DevOps se sont par la suite étendues au-delà de ces deux services. Aujourd'hui, les organisations très performantes et axées sur la technologie reconnaissent l'importance de l'alignement de toutes les équipes pour atteindre les objectifs organisationnels.

Nous avons enquêté sur les trois caractéristiques essentielles d'une approche axée sur l'utilisateur :

- Dans quelle mesure les équipes comprennent-elles les besoins des utilisateurs ?
- Dans quelle mesure les équipes travaillent-elles en phase avec les besoins des utilisateurs ?
- Comment les commentaires des utilisateurs servent-ils à hiérarchiser le travail ?

Résultats

Nous avons constaté qu'une approche du développement de logiciels axée sur l'utilisateur entraîne une hausse significative des performances. Les organisations peuvent en fait en retirer des avantages en cascade. Les commentaires des utilisateurs aident les équipes à hiérarchiser les projets, et à créer des produits et services qui répondent à leurs besoins. Résultat : une expérience améliorée et une plus grande satisfaction pour les utilisateurs, ainsi qu'une augmentation des revenus.

Effet de l'approche axée sur l'utilisateur sur...

Les performances organisationnelles		Hausse importante
Les performances des équipes		Hausse importante
Les performances de livraison de logiciels		Faible hausse
Les performances opérationnelles		Hausse importante
Le développement à branche unique		Hausse importante
Les pratiques de fiabilité		Hausse importante
L'intégration continue		Hausse importante
La livraison continue		Hausse importante
L'architecture faiblement couplée		Hausse importante
Le surmenage		Faible baisse*
La satisfaction au travail		Hausse importante
La productivité		Hausse importante

* Réduire le surmenage est une bonne chose !

Que signifient ces résultats ?

Le fait de se concentrer sur les besoins des utilisateurs a un impact certain sur les performances organisationnelles globales. Une approche véritablement axée sur l'utilisateur demande la mise en place d'incitations, de pratiques d'alignement et de méthodes de travail appropriées. Elle peut être à l'origine d'améliorations dans tous les aspects techniques, culturels et liés aux processus que notre étude aborde.

Voyons plus en détail l'impact de ces résultats sur différentes équipes de l'organisation :

➤ Équipes chargées du développement et de la livraison de produits

Se concentrer sur l'utilisateur permet de s'assurer que les équipes chargées du développement et de la livraison de produits créent les bonnes solutions pour les utilisateurs, et ce, espérons-le, de manière durable. C'est ce que font les équipes équilibrées. Leurs performances de livraison, opérationnelles et organisationnelles sont solides, et elles accordent une grande importance aux besoins des utilisateurs. Les membres de ces équipes bénéficient d'une bonne compréhension de ces besoins et de leur capacité à ajuster leurs plans en fonction des commentaires reçus.

Les résultats indiquent que les équipes orientées fonctionnalité sont à la traîne concernant les performances organisationnelles. Il semblerait qu'elles accordent trop de poids aux performances de livraison, au détriment des performances organisationnelles et du bien-être des employés de l'organisation.

➤ Équipes opérationnelles

Les équipes qui se concentrent sur les performances opérationnelles peuvent consacrer tous leurs efforts à l'optimisation de métriques système comme l'utilisation du processeur.

Or, si elles ne comprennent pas les attentes des utilisateurs par rapport au service, elles risquent de recevoir régulièrement des signalements de faibles performances de la part des utilisateurs. Les pratiques d'ingénierie de la fiabilité des sites (SRE) peuvent aider les équipes opérationnelles à adopter un état d'esprit davantage centré sur l'utilisateur. Ces pratiques incluent par exemple l'identification des indicateurs de niveau de service importants pour les utilisateurs et la définition d'objectifs de niveau de service visant à maintenir la satisfaction de l'utilisateur type.



Équipes d'ingénierie des plates-formes

Au moment de concevoir une plate-forme, les équipes d'ingénierie peuvent adopter une approche de type "quoi que nous créions, ils l'utiliseront". Pour être plus efficaces, elles devraient considérer les développeurs comme des utilisateurs de leur plate-forme. Ce changement de mentalité demande aux équipes d'ingénierie des plates-formes de comprendre la façon dont travaillent les développeurs aujourd'hui pour identifier et éliminer les points de friction. Les équipes peuvent utiliser les mesures de performances opérationnelles et de livraison de logiciels comme des signaux pour déterminer si le travail de développement d'une plate-forme aide les équipes à améliorer leurs résultats.



Responsables

En établissant des structures incitatives qui récompensent les équipes créatrices de valeur pour les utilisateurs, les responsables peuvent contribuer à créer un environnement très favorable à une approche axée sur l'utilisateur. En l'absence de ce type de structures, les équipes peuvent avoir l'impression de ne mesurer que le nombre de fonctionnalités livrées ou la baisse des interruptions de service. DORA a étudié le rôle du leadership transformationnel¹ et propose quelques conseils aux responsables qui sont prêts à améliorer cet aspect. Pour plus d'informations, consultez la page "DevOps capabilities: Transformational leadership" à l'adresse <https://dora.dev/devops-capabilities/cultural/transformational-leadership>.

Se concentrer sur
l'utilisateur mène à

20 %

de satisfaction au
travail en plus

Ressources pour commencer

Développer des capacités davantage axées sur l'utilisateur est un moteur de réussite important. Nos résultats de 2023 renforcent ceux de 2018², où nous avons constaté que les capacités de gestion de produits Lean influencent les performances organisationnelles et de livraison de logiciels.

Améliorez les performances de votre équipe en adoptant des capacités axées sur l'utilisateur comme les commentaires des clients³, la visibilité du travail dans le flux de valeur⁴, le travail par petits lots⁵ et l'expérimentation en équipe⁶.

¹ 2017 State of DevOps Report. <https://dora.dev/publications/pdf/state-of-devops-2017.pdf>, 12-19

² 2018 Accelerate: State of DevOps Report: Strategies for a New Economy. <https://dora.dev/publications/pdf/state-of-devops-2018.pdf>, 49-51

³ Customer feedback. <https://dora.dev/devops-capabilities/process/customer-feedback/>

⁴ Visibility of work in the value stream. <https://dora.dev/devops-capabilities/process/work-visibility-in-value-stream/>

⁵ Working in small batches. <https://dora.dev/devops-capabilities/process/working-in-small-batches/>

⁶ Team experimentation. <https://dora.dev/devops-capabilities/process/team-experimentation/>

Les capacités techniques influencent les performances

Points à retenir

Investir des ressources et des efforts dans l'intégration continue, disposer d'une architecture faiblement couplée et effectuer des revues de code plus rapides. Voilà ce qui peut générer de nombreux avantages, tels que l'amélioration des performances organisationnelles, opérationnelles, de livraison de logiciels et des équipes. Le bien-être des personnes qui travaillent sur l'application ou le service n'en subira aucun effet négatif et devrait même en bénéficier.

Introduction

Dans la synthèse, nous avons décrit les capacités techniques que nous avons étudiées, ainsi que leur influence sur différentes mesures de performances et de bien-être. L'une des composantes centrales de DORA a toujours été d'explorer et de quantifier dans quelle mesure différents processus et capacités techniques peuvent influencer les performances.

Cette année, nous avons étudié la façon dont les capacités techniques suivantes influencent les performances :

- Intelligence artificielle
- Développement à branche unique
- Architecture faiblement couplée
- Intégration continue
- Revue de code rapide

Nous avons examiné leur influence sur les mesures de performances suivantes :





















- Performances des équipes
- Performances organisationnelles
- Performances de livraison de logiciels
- Performances opérationnelles

De plus, nous avons testé la relation entre ces capacités et un certain nombre d'indicateurs pour déterminer leurs répercussions sur les personnes impliquées :

- Surmenage
- Productivité
- Satisfaction au travail

Résultats

Les capacités techniques et les processus que nous avons étudiés ont des effets variés, mais globalement positifs, sur les mesures de performances clés.

Capacités et processus techniques	Impact sur les performances des équipes	Impact sur les performances organisationnelles	Impact sur les performances de livraison de logiciels	Impact sur les performances opérationnelles
IA	 Aucun impact constaté	 Faible hausse	 Faible baisse	 Baisse importante
Intégration continue	 Faible hausse	 Faible hausse	 Faible hausse	 Aucun impact constaté
Vitesse de revue du code	 Faible hausse	 Aucun impact constaté	 Hausse importante	 Hausse importante
L'architecture faiblement couplée	 Hausse importante	 Hausse importante	 Faible hausse	 Hausse importante
Le développement à branche unique	 Faible hausse	 Faible hausse	 Faible hausse	 Faible baisse

Les équipes faiblement couplées, ou peut-être avec une architecture faiblement couplée, ont la possibilité d'apporter des modifications significatives à leurs systèmes sans impliquer d'autres équipes. Elles peuvent ainsi travailler plus rapidement. Lorsque des experts sont proches de l'équipe, ils peuvent effectuer les revues de code plus rapidement, car ils comprennent mieux l'impact des modifications. Grâce à la conception faiblement couplée, l'équipe peut tester, créer et déployer son produit sans que d'autres équipes se transforment potentiellement en goulots d'étranglement.

Bien que l'impact de nos modifications soit mineur dans une architecture faiblement couplée, nous devons nous assurer que nous ne provoquons pas de conflits avec les autres développeurs de l'équipe. Les équipes qui travaillent par petits lots réduisent les risques de conflit, en veillant à ce qu'à chaque commit effectué, le logiciel soit créé et des tests automatiques soient déclenchés, ce qui permet aux développeurs de bénéficier de commentaires rapides.

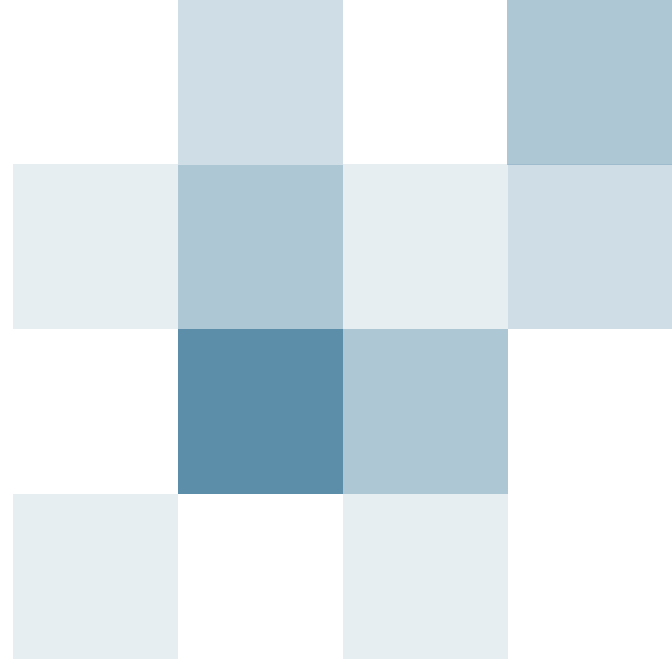
Les équipes menant des revues de code plus rapides affichent des performances de livraison de logiciels 50 % supérieures aux autres. Des processus de revue de code efficaces aboutissent à l'amélioration du code, au transfert des connaissances, au partage de la propriété du code, au sentiment d'appropriation par l'équipe et à une meilleure transparence.

Les revues de code sont-elles votre goulot d'étranglement ? En évaluant votre processus de revue de code et son impact sur votre délai de livraison des modifications, vous pouvez dégager des informations sur les possibilités d'amélioration. Posez-vous les questions suivantes :

- Avez-vous intégré des revues de code effectuées par des pairs dans votre processus ?
- Quel est le délai entre l'achèvement du code et sa revue ?
- Quelle est la taille de lot moyenne de vos revues de code ?
- Combien d'équipes impliquez-vous dans vos revues ?
- Combien d'emplacements géographiques sont impliqués dans vos revues ?
- Votre équipe améliore-t-elle l'automatisation de la qualité du code en fonction des suggestions des revues de code ?

Il a été démontré que les longs délais entre achèvement du code et revue du code nuisent à l'efficacité du développeur et à la qualité du logiciel livré. L'implication de plusieurs équipes réparties sur différents emplacements géographiques entraîne des délais plus longs, un engagement moindre dans le processus et une hausse des coûts¹.

En 2022, nous avons observé que chaque capacité technique bénéficie des autres. L'accélération des revues de code peut contribuer à améliorer plusieurs capacités techniques, comme la gestion du code, la culture de l'apprentissage (transfert des connaissances) et la mise en place d'une culture générative².



Les revues de code plus rapides font partie des atouts des équipes faiblement couplées, et permettent d'améliorer considérablement les performances opérationnelles et de livraison de logiciels. Il existe plusieurs moyens d'améliorer l'efficacité de vos revues de code. Lorsque le code révisé affecte uniquement le champ d'application de l'architecture de l'équipe, le réviseur comprend mieux l'impact du code sur le système. Plus la revue de code est limitée, plus le réviseur va saisir facilement les effets des modifications. Le travail par petits lots améliore le cycle de rétroaction, l'efficacité et le respect des objectifs pour l'équipe³. La programmation en binôme est une pratique permettant de réduire la durée de revue du code, quelles que soient vos pratiques actuelles en matière d'architecture et d'intégration⁴.

Par ailleurs, non seulement ces capacités et processus n'ont aucune incidence négative sur le bien-être des personnes réalisant les tâches, mais ils ont même plutôt des effets positifs.

¹ Investigating the effectiveness of peer code review in distributed software development based on objective and subjective data. <https://jserd.springeropen.com/articles/10.1186/s40411-018-0058-0>

² Expectations, Outcomes, and Challenges of Modern Code Review. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2486788.2486882>

³ Working in small batches. <https://dora.dev/devops-capabilities/process/working-in-small-batches/>

⁴ On Pair Programming. <https://martinfowler.com/articles/on-pair-programming.html>

Capacités et processus techniques	Impact sur le surmenage*	Impact sur la satisfaction au travail	Impact sur la productivité
IA	↓ Faible baisse	↑ Faible hausse	↑ Faible hausse
Intégration continue	⊖ Aucun impact	↑ Faible hausse	⊖ Aucun impact
Vitesse de revue du code	↕ Baisse importante	↑ Faible hausse	↑ Faible hausse
Architecture faiblement couplée	↕ Baisse importante	↗ Hausse importante	↗ Hausse importante
Le développement à branche unique	↗ Hausse importante	⊖ Aucun impact	⊖ Aucun impact

* Vous avez peut-être remarqué que les flèches sont inversées concernant le surmenage. C'est normal, car réduire le surmenage est une bonne chose !

Nous constatons que le recours à une architecture faiblement couplée, à des intégrations continues et à des revues de code efficaces permet aux équipes d'améliorer leurs résultats organisationnels tout en maintenant, voire en élevant leur niveau de bien-être.

Lorsque les équipes disposent de l'autonomie nécessaire pour améliorer et maintenir un système fiable qui offre une valeur ajoutée aux utilisateurs, elles sont plus satisfaites au travail, leurs performances s'améliorent et la livraison de logiciels est plus efficace. L'architecture joue un rôle significatif dans la capacité d'une équipe à se concentrer sur l'utilisateur et à améliorer la livraison de logiciels. En commençant petit et en accordant la priorité à l'utilisateur, les équipes ont constaté une amélioration significative du développement à branche unique, de l'architecture faiblement couplée, de l'intégration continue, de la livraison continue et de la SRE. Pour faire progresser vos capacités techniques, dégagez des opportunités d'expérimentation en équipe et d'amélioration continue⁵.

⁵ Team experimentation. <https://dora.dev/devops-capabilities/process/team-experimentation>



Avantages de la livraison continue

Auteur : Dave Farley

Le principe fondamental de la livraison continue (CD) consiste à travailler de telle façon que notre logiciel soit toujours dans un état livrable. Pour y parvenir, nous devons accomplir un travail de haute qualité. Ainsi, lorsque nous détectons un problème, il est facile à résoudre, et le retour à la livrabilité est rapide et simple.

Pour que notre logiciel reste dans cet état livrable idéal, nous devons faire en sorte d'obtenir rapidement des commentaires et d'assurer une récupération rapide après échec.

Pour vous, lecteur de ce rapport, j'imagine que ces concepts sont familiers. Les métriques de **stabilité** (taux d'échec sur l'implémentation des modifications et temps de récupération en cas d'échec de déploiement) concernent exclusivement la qualité, tandis que les métriques de **cadence** (délai de livraison des modifications et fréquence de déploiement) portent sur les commentaires et la facilité de détection des problèmes.

Si vous pratiquez la CD, vos scores de **stabilité** et de **cadence** seront élevés, et il est alors difficile d'imaginer que vous ne pratiquez pas aussi la CD pour atteindre de tels scores.

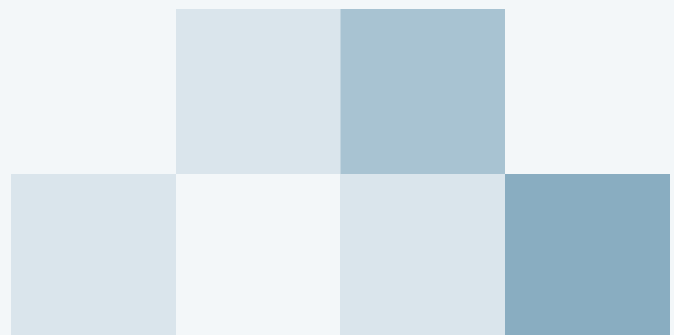
L'analyse réalisée cette année inclut une réflexion concernant l'impact des capacités sur les performances par l'identification des médiateurs de chaque capacité. La CD, qui est la capacité à apporter des modifications de tous types à la demande de manière rapide, sécurisée et durable, est un médiateur important pour de nombreuses capacités techniques.

En d'autres termes, ces capacités fonctionnent, car elles créent un environnement qui rend la CD possible. La pratique de la CD, quant à elle, fournit le mécanisme permettant à ces capacités de renforcer les performances de livraison de logiciels.











La livrabilité est un standard important à respecter pour le développement de logiciels en général. C'est pourquoi la CD met l'accent dessus. Elle est essentielle en tant qu'indicateur de qualité subjectif, mais précis et applicable au contexte. Le niveau de rigueur qui définit la livrabilité peut varier selon que nous travaillons sur des systèmes critiques pour la sécurité ou sur un logiciel destiné à une pâtisserie. Néanmoins, dans les deux cas, la livrabilité établit que nous avons fait tout ce que nous avons jugé nécessaire pour conclure que le code est prêt, de qualité suffisante et assez sécurisé pour être placé entre les mains des utilisateurs.

Par conséquent, toute optimisation visant à rendre nos modifications livrables est également une optimisation de la définition contextuelle de la qualité minimale acceptable pour notre système.

Les équipes qui mettent la priorité sur l'obtention rapide de commentaires de haute qualité pour prendre ensuite des mesures concrètes affichent de meilleures performances de livraison de logiciels que les autres.



Je suis un peu surpris que l'impact de l'intégration continue (CI) et du développement à branche unique sur les performances de livraison de logiciels ne soit pas plus important. La CI me paraît tout particulièrement fondamentale, et ces conclusions bousculent quelque peu mes certitudes, mais décomposer tous ces éléments est complexe. Par exemple, comment atteindre des scores de cadence élevés si notre code ne s'intègre pas, et comment savoir avec certitude que la stabilité est forte sans vérification ? Pour moi, la CI est la clé, ce qui en fait un médiateur crucial pour les performances de livraison de logiciels. S'agit-il d'un problème d'interprétation ou de quelque chose de plus profond et important ? C'est une réflexion intéressante !

Capacités et processus techniques	Impact sur les performances de livraison de logiciels	Médiation grâce à la livraison continue ?*
IA	 Faible baisse	 Non
Intégration continue	 Faible hausse	 Oui, entièrement
Vitesse de revue du code	 Hausse importante	 Oui, en partie
Architecture faiblement couplée	 Faible hausse	 Oui, en partie
Développement à branche unique	 Faible hausse	 Oui, entièrement

* La médiation est un test qui évalue les mécanismes ou parcours possibles sous-jacents d'un effet. Vous pouvez déclarer, par exemple, que "les données soutiennent l'hypothèse selon laquelle l'effet du développement à branche unique sur les performances de livraison de logiciels est ressenti grâce au déploiement continu (médiateur)". La médiation est complète lorsque l'ensemble de l'effet semble s'expliquer par le médiateur. La médiation est partielle lorsqu'une partie de l'effet seulement s'explique par le médiateur.

Optimiser les capacités et processus organisationnels

Nous savons que la culture est un moteur du succès. Mais quels sont les moteurs de la culture ? En voilà une question intéressante, et la réponse est celle que tout le monde adore : cela dépend.

Du point de vue du professionnel, l'amélioration des méthodes de travail au quotidien a un impact positif sur les éléments culturels tels que le partage des risques, le renforcement de la coopération et la sécurité psychologique. Par exemple, l'intégration régulière de modifications à la branche principale du système de contrôle des versions accroît le partage des connaissances et la collaboration. En faisant travailler ensemble les équipes chargées de la sécurité et les développeurs, avec une approche de type "policy as code" (règles en tant que code), vous consolidez la confiance entre les équipes et dans les modifications déployées.

Du point de vue du responsable, la culture commence par la prise de conscience et l'éducation sur son importance. Le leadership transformationnel⁶ peut contribuer à promouvoir un environnement où personne n'est pointé du doigt, qui encourage l'expérimentation et la formation, et qui donne confiance à des professionnels autorisés à exprimer leurs idées. Le rôle des ingénieurs est de résoudre des problèmes complexes, pas seulement de répondre aux requêtes de tâches. Pour ce faire, ils ont besoin de visibilité sur l'entreprise et d'autonomie pour agir. Au bout du compte, la culture est impulsée par les responsables.

Dans l'idéal, on obtient les meilleurs résultats en envisageant la culture comme une voie à double sens.

⁶ Transformational leadership. <https://dora.dev/devops-capabilities/cultural/transformational-leadership>

Intelligence artificielle (IA)

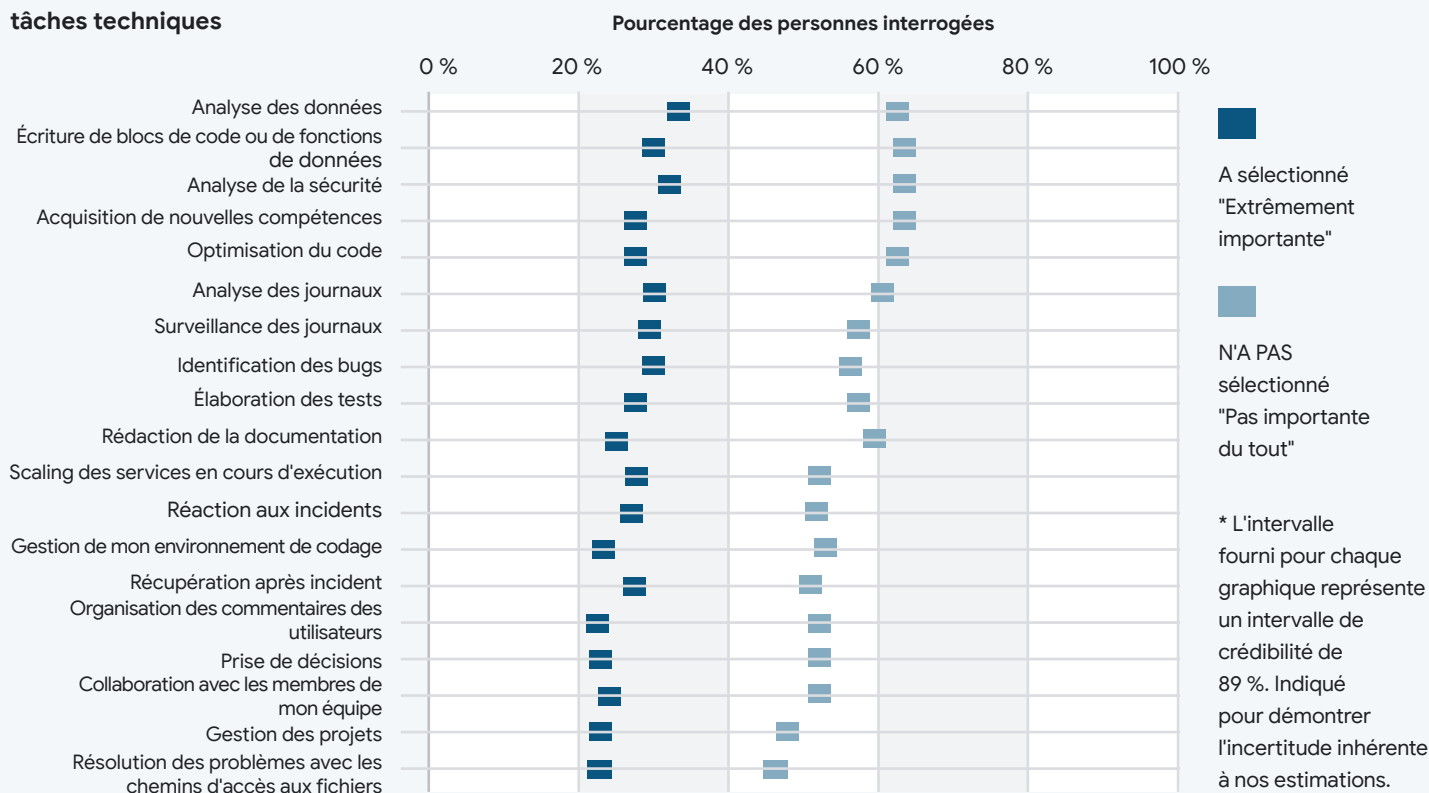
Certains analystes et experts en technologie émettent l'hypothèse suivante : l'IA va rendre les équipes en charge des logiciels plus performantes sans nuire à leur bien-être professionnel. Jusqu'à présent, les preuves recueillies dans notre enquête ne corroborent pas cette hypothèse. Elles suggèrent que l'IA améliore légèrement les mesures de bien-être individuel (comme le surmenage et la satisfaction au travail), mais que son effet est neutre, voire négatif sur les résultats au niveau du groupe (comme les performances des équipes et de livraison de logiciels).

Nous supposons que la première phase d'adoption des outils d'IA dans les entreprises pourrait expliquer ce constat mitigé. Il est probable que des grandes entreprises testent différents outils optimisés par l'IA pour une période d'essai avant de prendre une décision sur leur généralisation. Le potentiel des outils de développement de l'IA suscite un grand enthousiasme, comme l'indique le fait qu'une majorité des personnes interrogées intègre l'IA d'une façon ou d'une autre aux tâches qui faisaient l'objet de nos questions. Le graphique ci-dessous en est l'illustration. Nous nous attendons toutefois à ce que la démocratisation et l'utilisation coordonnée des outils optimisés par l'IA dans le secteur prennent un peu de temps.

Importance de l'IA

Contribution de l'IA aux tâches techniques

Pour l'application ou le service principal sur lequel vous travaillez, quelle est l'importance actuelle de l'intelligence artificielle (IA) dans chacune des tâches suivantes ?



Nous observerons avec beaucoup d'intérêt la croissance de l'adoption au fil du temps et l'impact de cette croissance sur les mesures de performances et les résultats qui comptent pour les organisations.

La documentation est primordiale



Points à retenir

Une documentation de qualité est essentielle. Elle contribue à la bonne implémentation des capacités techniques et amplifie l'impact de ces capacités sur les performances organisationnelles. La documentation a également un effet positif sur les résultats tels que les performances des équipes, la productivité et la satisfaction au travail. En revanche, l'amélioration de la qualité de la documentation n'augmente pas le bien-être pour tout le monde : plus la qualité de la documentation augmente, plus le niveau de surmenage signalé par certaines personnes interrogées augmente aussi.

Introduction

Cette année, nous examinons plus en détail la documentation interne, c'est-à-dire les supports de connaissances écrits que les membres de l'organisation consultent au quotidien. Nous étudions l'impact de la documentation sur les capacités techniques et les résultats clés.

Pour établir la qualité de la documentation, nous avons mesuré des notions telles que sa fiabilité, son accessibilité, son degré d'actualisation et sa pertinence. Nous avons ensuite calculé un score pour l'ensemble de l'expérience d'utilisation de la documentation. Il ne s'agit pas d'évaluer la documentation page par page, mais dans sa globalité.

Résultats

La documentation est primordiale : elle soutient et renforce les capacités techniques

Comme démontré en 2021¹ et en 2022², la qualité de la documentation continue de contribuer à la bonne implémentation de chacune des capacités techniques que nous avons étudiées.

Comme vous le verrez dans le tableau ci-dessous, la qualité de la documentation amplifie également l'impact de chaque capacité technique sur les performances organisationnelles, ce qui est semblable aux résultats de 2022³.

Capacité technique	Amplification de l'impact sur les performances organisationnelles*
Intégration continue	x 2,4*
Livraison continue	x 2,7*
Développement à branche unique	x 12,8*
Architecture faiblement couplée	x 1,2*
Pratiques de fiabilité	x 1,4*
Contribution de l'intelligence artificielle	x 1,5*

* Le calcul est le suivant :
$$\frac{\text{Impact de la capacité technique avec une documentation de haute qualité}}{\text{Impact de la capacité technique avec une documentation de faible qualité}}$$

¹ Accelerate State of DevOps 2021. <https://dora.dev/publications/pdf/state-of-devops-2021.pdf>




² 2022 Accelerate State of DevOps Report. <https://dora.dev/research/2022/dora-report/2022-dora-accelerate-state-of-devops-report.pdf>

³ 2022 State of DevOps Report data deep dive: Documentation is like sunshine. <https://cloud.google.com/blog/products/devops-sre/deep-dive-into-2022-state-of-devops-report-on-documentation>





La documentation influe sur la productivité et la satisfaction au niveau des personnes et des organisations

Nous avons constaté qu'en plus d'améliorer les capacités techniques, une documentation de qualité a un impact positif sur le bien-être individuel : elle contribue à réduire le surmenage, à augmenter la satisfaction au travail et à accroître la productivité. Nous avons découvert que cela s'explique en partie par le fait qu'une documentation de qualité renforce le partage de connaissances.

Ce résultat n'est pas vraiment surprenant. Il est plus facile de faire quelque chose en sachant comment le faire, et le travail est moins frustrant lorsque les connaissances sont partagées.

Aspects liés au bien-être	Impact d'une documentation de qualité
Surmenage	 Baisse importante
Satisfaction au travail	 Hausse importante
La productivité	 Hausse importante

La qualité de la documentation influe également sur les résultats clés, en particulier sur les performances organisationnelles, opérationnelles et des équipes.

Résultats clés	Impact d'une documentation de qualité
Performances des équipes	 Hausse importante
Performances organisationnelles	 Hausse importante
Les performances de livraison de logiciels	 Aucun impact*
Performances opérationnelles	 Hausse importante

* Notre étonnement perdure quant à l'absence d'impact d'une documentation de qualité sur les performances de livraison de logiciels. C'est la deuxième année que nous faisons ce constat.

Qu'est-ce qui se cache derrière cet effet positif sur les trois résultats clés ? Pour le lecteur, une documentation claire est un atout. Le processus de rédaction peut également être un facteur. Créer une documentation de haute qualité demande aux équipes de commencer par se mettre d'accord sur ce processus. La documentation peut forcer différentes équipes d'une organisation à discuter explicitement, et à s'aligner sur ce qu'elles doivent faire et sur la méthode à employer.

Une documentation de qualité constitue également un véritable fonds de connaissances pour les équipes, quelle que soit la façon dont elles évoluent. Les connaissances sont ainsi pérennisées, dans l'ensemble de l'organisation et au fil du temps.

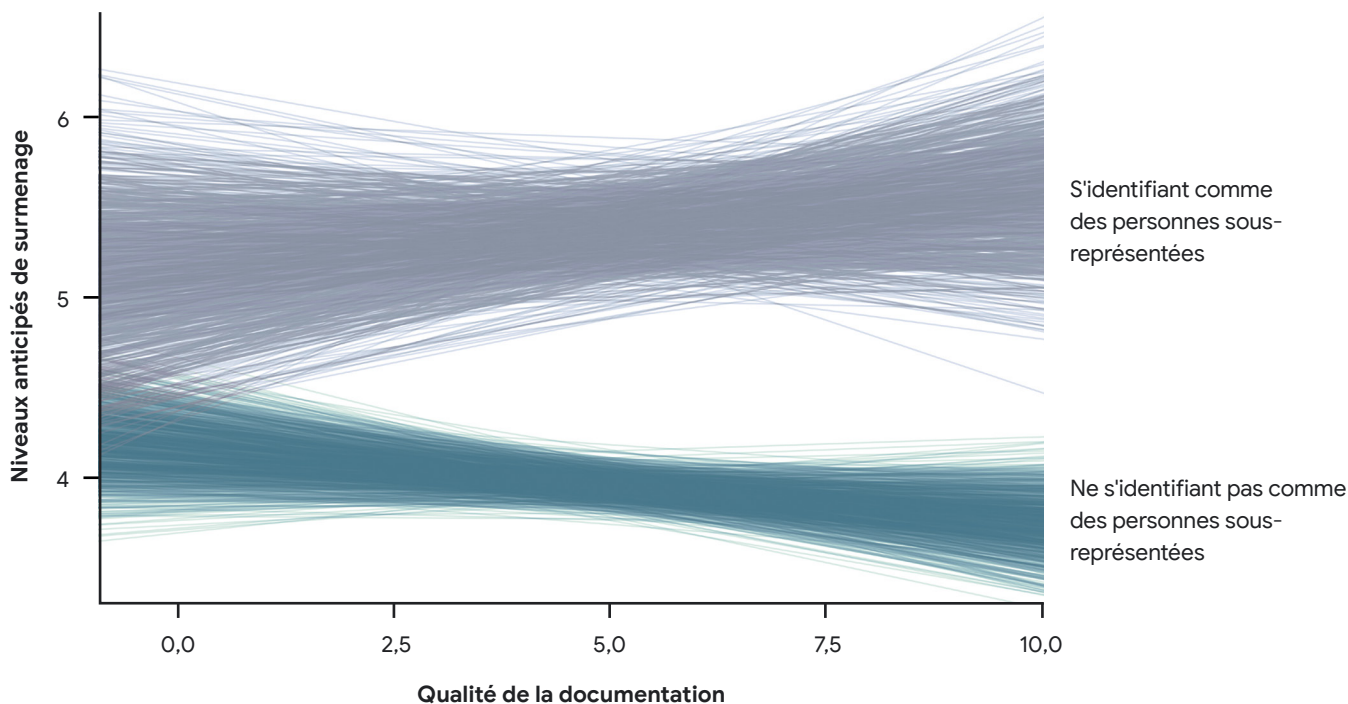
La documentation est-elle liée à une baisse du bien-être chez certaines personnes ?

Nous avons observé une tendance inattendue en nous penchant sur les personnes interrogées qui s'identifient comme sous-représentées. Pour ce groupe, la qualité de la documentation est associée à une hausse du surmenage.

Pour cette donnée, nous avons également étudié le genre, mais à notre grande surprise, aucun effet n'était à signaler. Chez les personnes interrogées qui s'identifient comme des hommes ou des femmes, ou qui décrivent elles-mêmes leur genre, une documentation de haute qualité entraîne une baisse significative du surmenage. En revanche, chez les personnes qui s'identifient comme sous-représentées, quelle que soit leur identité de genre, une documentation de qualité entraîne un niveau de surmenage plus élevé.

Le graphique suivant représente des prédictions simulées sur la base de nos données. Dans l'ensemble du bas, le surmenage diminue pour la majorité des personnes interrogées lorsque la qualité de la documentation augmente. En revanche, dans l'ensemble du haut, le surmenage augmente de façon significative pour les personnes qui s'identifient comme sous-représentées.

Ce graphique comprend 1 000 lignes de simulation pour chaque groupe. Plus le groupement des lignes est dense, plus la courbe est probable sur la base de nos données.



Cette conclusion est similaire concernant la qualité de la documentation, la culture générative et la stabilité des équipes : lorsque ces attributs augmentent, le surmenage augmente lui aussi pour les personnes qui s'identifient comme sous-représentées. Mais que se passe-t-il par rapport à la documentation ?

Créer et gérer une documentation de haute qualité demande des efforts. Il s'agit d'un travail technique, qui a un impact significatif sur les capacités techniques, la productivité des équipes et les performances organisationnelles, mais qui n'est pas toujours reconnu à la hauteur de son importance et de son influence. Les personnes qui s'identifient comme sous-représentées en réalisent-elles une part disproportionnée ? Si oui, cela permet-il d'expliquer l'effet observé sur le surmenage ?

Le recours à la documentation pourrait-il être problématique ? Avec la hausse de la qualité de la documentation, est-ce que le partage de connaissances, lui, n'augmente pas pour certaines personnes interrogées ? Ou, s'il augmente, est-ce dans une proportion insuffisante pour contrebalancer d'autres aspects à l'origine du surmenage pour ce groupe ?

Il est possible qu'un tout autre facteur entre en ligne de compte à la fois dans l'amélioration de la qualité de la documentation et dans l'apparition/la persistance du surmenage pour les personnes interrogées qui s'identifient comme sous-représentées. D'autres recherches doivent être menées.

Il semble que votre place dans l'équipe soit importante. Des aspects du lieu de travail comme la documentation de qualité ont des avantages notables pour les équipes et pour les organisations dans leur ensemble. Ils peuvent toutefois avoir des conséquences négatives pour certaines personnes. Nous examinerons cela plus en détail dans le [chapitre 8 – Votre identité compte, et voici pourquoi](#).

⁴ Accelerate State of DevOps 2021, 22. <https://dora.dev/publications/pdf/state-of-devops-2021.pdf#page=22>

Ressources pour commencer

Consultez le rapport de 2021 pour en savoir plus sur les pratiques qui améliorent la qualité de la documentation⁴. Cette année, nous avons également constaté que la répartition du travail, y compris les processus formels de répartition du travail de documentation, permet d'améliorer considérablement la qualité de la documentation.

De nombreuses ressources et formations existent sur la rédaction technique. Pour en savoir plus, reportez-vous aux ressources suivantes :

- Society for Technical Communications (stc.org)
- Cours de rédaction technique pour les ingénieurs (developers.google.com/tech-writing)
- Communauté Write the docs (writethedocs.org)



La fiabilité optimise les performances

Points à retenir

Des pratiques de fiabilité solides permettent d'améliorer les performances opérationnelles, organisationnelles et des équipes. Les données montrent que l'amélioration de ces pratiques entraîne des effets non linéaires : les gains de performances peuvent parfois sembler au point mort pendant que les organisations renforcent leurs capacités. Cependant, au fil du temps, persévérer dans ces pratiques générera assurément de bons résultats.

Introduction

La fiabilité est un terme très répandu dans l'univers des opérations informatiques. Elle indique à quel point un service atteint ses objectifs pour les mesures comme la disponibilité, les performances et l'exactitude. L'une des approches courantes pour améliorer la fiabilité est l'ingénierie SRE, qui a vu le jour chez Google (<https://sre.google>) et est désormais mise en œuvre dans de nombreuses organisations. L'ingénierie SRE donne la priorité à l'apprentissage empirique, à la collaboration interfonctionnelle, au recours étendu à l'automatisation et à l'utilisation de techniques de mesure comme les SLO (objectifs de niveau de service).

Bon nombre d'organisations recourent à des pratiques de fiabilité sans les qualifier d'ingénierie SRE et utilisent d'autres appellations : ingénierie de production, équipes en charge de la plate-forme, équipes en charge de l'infrastructure, TechOps et bien d'autres. Afin d'évaluer le plus objectivement possible l'étendue de ces pratiques, nous avons utilisé un langage neutre et descriptif dans le texte de l'enquête.

Nous recueillons également des données sur les résultats de l'ingénierie de la fiabilité, c'est-à-dire la propension des équipes à atteindre leurs objectifs de fiabilité. Les pratiques et résultats de fiabilité (que nous appelons **performances opérationnelles**) sont reflétés dans notre modèle prédictif, avec d'autres capacités.

Pratiques de fiabilité

Nous avons demandé aux participants de réfléchir à la fiabilité en se penchant sur trois aspects essentiels de leurs opérations. Premièrement, ont-ils mis en place des plans d'atténuation pour leurs dépendances ? Deuxièmement, testent-ils régulièrement leurs plans de reprise après sinistre à l'aide de simulations d'interruptions, de basculements pratiques ou d'exercices sur table ? Enfin, si les objectifs de fiabilité ne sont pas atteints, effectuent-ils un travail d'amélioration, ou de rehiérarchisation et d'ajustement de leurs tâches ?

Nous pensons que ces mesures reflètent la mentalité d'une équipe qui suit les principes de l'ingénierie SRE comme "accepter les risques" et "mesurer la satisfaction des utilisateurs". Une équipe de ce type se définit un objectif raisonnable et en adéquation avec les attentes des utilisateurs. Elle réalise ensuite des tests pour s'assurer qu'elle peut atteindre cet objectif, mais sait modifier ses plans en cas de difficulté. Ceci est la vision que nous avons d'une équipe qui réussit son ingénierie SRE, sans relier les évaluations de l'équipe à des implémentations SRE spécifiques.

Résultats

Confirmer la courbe en J des pratiques de fiabilité

Depuis 2018, DORA élabore une théorie selon laquelle il existe une relation non linéaire (figure 1) entre les performances opérationnelles et des pratiques telles que

l'automatisation. En approfondissant notre exploration des pratiques de fiabilité lors de notre enquête, nous avons obtenu des données qui étayaient cette théorie.

En 2022, nous avons mesuré cet aspect directement. En interrogeant différentes équipes, nous avons constaté que la relation entre pratiques de fiabilité et résultats de fiabilité suit bien ce type de courbe non linéaire (figure 2). Cela suggère que les équipes ne gagnent en fiabilité de manière significative qu'après avoir adopté de nombreuses pratiques allant dans ce sens¹. Nous avons toutefois eu le sentiment que cette interprétation des données était incomplète. La courbe de 2022 laissait penser que l'ingénierie SRE était uniquement une affaire d'experts qui ne méritait pas d'investissements, ce qui va à l'encontre de l'expérience de nombreuses équipes SRE. Nous avons donc besoin de davantage de données.

Figure 1 : courbe en J hypothétique de 2018

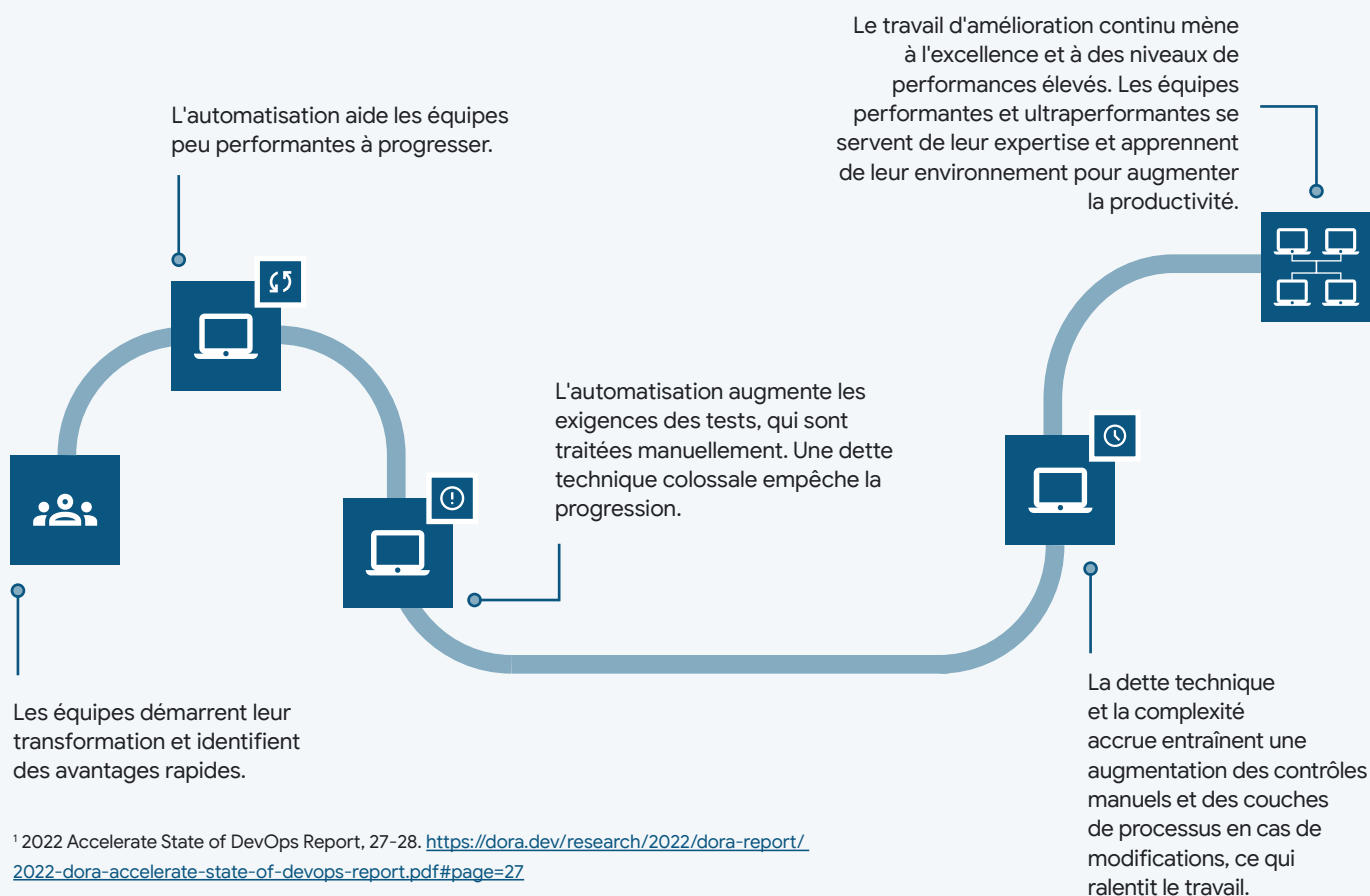


Figure 2 : courbe de 2022

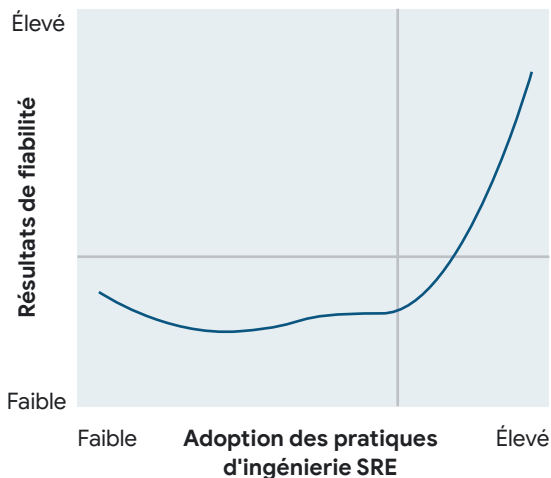
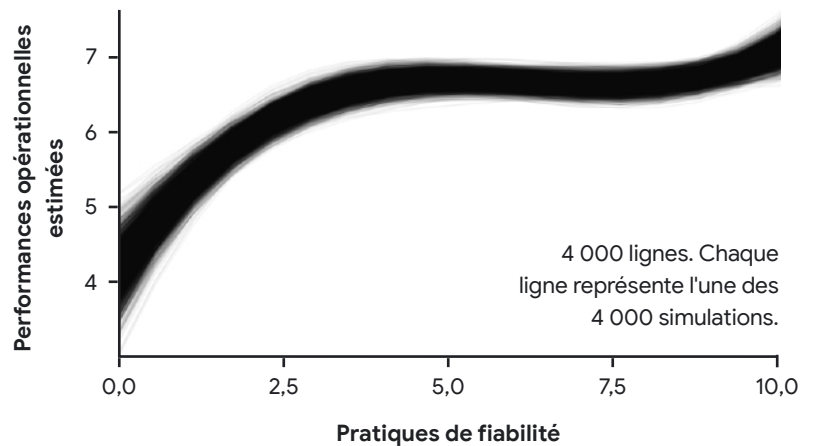


Figure 3 : courbe de 2023



En 2023, nous avons pu poser plus de questions, ce qui nous a permis de mieux définir la courbe et de la rendre plus conforme aux expériences vécues. La nouvelle courbe est plus proche de la courbe en J hypothétique de transformation décrite dans le rapport de 2018 (consultez la section [Méthodologie](#) pour en savoir plus sur notre méthode d'analyse). Cela tend à indiquer que l'adoption de pratiques de fiabilité offre bien des améliorations rapides, suivies d'une stagnation due aux nouveaux défis qu'implique l'accroissement de la complexité, pour enchaîner enfin sur une autre légère hausse des performances opérationnelles. Ces résultats viennent renforcer nos observations sur de nombreuses équipes.

Cette courbe est importante pour plusieurs raisons :

- Elle aide les entreprises à simplifier et financer la mise en place initiale de l'ingénierie SRE, même si elles ne cherchent pas à obtenir des niveaux très élevés de fiabilité ni à investir massivement dans l'ingénierie SRE. Adopter des pratiques de fiabilité, même de faible ampleur, peut vous permettre d'améliorer vos performances opérationnelles, et de ce fait les performances organisationnelles et des équipes.
- Elle encourage les entreprises qui cherchent à investir *activement* et massivement dans la fiabilité à persévérer pendant la phase de stagnation. Il peut être tentant d'attendre des résultats positifs linéaires des investissements en ingénierie SRE à long terme, mais les données nous montrent que la réalité est différente. Lorsque les équipes ont connaissance à l'avance de la non-linéarité de cette courbe, elles peuvent décider de réaliser ou non cet investissement, et planifier leur initiative pour ne pas abandonner avant d'en récolter tous les lauriers.
- De telles modifications peuvent demander une transformation culturelle². Nous avons constaté que la réussite est le fruit d'une combinaison de changements opérés de la base vers le sommet et du sommet vers la base de l'entreprise. Les équipes peuvent mettre en œuvre des pratiques de fiabilité et en obtenir des avantages immédiats, puis présenter ces résultats positifs aux autres équipes, avec l'appui et l'impulsion des responsables. La courbe en J peut aider à concevoir ces programmes incitatifs et structurés.

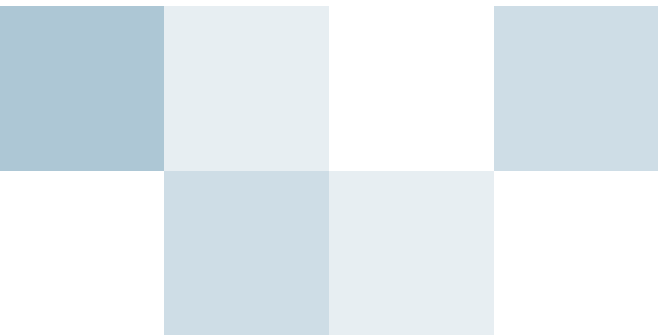
² How to transform. <https://dora.dev/devops-capabilities/cultural/devops-culture-transform/>

Pratiques de fiabilité et bien-être

Les pratiques traditionnelles liées aux opérations sont extrêmement réactives et concernent souvent davantage l'état du système technique que la satisfaction des utilisateurs. Les alertes pour des problèmes sans impact sur l'expérience utilisateur, les tâches manuelles répétitives, la peur de commettre des erreurs et autres situations similaires mènent au surmenage et nuisent au bien-être des membres de l'équipe.

Nous observons l'inverse dans les équipes qui s'appuient sur des pratiques de fiabilité. Ces équipes affichent une meilleure productivité, une plus grande satisfaction au travail et des niveaux inférieurs de surmenage par rapport à celles qui n'ont pas mis en place de telles pratiques. Nous pensons que l'amélioration du bien-être découle de certaines pratiques d'ingénierie SRE déjà connues :

- Réduction des tâches répétitives³
- Analyses post-mortem non accusatoires⁴
- Autonomie des équipes⁵
- Évolution sous-linéaire des effectifs des équipes⁶



³ Beyer, Betsy, et al. Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems (O'Reilly, 2016), 49–54. <https://sre.google/sre-book/eliminating-toil/>

⁴ Ibid, <https://sre.google/sre-book/postmortem-culture/>

⁵ Beyer, Betsy, et al. The Site Reliability Workbook (O'Reilly, 2018), <https://sre.google/workbook/team-lifecycles/>

⁶ Brookbank, James et McGhee, Steve. Enterprise Roadmap to SRE (O'Reilly, 2022), 11. <https://sre.google/resources/practices-and-processes/enterprise-roadmap-to-sre/>

Performances opérationnelles

Nous avons également demandé aux personnes interrogées de décrire les performances opérationnelles de leur service. Nous les avons d'abord questionnées sur la fréquence à laquelle les utilisateurs leur faisaient part directement d'une insatisfaction quant à la fiabilité de leur service. Ensuite, nous leur avons demandé à quelle fréquence leur service est indisponible ou lent, ou fonctionne mal.



Les pratiques de fiabilité améliorent les performances organisationnelles et des équipes par l'intermédiaire des performances opérationnelles

En adoptant des pratiques de fiabilité, les équipes améliorent leurs performances opérationnelles. Lorsqu'une organisation parvient à gérer efficacement son parc de production, ces améliorations se répercutent sur d'autres résultats. Si les résultats sont déjà élevés, les pratiques de fiabilité les élèvent encore davantage. Si les résultats sont faibles, ces pratiques n'ont aucune incidence sur eux.

Un système fiable nécessite toujours de disposer des capacités logicielles appropriées pour les clients et de les livrer efficacement. En effet, l'ingénierie SRE n'a jamais été envisagée comme une discipline totalement indépendante. Le respect des objectifs de fiabilité est une métrique de succès clé pour les équipes d'ingénierie SRE, et cela se ressent au niveau des performances opérationnelles. Même si la mise en place de pratiques de fiabilité a probablement d'autres atouts, les données suggèrent que le plus important est son impact sur les performances opérationnelles. Qui plus est, l'amélioration des performances opérationnelles n'est pas bénéfique qu'à l'état du service. D'après nos observations, le recours à des pratiques de fiabilité favorise le bien-être des professionnels.



Les performances opérationnelles influent sur le bien-être

Voici l'une des idées reçues dans le secteur : la haute fiabilité des services a un impact négatif sur le bien-être des techniciens impliqués, par exemple, en raison des astreintes ou des activités de maintenance

d'urgence en dehors des heures de travail. Cependant, nous avons constaté qu'en présence de performances opérationnelles élevées, le surmenage est moindre, la productivité est plus élevée et la satisfaction au travail est plus grande, conformément au principe de diminution des tâches répétitives⁷ de l'ingénierie SRE. L'automatisation des parties manuelles des opérations est source de satisfaction et réduit la charge qui pèse en continu sur l'équipe.

» Les performances opérationnelles ont un impact sur les performances organisationnelles et des équipes

Nous avons observé que les performances opérationnelles ont une influence positive considérable sur les performances organisationnelles et des équipes. Les adeptes du mouvement DevOps n'en seront pas surpris. Pouvoir exploiter un système efficacement permet aux équipes d'accomplir plus de choses, ce qui fait prospérer les organisations.

» Les performances opérationnelles ont un impact sur les performances de livraison de logiciels

Si les performances de livraison de logiciels peuvent permettre d'améliorer les performances de l'organisation et des équipes, elles sont grandement influencées par les performances opérationnelles, et ce de façon positive. De plus, les équipes de livraison de logiciels très performantes ne vont pas enregistrer d'excellentes performances organisationnelles et d'équipe si leurs performances opérationnelles ne sont pas élevées. Les deux facettes sont nécessaires. Concrètement, les équipes qui améliorent leurs performances de livraison de logiciels sans atteindre un niveau correspondant de performances opérationnelles obtiennent au bout du compte de moins bons résultats organisationnels. Par conséquent, si vous êtes capable d'écrire rapidement du code extraordinaire, mais que votre logiciel ne parvient pas à répondre aux attentes des utilisateurs une fois en production, le marché ne sera pas tendre avec vous.

Qu'est-ce qui nous manque ? Quelles sont les prochaines étapes ?

Nous pensons que d'autres mesures pourraient nous aider à comprendre ces interactions. Par exemple, l'une des questions courantes cette année concernait l'impact de la gestion des coûts sur ces capacités et résultats. Certaines organisations font plus attention aux coûts que d'autres, ce qui a un effet sur leurs plans et leurs décisions. Nous formulons également l'hypothèse selon laquelle les pratiques de fiabilité peuvent être le fruit d'une culture hautement collaborative⁸, même sans être explicitement recherchées ou planifiées. Nous aimerions mieux comprendre comment les équipes font évoluer leurs pratiques existantes autour des opérations informatiques, et comment cette évolution influe sur la fiabilité des systèmes, les performances des équipes et le bien-être.

Mais, nous voulons avant tout recueillir vos impressions. Joignez-vous à nous et à d'autres professionnels sur [DORA.community](https://dora.community)⁹. L'ingénierie SRE est encore une nouvelle discipline. Son impact est différent dans chaque organisation qui adopte des pratiques de fiabilité, et même celles qui s'aperçoivent qu'elles y recourent depuis longtemps. L'ingénierie SRE implique des changements qui prennent du temps, et nous voulons réaliser des mesures constantes pour en étudier la progression. Dans cette communauté, nous pouvons échanger sur ce qui fonctionne et nous faire avancer les uns les autres.

⁷ Beyer, Betsy, et al. Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems (O'Reilly, 2016), 49–54. <https://sre.google/sre-book/eliminating-toil/>

⁸ Brookbank, James et McGhee, Steve. Enterprise Roadmap to SRE (O'Reilly, 2022), 5. <https://sre.google/resources/practices-and-processes/enterprise-roadmap-to-sre/>

⁹ Communauté DORA. <https://dora.community/>

L'ingénierie SRE façon Google

Chez Google, l'ingénierie SRE évolue depuis 20 ans dans une organisation bien financée et en pleine expansion. L'étincelle qui a fait naître l'ingénierie SRE a été la nécessité de soutenir l'hypercroissance de la recherche Google et de Google Ads sans dépenser des fortunes. L'aspect "en temps réel" de ces produits a fait émerger très tôt des exigences de haute fiabilité : toute erreur transitoire dans la recherche ou les annonces entraîne la perte immédiate du client, sans possibilité de recommencer. Le calcul pour une annonce dynamique est de l'ordre de la milliseconde. Si la recherche est lente, la promesse de la marque Google n'est pas tenue.

C'est à ce moment-là que l'ingénierie SRE s'est développée au sein d'un nouveau type d'entreprise : une entreprise axée sur l'ingénierie, à l'écoute des employés, qui a choisi de créer plutôt que d'acheter. Google s'est appuyé sur une équipe d'ingénieurs de la fiabilité des sites, qui maîtrisent les disciplines informatiques académiques comme les systèmes distribués et la conception de compilateurs. Cet ADN culturel a permis de créer un environnement riche dans lequel l'ingénierie SRE a pu émerger et prospérer. Google a confié à son équipe SRE non seulement les clés de la production, mais aussi la recherche de nouveaux moyens innovants de faire évoluer les systèmes.

Comment l'ingénierie SRE a-t-elle pris de l'ampleur au fil du temps ? En résumé : de manière sous-linéaire. En effet, Google ne pouvait pas se permettre de doubler les effectifs SRE chaque fois que son activité doublait elle aussi. Compte tenu du rythme auquel les premiers produits Google évoluaient pour répondre à la demande mondiale (et avec l'introduction de nouveaux produits comme Gmail, Google Maps, Android, YouTube et Google Cloud), il était impossible d'engager de nouveaux ingénieurs SRE, alors encore rares, à la cadence de la croissance de la clientèle.

La situation a donné naissance à de nouveaux commandements :

- L'effectif SRE ne devra pas évoluer de façon linéaire suivant le nombre d'utilisateurs.
- L'effectif SRE ne devra pas évoluer de façon linéaire suivant le nombre de serveurs.
- L'effectif SRE ne devra pas évoluer de façon linéaire suivant le nombre de clusters.
- L'effectif SRE ne devra pas évoluer de façon linéaire suivant le nombre de services.

Une structure de gestion a été développée pour entretenir ce modèle de croissance contraint. Les ingénieurs SRE ont aligné leurs activités et coopéré les uns avec les autres tout en collaborant étroitement avec les équipes de développement de produits. Une hiérarchie spécifique a été établie, avec à sa tête Ben Treynor Sloss¹⁰. Les équipes se sont divisées par groupe de produits (PA), en suivant exactement les PA de développement de produits. Les équipes SRE ont collaboré avec leurs équipes de développement pour déterminer le meilleur usage possible des ingénieurs à disposition. Les équipes de développement pouvaient financer directement les nouveaux ingénieurs SRE.

¹⁰ Benjamin Treynor Sloss, vice-président de l'ingénierie. Site Reliability Engineering: How Google Runs Production Systems (O'Reilly, 2016).

<https://sre.google/sre-book/part-i-introduction/>, <https://sre.google/sre-book/introduction/#id-2opuzSjFr>

Toutes les équipes de développement ne concevaient pas des produits destinés aux utilisateurs. Elles étaient nombreuses à travailler sur l'infrastructure partagée, comme sur Bigtable¹¹ (stockage de données structurées), Borg¹² (ordonnancement) et Colossus¹³ (stockage distribué). Grâce à ces services d'infrastructure partagée, les équipes des produits destinés aux clients ont pu monter en puissance sans leur propre équipe SRE dédiée.

En maintenant ces équipes dans leur propre organisation, il a été possible de mettre en place un processus cohérent d'embauche et de promotion. Les équipes de développement comptaient généralement au moins 10 fois plus de membres que les équipes SRE. C'est pourquoi il était important de veiller à préserver l'autonomie de ces dernières et à ne pas les pousser sur des voies contraires aux principes de l'ingénierie SRE.

Les ingénieurs SRE ont développé leurs propres produits sous la houlette de leurs responsables produit. Les clients des produits SRE étaient les autres équipes désireuses d'obtenir des outils plus efficaces pour les exécutions en production. Les équipes SRE ont développé des produits pour la gestion des incidents, la surveillance et l'observabilité, la gestion des versions, la planification des capacités et le dépannage.

Le processus de renforcement des effectifs SRE a toujours tenu compte de la santé des équipes et de la durabilité. Par exemple, une nouvelle équipe SRE d'astreinte comptait un minimum de 12 membres : six personnes sur deux sites. Les différents fuseaux horaires étaient ainsi couverts, et le fait que l'équipe soit composée d'un nombre suffisant de personnes préservait leur équilibre travail-vie personnelle sans les exposer au surmenage.

Aujourd'hui, l'ingénierie SRE continue de s'adapter. Toutes les équipes n'ont pas suivi scrupuleusement les modèles décrits ci-avant, et certaines ont choisi d'autres voies. Les organisations de grande envergure, à l'image des équipes SRE de Google, sont elles aussi affectées par l'évolution du marché, comme tout grand groupe. La flexibilité est donc essentielle. Mais, avant tout, les équipes SRE sont fidèles à leurs principes : accepter les risques, mesurer les niveaux de service, éliminer les tâches répétitives, adopter l'automatisation et rechercher sans cesse la simplicité.



¹¹ Chang, Fay, et al. Bigtable: A Distributed Storage System for Structured Data, 7th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI), (USENIX) (2006), pp. 205-218, <https://research.google/pubs/pub27898/>

¹² Verma, Abhishek, et al. Large-scale cluster management at Google with Borg, Proceedings of the European Conference on Computer Systems (EuroSys), ACM, Bordeaux, France (2015), <https://research.google/pubs/pub43438/>

¹³ Hildebrand, Dean, et al. Colossus under the hood: a peek into Google's scalable storage system. April 19, 2021 - <https://cloud.google.com/blog/products/storage-data-transfer/a-peek-behind-colossus-googles-file-system>

Une infrastructure flexible est la clé du succès

Points à retenir

Une infrastructure flexible favorise les performances organisationnelles, opérationnelles, des équipes et de livraison de logiciels. Le cloud computing est un véritable facilitateur pour les infrastructures flexibles, mais les bénéfices à en retirer ne sont pas automatiques : nos données démontrent que c'est *la façon* dont vous utilisez le cloud qui compte réellement.

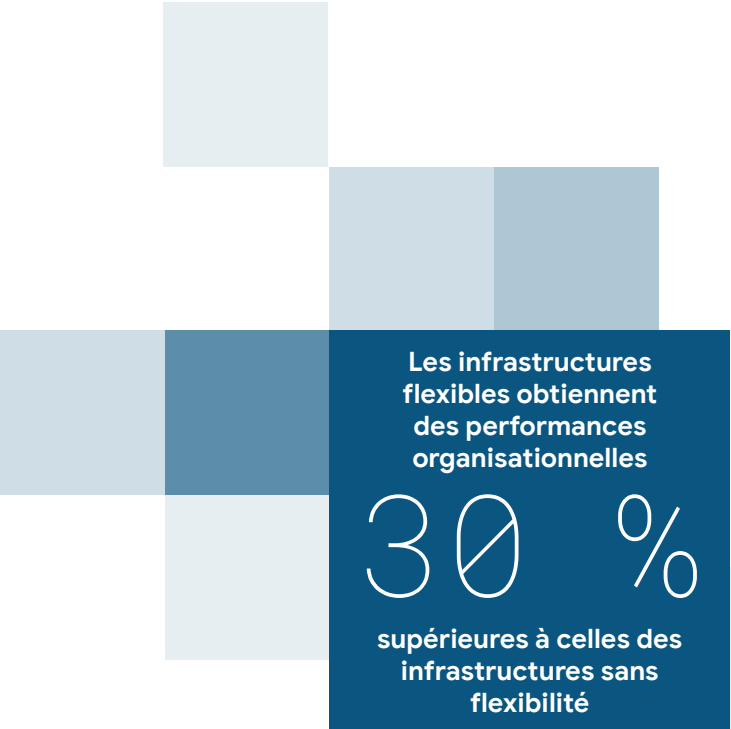
Introduction

Dans bon nombre des recherches du programme DORA, nous avons interrogé les professionnels sur leur infrastructure en nous concentrant sur les caractéristiques essentielles du cloud computing, telles que les définit le National Institute of Standards and Technology (NIST)¹ :

- Libre-service à la demande
- Accès réseau étendu
- Pooling des ressources
- Élasticité rapide
- Service mesuré

Nous avons invariablement constaté que ces cinq caractéristiques jouent sur l'amélioration des performances organisationnelles et de livraison de logiciels. Cette année, nous souhaitons déterminer si le recours au cloud computing permet d'accroître la flexibilité de l'infrastructure.

¹ Publication spéciale 800-145 du NIST : The NIST Definition of Cloud Computing.



Les infrastructures
flexibles obtiennent
des performances
organisationnelles

30 %

supérieures à celles des
infrastructures sans
flexibilité

	Pourcentage
Multicloud	19,6 %
Cloud public	51,5 %
Cloud hybride	33,6 %
Infrastructure sur site	19,8 %
Serveur local	3,2 %
Autre	2,5 %

* Les personnes interrogées pouvaient sélectionner plusieurs réponses.

Résultats










Une fois encore, nous avons confirmé les conclusions précédentes : la *façon* dont une équipe utilise le cloud a davantage d'influence sur les performances que le simple *fait* de l'utiliser. Bien que le recours au cloud soit un atout de poids, ses avantages ne sont pas automatiques. En réalité, les indicateurs montrent clairement que l'usage du cloud public entraîne une *baisse* des performances logicielles et opérationnelles, *sauf* si les équipes utilisent une infrastructure flexible. Ce verdict nous conforte dans l'idée qu'une simple migration Lift and Shift (migration des charges de travail d'un centre de données vers le cloud) n'est pas avantageuse et peut même être néfaste.

L'utilisation du cloud computing est associée à une baisse significative du surmenage, ainsi qu'à une amélioration conséquente de la satisfaction au travail et de la productivité.

Environnements informatiques

Le tableau ci-dessus indique l'environnement d'exécution de l'application ou du service principal des personnes interrogées.



Type de cloud	Performances organisationnelles	Performances des équipes	Performances de livraison de logiciels	Performances opérationnelles
Privé	 Aucun signe d'impact	 Hausses importantes associées à l'utilisation du cloud computing	 Aucun signe d'impact	 Hausses importantes associées à l'utilisation du cloud computing
Public	 Hausses très importantes associées à l'utilisation du cloud computing		 Baisses importantes associées à l'utilisation du cloud computing	 Baisses importantes associées à l'utilisation du cloud computing
Hybride			 Aucun signe d'impact	 Aucun signe d'impact
Multicloud			 Aucun signe d'impact	 Baisses importantes associées à l'utilisation du cloud computing

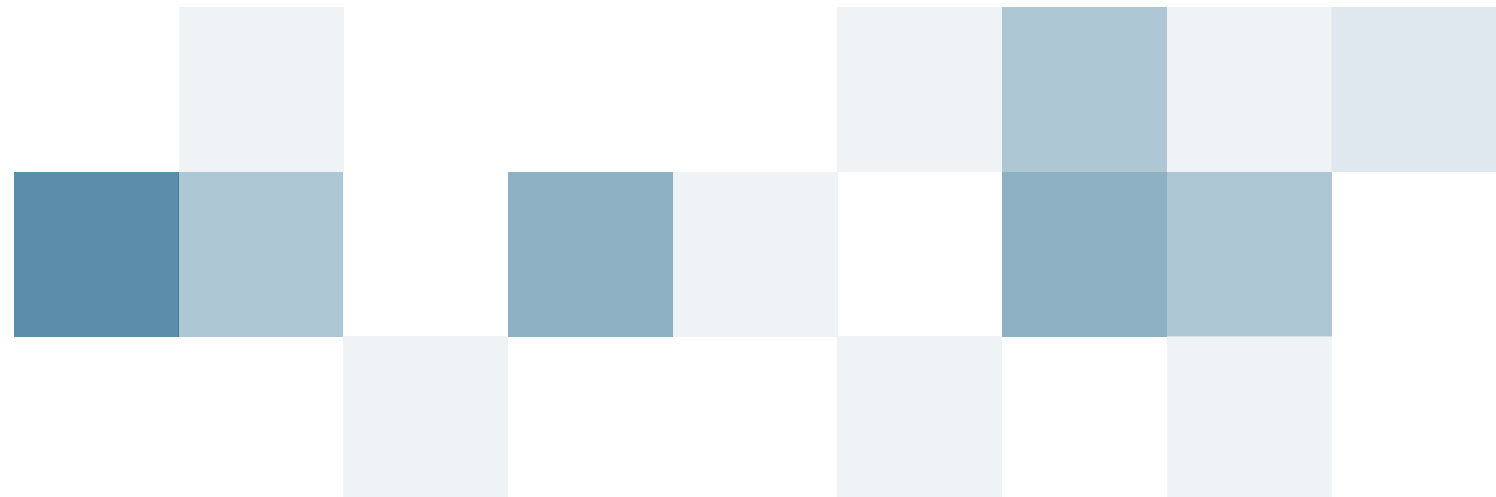
Le simple "fait d'utiliser le cloud" offre des résultats mitigés

Comme le montre le tableau des résultats, le simple "fait d'utiliser le cloud" a un effet nul ou négatif sur les performances opérationnelles et de livraison de logiciels. Cela s'explique probablement par le fait que les professionnels concernés n'en sont qu'à la première étape de leur parcours cloud, et sont désormais confrontés à un nouvel environnement et de nouveaux outils de travail, qui leur demandent de procéder différemment sur *certaines aspects*. Les entreprises utilisent souvent le cloud de la même façon que leurs propres centres de données, en s'ajoutant la complexité

et la charge intellectuelle d'un nouvel environnement. Rater l'adaptation à ce nouvel environnement n'améliore pas les performances opérationnelles ou de livraison de logiciels. Au contraire, elles en pâtissent.

La seule exception concerne les performances opérationnelles avec un cloud privé.

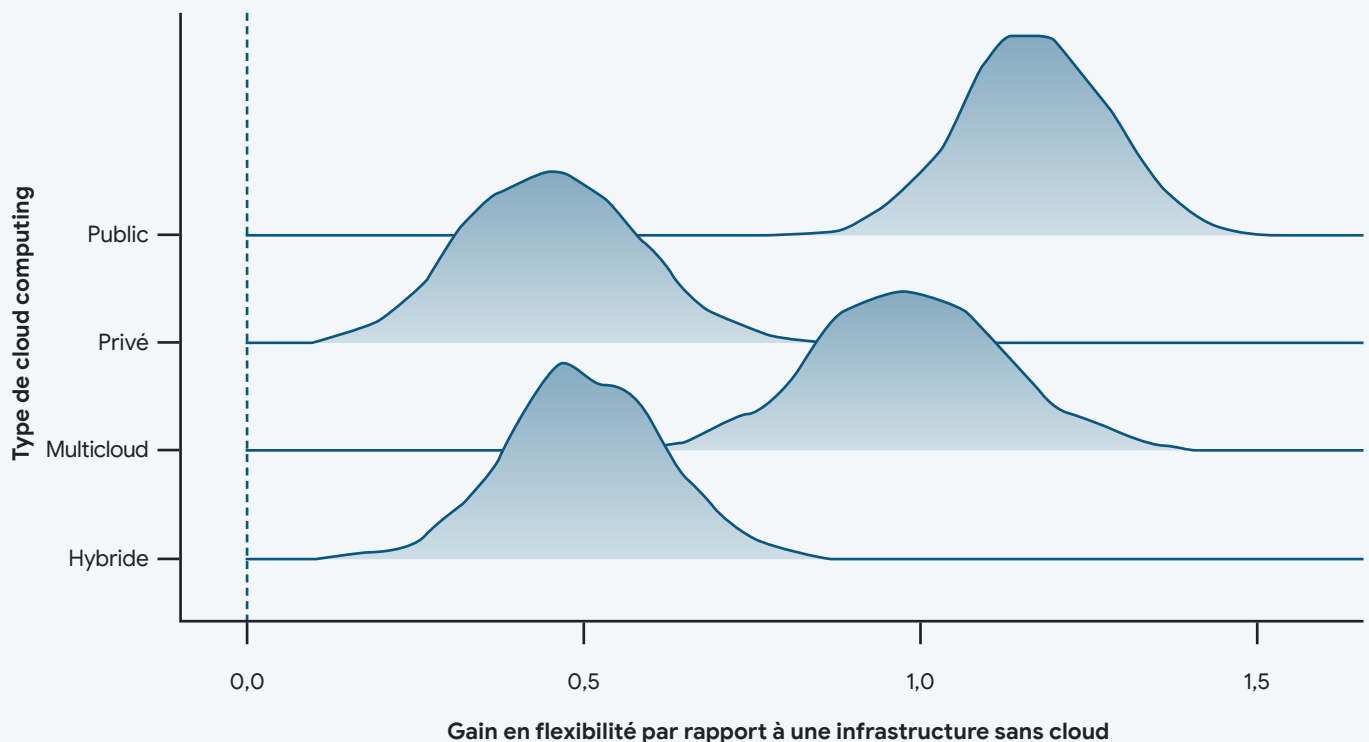
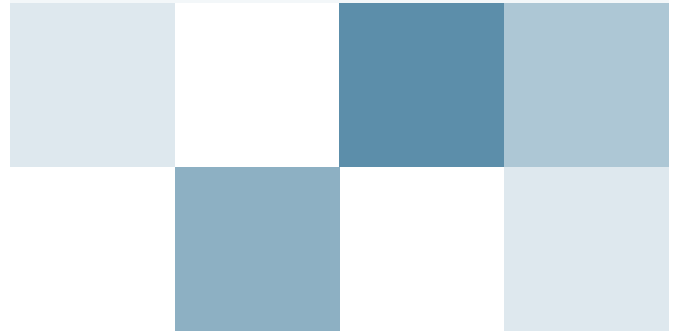
Ce qui améliore *effectivement* les performances opérationnelles et de livraison de logiciels, c'est la mise en place d'une **infrastructure flexible**, ce dont nous allons parler d'ici peu.







L'infrastructure cloud est synonyme de flexibilité

L'utilisation d'un cloud public entraîne une hausse de 22 % de la flexibilité de l'infrastructure par rapport à un environnement sans cloud. Le recours à plusieurs clouds aboutit *aussi* à une amélioration, mais moins qu'avec un seul cloud public. Une question évidente se pose : pourquoi ? Nos données démontrent qu'une infrastructure flexible, souvent sous-tendue par le cloud computing, a plus d'impact que la simple utilisation d'une plate-forme cloud. Pour quantité de personnes, le cloud représente une nouvelle façon de travailler, dont la maîtrise prend du temps. Puisque chaque plate-forme est différente, plus vous utilisez de plates-formes cloud, plus la charge intellectuelle nécessaire pour bien utiliser chacune augmente.

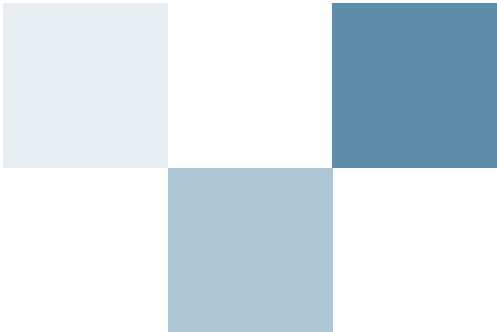
L'utilisation d'un cloud public entraîne une hausse de la flexibilité de l'infrastructure par rapport à un environnement sans cloud.



















Les infrastructures flexibles permettent d'améliorer les performances pour les résultats clés

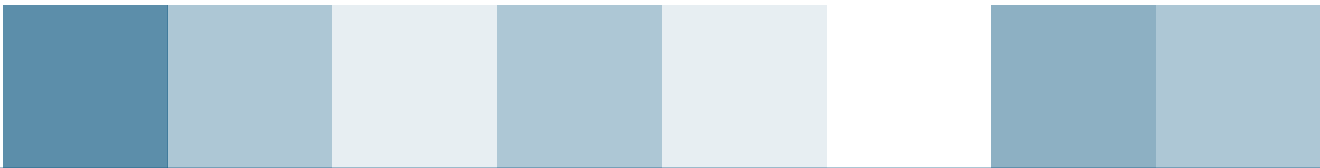
Capacité	Performances organisationnelles	Performances des équipes	Performances de livraison de logiciels	Performances opérationnelles
Infrastructure flexible	 Hausses importantes associées à une infrastructure plus flexible	 Hausses importantes associées à une infrastructure plus flexible	 Hausses importantes associées à une infrastructure plus flexible	 Hausses associées à une infrastructure plus flexible

Il est important de reconnaître qu'une infrastructure flexible est un moteur de réussite en termes de performances organisationnelles, opérationnelles, des équipes et de livraison de logiciels. De nombreuses organisations optent pour la migration Lift and Shift de leur infrastructure vers le cloud, ce qui est une première étape essentielle, mais n'est que le début du parcours. Si vous décidez d'effectuer la migration Lift and Shift d'une partie de vos charges de travail, l'étape suivante est leur modernisation par refactorisation pour faire usage de l'infrastructure flexible.





Le cloud computing a un impact positif sur les résultats clés du fait de la flexibilité de l'infrastructure

Type de cloud avec infrastructure flexible	Performances organisationnelles	Performances des équipes	Performances de livraison de logiciels	Performances opérationnelles
Privé	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible
Public	 Médiation complète de l'infrastructure flexible	 Médiation complète de l'infrastructure flexible	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible
Hybride	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible	 Médiation complète de l'infrastructure flexible	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible	 Médiation complète de l'infrastructure flexible
Multicloud	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible	 Médiation partielle de l'infrastructure flexible









Les plates-formes de cloud computing, lorsqu'elles sont utilisées de façon à optimiser les caractéristiques d'une infrastructure flexible, ont un impact positif sur les performances opérationnelles et de livraison de logiciels. Cette différence d'impact reflète ce que la plupart des professionnels et responsables savent déjà : la simple migration des charges de travail depuis un centre de données vers le cloud n'est pas une formule gagnante. La clé est de tirer parti de l'infrastructure flexible optimisée par le cloud.

Type d'infrastructure	Résultats
Cloud allié à une infrastructure flexible	
Cloud sans flexibilité	

Pour en retirer un maximum d'avantages, vous devez repenser la façon dont vous créez, testez, déployez et surveillez vos applications. Une grande partie de cette réflexion tourne autour de l'exploitation des cinq caractéristiques du cloud computing : libre-service à la demande, accès réseau étendu, pooling des ressources, élasticité rapide et service mesuré.



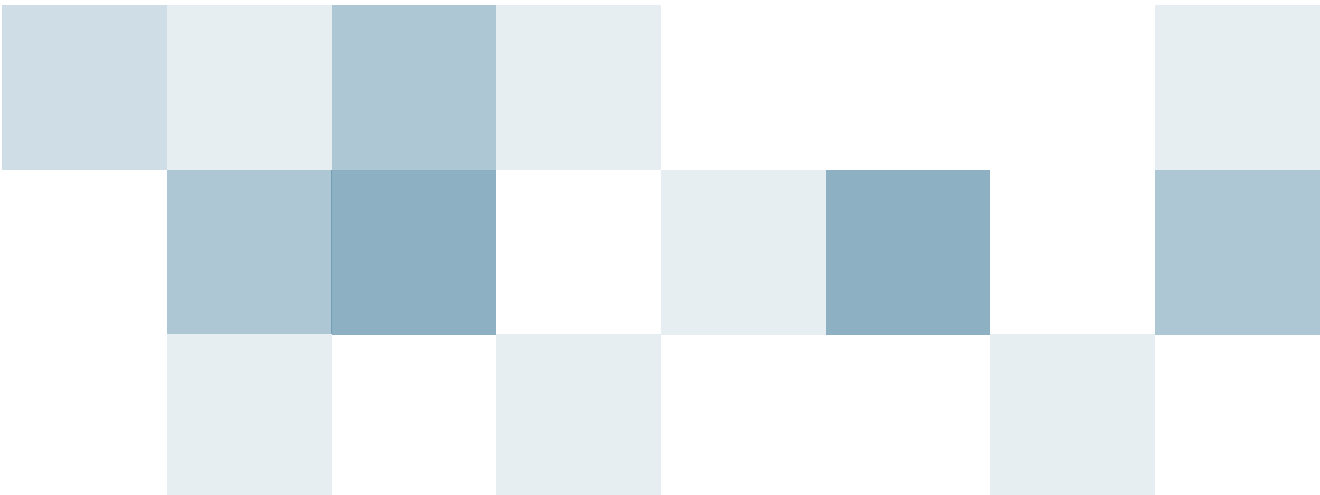
Le cloud computing améliore le bien-être

Type de cloud	Surmenage*	Satisfaction au travail	Productivité
Privé	 Aucun signe d'impact	 Hausses importantes associées à l'utilisation du cloud computing	 Hausses importantes associées à l'utilisation du cloud computing
Public	 Baisses très importantes associées à l'utilisation du cloud computing		
Hybride	 Aucun signe d'impact		
Multicloud	 Aucun signe d'impact		

* Vous avez peut-être remarqué que les flèches sont inversées concernant le surmenage. C'est normal, car réduire le surmenage est une bonne chose !

Les données indiquent que le cloud computing est largement favorable au bien-être des employés. Nous constatons une amélioration importante de la satisfaction au travail et de la productivité, ainsi qu'un impact nul ou positif sur le surmenage. En d'autres termes, le cloud n'a aucun effet néfaste sur le bien-être, même si le cloud computing provoque une hausse de la charge intellectuelle, et demande de maîtriser de nouveaux outils et méthodes de travail.

En tant que professionnels du domaine, nous pensons que plusieurs raisons peuvent l'expliquer. Les ingénieurs aiment apprendre et résoudre des problèmes, et apprécient de travailler dans un environnement aux capacités de calcul flexibles. Se former sur de nouvelles technologies est non seulement amusant, mais aussi utile dans une évolution de carrière. Un ingénieur est plus heureux lorsque son organisation connaît le succès.



Tout effort est vain sans investir dans la culture d'entreprise

Points à retenir

La culture joue un rôle essentiel dans le bien-être des employés et par rapport aux performances organisationnelles. Une culture saine peut contribuer à réduire le surmenage, à augmenter la productivité et à améliorer la satisfaction au travail. Elle entraîne également une hausse significative des performances organisationnelles, opérationnelles, de livraison de logiciels et des équipes. Une culture organisationnelle saine peut aider les équipes à adopter avec succès les capacités techniques requises pour améliorer les résultats.



Introduction

Le concept de culture est difficile à définir. Nous nous concentrons sur les indicateurs qui reflètent l'expérience au travail. Nous nous appuyons sur la typologie de la culture organisationnelle de Westrum¹, car sa relation avec les performances est toujours solide. Cette année, nous avons constaté que les organisations avec une culture générative, telle que définie par Westrum, restent performantes.

Le tableau suivant contient les aspects qui, selon nous, contribuent à la culture d'une équipe et d'une organisation.

Aspect	Définition
Culture organisationnelle de Westrum	Façon dont une organisation a tendance à réagir aux problèmes et aux opportunités. Il existe trois types de culture : générative, bureaucratique et pathologique.
Stabilité de l'organisation	À quel point l'environnement est stable ou non pour les employés.
Sécurité de l'emploi	À quelle fréquence les employés s'inquiètent de la sécurité de leur emploi.
Flexibilité	Comment, où et quand un employé travaille.
Partage des connaissances	Façon dont les idées et les informations sont diffusées dans une organisation. Les membres de l'équipe répondent aux questions une fois, et les informations sont à la disposition des autres. Les réponses sont accessibles immédiatement.
Approche axée sur l'utilisateur	Développement logiciel axé sur l'utilisateur final, et compréhension claire des besoins et objectifs des utilisateurs. Des signaux utilisateur sont employés pour améliorer les produits et services.
Répartition du travail	Processus formels qui aident une équipe à répartir équitablement les tâches fastidieuses entre ses membres.

La frontière entre aspects culturels, processus techniques et capacités techniques n'est pas toujours claire. Nous pensons que la culture émane des pratiques et que les pratiques émanent de la culture. Nous y reviendrons par la suite au moment de présenter nos conclusions.

¹<http://bmj.co/1BRGh5q>

Qu'avons-nous découvert et que pouvons-nous en déduire ?

Une culture saine améliore les résultats clés

De manière générale, une culture saine a un impact positif sur tous les résultats clés. Les conclusions des années précédentes restent valables : une culture générative est favorable aux performances organisationnelles, opérationnelles et de livraison de logiciels. Elle améliore également la nouvelle métrique de performances de cette année : les performances des équipes.

Nous avons constaté qu'une approche du développement de logiciels axée sur l'utilisateur entraîne une hausse significative des performances. Cela mérite d'être souligné. Les organisations peuvent en fait en retirer des avantages en cascade. Les commentaires des utilisateurs aident les équipes à hiérarchiser les projets, et à créer des produits et services qui répondent à leurs besoins. Résultat : une expérience améliorée et une plus grande satisfaction pour les utilisateurs, ainsi qu'une augmentation des revenus.

Nous avons également évalué la santé de la culture de l'organisation en mesurant la répartition du travail dans les équipes. Nous avons observé qu'une répartition équitable des tâches profite aux performances organisationnelles et des équipes, mais nuit aux performances de livraison de logiciels. Les processus formels de répartition du travail ralentissent peut-être la réalisation des tâches pénibles du pipeline de livraison de logiciels. Il se peut également que ces processus formels déterminent quel membre de l'équipe doit mener à bien une tâche donnée.

Autre constat apparemment incongru : la stabilité de l'organisation est synonyme de baisse légère, mais significative, des performances de livraison de



logiciels. L'une des explications potentielles réside dans le fait que les organisations bien établies (et souvent de grande taille) ne s'imposent pas la même pression que les organisations plus récentes (et plus petites) pour avancer rapidement. Les organisations implantées de longue date proposent peut-être déjà un produit bien installé sur le marché qui leur offre une certaine flexibilité par rapport au rythme de livraison de logiciels.

Lorsque les informations circulent facilement, le travail avance. Nous avons observé qu'un haut niveau de partage des informations est associé à de meilleures performances opérationnelles et de livraison de logiciels. Lorsque les informations sont facilement accessibles et que les connaissances sont peu cloisonnées, les employés peuvent consacrer leur temps aux tâches qui comptent plutôt qu'à rechercher les informations dont ils ont besoin pour effectuer ces tâches.

Enfin, les conditions de travail flexibles, qui laissent les employés déterminer quand, où et comment ils travaillent, ont un effet positif sur toutes les métriques de performances, et tout particulièrement sur les performances de livraison de logiciels. Même si les organisations resserrent leurs règles sur le télétravail, laisser un certain degré de flexibilité aux employés reste avantageux.

Aspect de la culture	Impact sur les performances des équipes	Impact sur les performances organisationnelles	Impact sur les performances de livraison de logiciels	Impact sur les performances opérationnelles
Culture organisationnelle de Westrum	↑↑ Hausse importante	↑↑ Hausse importante	↑↑ Hausse importante	↑↑ Hausse importante
Stabilité de l'organisation	↑ Faible hausse	↑↑ Hausse importante	↓ Faible baisse	⊖ Aucun impact
Sécurité de l'emploi	↑ Faible hausse	⊖ Aucun impact	↑ Faible hausse	↑ Faible hausse
Flexibilité	↑ Faible hausse	↑ Faible hausse	↑↑ Hausse importante	↑ Faible hausse
Partage des connaissances	↑ Faible hausse	↓ Faible baisse	↑↑ Hausse importante	↑↑ Hausse importante
Approche axée sur l'utilisateur	↑↑ Hausse importante	↑↑ Hausse importante	↑ Faible hausse	↑↑ Hausse importante
Répartition du travail	↑↑ Hausse importante	↑↑ Hausse importante	↕ Baisse importante	⊖ Aucun impact



Une culture saine améliore les capacités techniques


































Nos découvertes suggèrent qu'une culture d'entreprise efficace améliore l'implémentation des capacités techniques. Nous pensons que la relation entre culture et capacités techniques est réciproque : la culture émane des pratiques et les pratiques émanent de la culture.

La culture est une notion vaste et difficile à définir, tandis que les capacités techniques sont généralement bien définies et délimitées. Cette notion a des implications sur la façon dont les membres d'une organisation peuvent susciter le changement.

Par exemple, les responsables peuvent créer des structures incitatives qui vont promouvoir une culture générative. Les responsables et les autres collaborateurs peuvent mettre en valeur une approche du développement de logiciels qui est

centrée sur l'utilisateur. Les collaborateurs peuvent contribuer à l'implémentation de capacités techniques qui améliorent les performances (développement à branche unique, intégration continue, pratiques de fiabilité et architecture faiblement couplée). La mise en place de ces capacités techniques n'est pas chose facile, et pour réussir, il est indispensable de travailler ensemble, de garder l'esprit ouvert, de s'appuyer sur les autres et d'apprendre les uns des autres. Voilà toutes les composantes d'une culture saine. Ces équipes peuvent devenir des exemples dans une organisation, et donner aux autres l'impulsion nécessaire pour initier le changement à l'aide des leviers à leur portée.

Les modifications durables et importantes de la culture d'une organisation sont le fruit des efforts communs de la base et du sommet de la hiérarchie pour incarner cette nouvelle culture.

Aspect de la culture	Impact sur le développement à branche unique	Impact sur les pratiques de fiabilité	Impact sur l'intégration continue	Impact sur la livraison continue	Impact sur l'architecture faiblement couplée
Culture organisationnelle de Westrum	 Hausse importante	 Hausse importante	 Hausse importante	 Hausse importante	 Hausse importante
Stabilité de l'organisation	 Faible hausse	 Hausse importante	 Aucun impact	 Aucun impact	 Aucun impact
Sécurité de l'emploi	 Faible baisse	 Faible baisse	 Aucun impact	 Aucun impact	 Aucun impact
Flexibilité	 Aucun impact	 Faible baisse	 Hausse importante	 Faible hausse	 Hausse importante
Partage des connaissances	 Aucun impact	 Aucun impact	 Aucun impact	 Faible hausse	 Faible hausse
Approche axée sur l'utilisateur	 Hausse importante	 Hausse importante	 Hausse importante	 Hausse importante	 Hausse importante
Répartition du travail	 Hausse importante	 Hausse importante	 Hausse importante	 Hausse importante	 Hausse importante

Une culture saine améliore le bien-être des employés

Une culture saine est synonyme de hauts niveaux de bien-être chez les employés, car elle permet de réduire le surmenage, d'améliorer la satisfaction au travail et d'augmenter la productivité. Le bien-être des employés n'est pas qu'un petit plus : il est crucial pour l'état général et la réussite d'une organisation.

Que se passe-t-il lorsqu'une organisation *n'investit pas* dans l'amélioration de sa culture ? La probabilité de surmenage augmente et la satisfaction au travail

diminue. Les employés deviennent cyniques et leur productivité décline. Leur santé physique et psychologique en pâtit également^{2,3}. Le surmenage est un problème durable. Il ne suffit pas d'arrêter de travailler quelque temps pour s'en défaire. De plus, ce problème accroît le turnover, car les employés quittent l'entreprise à la recherche d'un environnement de travail plus sain⁴. Par conséquent, réduire le surmenage exige des changements organisationnels afin d'en éliminer les causes.

Aspect de la culture	Impact sur le surmenage*	Impact sur la satisfaction au travail	Impact sur la productivité
Culture organisationnelle de Westrum	 Baisse importante	 Hausse importante	 Hausse importante
Stabilité de l'organisation	 Baisse importante	 Hausse importante	 Faible hausse
Sécurité de l'emploi	 Baisse importante	 Faible hausse	 Faible hausse
Flexibilité	 Faible baisse	 Faible hausse	 Faible hausse
Partage des connaissances	 Baisse importante	 Faible hausse	 Faible hausse
Approche axée sur l'utilisateur	 Faible baisse	 Hausse importante	 Hausse importante
Répartition du travail	 Aucun impact	 Faible hausse	 Faible hausse

* Vous avez peut-être remarqué que les flèches sont inversées concernant le surmenage. C'est normal, car réduire le surmenage est une bonne chose !

² Adam Bayes, Gabriela Tavella et Gordon Parker (2021), The biology of burnout: Causes and consequences, The World Journal of Biological Psychiatry, 22:9, 686–698. DOI: 10.1080/15622975.2021.1907713. <https://doi.org/10.1080/15622975.2021.1907713>

³ Maslach, C., Leiter, M.P. Understanding the burnout experience: recent research and its implications for psychiatry. World Psychiatry, juin 2016, 15(2), 103–11. DOI: 10.1002/wps.20311. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4911781/>. PMID: 27265691; PMCID: PMC4911781.

⁴ L.A. Kelly, et al. Impact of nurse burnout on organizational and position turnover. Nursing Outlook, janvier 2021, 96–102, janvier-février 2021, 96–102. DOI: doi.org/10.1016/j.outlook.2020.06.008

Votre identité compte, et voici pourquoi

Points à retenir

Qui êtes-vous ? La question est importante. En effet, nous avons constaté que les résultats varient entre les différents groupes de personnes interrogées, par exemple en termes de surmenage ou de productivité. Nous avons également identifié des pratiques spécifiques que vous pouvez mettre en place pour atténuer une partie des résultats négatifs.

Introduction

Un phénomène global se dégageait de l'analyse de 2022 : les conditions de travail peuvent être synonymes de bien-être pour certaines personnes, mais pas pour d'autres.

D'après notre rapport de 2022, les personnes qui s'identifiaient comme sous-représentées signalaient de plus forts degrés de surmenage¹. Dans ce chapitre, nous allons voir que ce constat se répète, et nous allons commencer à nous demander pourquoi ces personnes sont plus à risque d'être victimes de surmenage et à déterminer les facteurs qui permettraient d'éviter cette situation.

Par ailleurs, l'instabilité qui s'est abattue sur de nombreux secteurs a provoqué des questionnements sur les nouvelles recrues. Les organisations s'inquiètent de la longue période nécessaire aux nouveaux employés pour devenir productifs. Elles cherchent des moyens de les aider à s'adapter plus rapidement. Nous examinerons également cet aspect ici.

Qu'avons-nous découvert et que pouvons-nous en déduire ?

Certaines personnes sont davantage victimes de surmenage

D'après nos observations de l'année dernière, les personnes interrogées qui s'identifiaient comme des femmes ou qui avaient choisi de décrire elles-mêmes leur genre, ainsi que celles qui s'identifiaient comme sous-représentées d'une manière ou d'une autre, se sentaient plus surmenées que les personnes interrogées s'identifiant comme des hommes et ne s'estimant pas sous-représentées. Ces conclusions sont cohérentes avec celles d'un corpus d'études précédentes suggérant que les personnes sous-représentées subissent de plus forts niveaux de surmenage² et de stress lié au travail³ que leurs homologues des groupes non sous-représentés.

Pour toutes ces raisons, nous voulions vérifier si ces disparités en termes de surmenage se refléteraient à nouveau dans nos données cette année, et c'est bien le cas. Le niveau de surmenage exprimé par les personnes interrogées qui s'identifient comme des femmes ou qui ont choisi de décrire elles-mêmes leur genre est 6 % plus élevé que celui des personnes interrogées qui s'identifient comme des hommes. Le niveau de surmenage exprimé par les personnes interrogées qui s'identifient comme sous-représentées est 24 % plus élevé que celui des autres personnes interrogées.

¹ 2022 Accelerate State of DevOps Report. <https://dora.dev/research/2022/dora-report/>

² Sigalit Ronen et Ayala Malach Pines, Gender differences in engineers' burnout. Equal Opportunities International, 7 novembre 2008, <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02610150810916749/full/html>

³ Dalessandro C., Lovell A., Tanner O.C., Race, Marginalization, and Perceptions of Stress Among Workers Worldwide Post-2020. Sociological Inquiry, 3 août 2023, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/soin.12505>

Certains types de tâches sont davantage synonymes de surmenage

Nous avons constaté que certains aspects de l'environnement de travail qui pourraient sembler neutres ou positifs, comme une documentation de qualité ou une équipe stable, ne réduisent pas le surmenage pour tout le monde (consultez le [chapitre 4 - La documentation est primordiale](#)). Nous nous demandons si cela pourrait être dû aux tâches qui profitent à l'organisation, mais contribuent au surmenage de certaines personnes⁴.

Pour comprendre l'expérience du surmenage vécue par les personnes interrogées, nous les avons interrogées sur les tâches qu'elles accomplissent, en nous appuyant sur deux mesures :

- Des tâches spécifiques, comme le codage, la participation à des réunions ou l'assistance apportée aux membres de l'équipe
- Les caractéristiques du travail réalisé, comme les tâches non planifiées, la visibilité ou la quantité de tâches répétitives

Les caractéristiques du travail sont importantes, car une même tâche peut être vécue différemment selon la personne ou le moment. Par exemple, certaines revues de code peuvent être répétitives et non planifiées, mais d'autres peuvent être très visibles dans l'équipe, et ainsi mettre en lumière des qualités de leader et une expertise technique⁵.

Les personnes interrogées qui s'identifient comme sous-représentées ont indiqué qu'elles réalisent 24 % de tâches répétitives de plus que celles des autres groupes. Les personnes interrogées qui s'identifient comme des femmes ou qui ont choisi de décrire elles-mêmes leur genre ont indiqué qu'elles réalisent 40 % de tâches répétitives de plus que celles qui s'identifient comme des hommes. Ces deux groupes déclarent également qu'ils accomplissent davantage de tâches non planifiées, et de tâches qui ne sont ni visibles par leurs pairs, ni en adéquation directe avec leurs compétences professionnelles. Ces découvertes expliquent en partie le surmenage que ces groupes mentionnent.

⁴ Linda Babcock, Brenda Peyser, Lise Vesterlund et Laurie Weingart. *The No Club* (New York: Simon and Schuster, 2022), 17.

⁵ Murphy-Hill, E. et al. Systemic Gender Inequities in Who Reviews Code, Computer Supported Cooperative Work (2023) (à paraître), <https://research.google/pubs/pub52204>

⁶ Babcock et al., *The No Club*, 17.

Tâches ingrates

Dans leur livre *The No Club*, Babcock et al. décrivent un type de tâches spécifique : "Une tâche ingrate est importante pour votre organisation, mais ne vous aidera pas à avancer dans votre carrière"⁶.

Ici, le terme *avancer* est utilisé dans un sens général, par exemple, par rapport à une hausse de salaire ou à un gain d'attractivité pour d'autres postes.

Les données recueillies montrent que ce type de tâches incombe davantage aux femmes. Babcock et al. indiquent les raisons de cette répartition inéquitable du travail. Par exemple, ce type de tâche est plus susceptible d'être proposé aux femmes, qui auront davantage tendance à l'accepter en raison du préjudice social qu'induit un refus.

Babcock et al. expliquent également les conséquences de la répartition inéquitable de ces tâches. Par exemple, certaines femmes :

- s'en trouvent pénalisées par rapport à leur carrière ou à leurs revenus ;
- rallongent leurs heures pour que le volume de travail corresponde à leur fonction.

Les processus formels de répartition du travail réduisent le surmenage pour certaines des personnes interrogées

Nous avons demandé aux personnes interrogées si leur organisation a mis en place des processus formels pour répartir équitablement le travail. Nous appelons ce facteur la **répartition du travail**, et nous nous attendions à ce qu'il atténue le surmenage vécu par certaines personnes interrogées.

Nous avons bien observé que la répartition du travail réduit le surmenage pour les personnes interrogées qui s'identifient comme des hommes ou des femmes, ou qui ont choisi de décrire elles-mêmes leur genre. Avec une répartition très poussée, la différence de surmenage entre genres disparaît.

Nous avons toutefois été surpris de constater l'absence d'impact de la répartition du travail sur le degré de surmenage vécu par les personnes interrogées qui s'identifient comme sous-représentées. Ce résultat pose de nouvelles questions. Les processus formels censés répartir équitablement le travail mènent-ils tout de même à une répartition inéquitable ? La notion de répartition "équitable" tient-elle compte des caractéristiques des tâches, comme les interruptions ou la visibilité ? Et comment atténuer les autres facteurs qui contribuent au surmenage, en dehors des tâches à accomplir, qui ont peut-être plus de sens pour ce groupe ?



Promouvoir une culture de l'appartenance

Auteur : Dr Jeffrey Winer,

psychologue traitant au Boston Children's Hospital, professeur assistant à la Harvard Medical School

Une découverte clé, et un peu de contexte

L'une des découvertes clés de ce rapport est que les personnes qui se définissent comme sous-représentées affichent de plus hauts niveaux de surmenage que leurs collègues. Nous avons examiné les raisons possibles de ce phénomène. Dans cette section, nous voulons relier ces conclusions à une étude plus vaste sur le sentiment d'appartenance et les stratégies et pratiques organisationnelles associées.

Le fait de s'identifier comme sous-représenté dans un groupe démontre une vulnérabilité à "l'incertitude d'appartenance"⁷, un phénomène psychologique bien établi (consultez l'article "[Understanding and Overcoming Belonging Uncertainty](https://behavioralscientist.org/understanding-and-overcoming-belonging-uncertainty/)" du Dr Geoffrey Cohen⁸). Cette incertitude (par exemple, "Suis-je à ma place ?", "Est-ce que quelqu'un comme moi peut réussir ici ?") est renforcée ou redéfinie par les expériences vécues au fil du temps et l'interprétation de ces expériences. Ces processus bien connus en lien avec l'incertitude d'appartenance aident à contextualiser les observations de ce rapport concernant les plus hauts niveaux de surmenage des personnes qui s'identifient comme sous-représentées.

Que peuvent faire les organisations ?

Il est important de garder à l'esprit que la diversité, l'inclusion, l'équité et le sentiment d'appartenance sont des notions bien distinctes qui demandent des stratégies de longue durée interconnectées, mais différentes. Asseoir le sentiment d'appartenance des collaborateurs exige de véritables engagements inscrits dans la durée.

Si une personne rencontre des difficultés dans une organisation, la première question à se poser ne doit pas être : "Quel est son problème ?" Il faut se demander d'abord : "Qu'est-ce qui peut pousser quelqu'un à se sentir aussi mal, et quels sont les éléments structurels de notre organisation qui peuvent mener à ce sentiment (par exemple, en l'entretenant ou en l'amplifiant) ?"

Une fois les problèmes identifiés, des changements doivent être apportés au niveau de l'organisation tout en assurant simultanément un soutien à l'échelle individuelle. Encourager les personnes à bousculer les systèmes qui régissent une organisation permet d'intégrer les changements dans les systèmes et de les faire perdurer même si les acteurs changent. Avec cet état d'esprit orienté sur les systèmes et la durabilité, les modifications pourront s'ancrer dans l'institution, au-delà des personnes qui les portent. Une telle mentalité générative peut permettre aux organisations de lutter pour accroître le sentiment d'appartenance. *Lutter* est le terme clé ici. Le sentiment d'appartenance est le fruit d'expériences et d'actions au long cours. Il n'est jamais acquis, et c'est la raison pour laquelle il est si important pour la santé générale et la productivité sur le lieu de travail.

Divers outils existent pour accompagner les organisations sur cette voie. Par exemple, le rapport 2023 de l'administrateur de la santé publique des États-Unis sur le thème de la solitude indique que les liens sociaux et le sentiment d'appartenance sont des remèdes essentiels à la solitude et au surmenage⁹.

⁷ Walton, G.M., Cohen, G.L., A Brief Social-Belonging Intervention Improves Academic and Health Outcomes of Minority Students. Science (New York, N.Y.), consulté le 20 septembre 2023, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21415354/>

⁸ <https://behavioralscientist.org/understanding-and-overcoming-belonging-uncertainty/>

⁹ Office of the Assistant Secretary for Health (OASH), New Surgeon General Advisory Raises Alarm about the Devastating Impact of the Epidemic of Loneliness and Isolation in the United States. HHS.gov, 3 mai 2023, <https://www.hhs.gov/about/news/2023/05/03/new-surgeon-general-advisory-raises-alarm-about-devastating-impact-epidemic-loneliness-isolation-united-states.html>

Les nouvelles recrues ont du mal avec la productivité

Les nouvelles recrues (moins d'un an d'expérience dans l'équipe) affichent une productivité 8 % inférieure à celle de leurs collègues expérimentés (plus d'un an d'expérience). Ce chiffre n'est peut-être pas surprenant. Arriver dans une nouvelle équipe s'accompagne toujours de défis à relever, et même si vous avez de l'expérience dans le poste, la quantité de connaissances propres à l'équipe requises pour mettre le pied à l'étrier peut être intimidante. De plus, faire partie d'une équipe n'est pas qu'une question de compétences et de savoirs. La productivité est également liée à une composante sociale essentielle. Conquérir un sentiment d'appartenance, d'utilité ou de sécurité psychologique prend du temps.

Est-il possible d'aider les nouvelles recrues à monter en puissance ?

Selon nos hypothèses, les organisations peuvent venir en aide aux nouvelles recrues de trois façons :

- En proposant une documentation de haute qualité
- En intégrant l'intelligence artificielle aux workflows, ce qui, d'après d'autres études, est plus utile aux collaborateurs sans expérience qu'aux employés expérimentés
- En travaillant ensemble en présence physique, ce qui pourrait s'avérer particulièrement bénéfique lors de la phase d'intégration



Les résultats obtenus cette année suggèrent qu'une documentation de haute qualité influe de manière significative sur la productivité (consultez le [chapitre 4 - La documentation est primordiale](#)) et que l'IA induit une hausse mineure de la productivité individuelle (consultez le [chapitre 3 - Les capacités techniques influencent les performances](#)). Nous n'avons aucune raison de penser que ces tendances ne s'étendent pas aux nouvelles recrues. En examinant les données, voici ce que nous constatons : ces pratiques aident bien les nouvelles recrues, mais pas davantage qu'elles n'aident les autres. En d'autres termes, elles n'apportent pas d'avantages spécifiques aux nouvelles recrues.

Si vous cherchez à épauler vos nouvelles recrues, mais aussi tous les autres collaborateurs, commencez par produire une documentation de haute qualité, car cela génère des effets clairs et de grande ampleur sur la productivité. Soulignons que, dans les équipes travaillant avec une documentation bien rédigée (moyenne + 1 écart type), les nouvelles recrues sont 130 % plus productives que celles des équipes travaillant avec une documentation mal rédigée (moyenne - 1 écart type).

Nous ne nous étendrons pas sur le thème du retour au bureau pour éviter de mettre de l'huile sur le feu. Nous abordons l'importance de la flexibilité dans le [chapitre 7 - Tout effort est vain sans investir dans la culture d'entreprise](#). De plus, nos données ne sont pas expérimentales, et même si nous nous efforçons de contrôler les facteurs qui pourraient biaiser nos résultats, la question des avantages liés aux conditions de travail est complexe et sociologiquement riche. De ce fait, il est difficile de tirer des conclusions nettes. Gardez cela à l'esprit lorsque vous lisez des études ou des articles sur le sujet. D'après nos données, une conclusion est nette : la flexibilité a un impact positif sur la productivité. Ce qui est beaucoup moins clair, c'est l'impact du lieu de travail.

Il en va de même pour les nouvelles recrues. Rien ne prouve que le fait de travailler ensemble en présence physique soit particulièrement bénéfique pour elles. Si votre objectif d'optimisation est la productivité, offrir de la flexibilité aux nouvelles recrues sur leurs conditions de travail (comment, où, quand) semble être un pari plus payant que de les obliger à se rendre au bureau. Il est évident que la productivité n'est pas, et ne devrait probablement pas être, le seul objectif d'optimisation des organisations. Notre idée de la productivité englobe aussi les tâches qui créent de la valeur, et pas seulement des résultats (des lignes de code par exemple), et qui ne mènent pas au surmenage ou à la monotonie.



Conclusions

Merci d'avoir participé à l'étude cette année et d'avoir lu ce rapport. Nous cherchons continuellement de meilleurs moyens d'explorer les relations entre la façon de travailler des équipes et les résultats qu'elles peuvent obtenir.

L'information la plus importante à retenir de ces années de recherche est que les équipes qui adoptent un état d'esprit d'amélioration continue et le mettent en pratique sont capables d'atteindre des résultats élevés.

Les capacités que nous avons examinées peuvent être utilisées comme des instruments pour aboutir à ces résultats. Certains de ces instruments sont à la portée de chacun individuellement, mais d'autres exigent les efforts coordonnés de l'ensemble de l'organisation. Identifiez ceux que votre organisation doit ajuster, puis investissez dans ces ajustements.

Le travail d'amélioration n'est jamais terminé, mais il peut aboutir à la réussite des personnes, des équipes et des organisations à long terme. Les responsables et les professionnels ont la responsabilité commune d'accomplir ce travail.

Comment mettre en pratique les conclusions de cette étude ?

Examinez les découvertes présentées ici en tenant compte du contexte de votre organisation, de vos équipes et des services que vous proposez à vos clients.

Partagez votre expérience, apprenez des autres et trouvez de l'inspiration auprès de vos pairs sur la route de l'amélioration continue en rejoignant la communauté DORA : <https://dora.community>.

Remerciements

Chaque année, ce rapport bénéficie du soutien d'une grande famille de contributeurs passionnés du monde entier. Toutes les étapes de son élaboration (conception des questions de l'enquête, localisation, analyse, rédaction, édition et composition) reçoivent l'appui de collègues qui participent à l'effort général. Les auteurs aimeraient remercier toutes ces personnes pour leurs commentaires, leurs conseils et leur esprit d'équipe.

Contributeurs

Équipe principale

James Brookbank
Kim Castillo
Derek DeBellis
Nathen Harvey
Michelle Irvine
Amanda Lewis
Eric Maxwell
Steve McGhee
Dave Stanke
Kevin Storer
Daniella Villalba
Brenna Washington

Rédacteurs

Mandy Grover
Jay Hauser
Stan McKenzie
Anna Eames Mikkawi
Mike Pope
Tabitha Smith
Olinda Turner

Localisation de l'enquête

Daniel Amadei
Kuma Arakawa
William Bartlett
Antonio Guzmán
Shogo Hamada

Yuki Iwanari
Vincent Jobard
Gustavo Lapa
Mauricio Meléndez
Jéréemie Patonnier
Miguel Reyes
Pedro Sousa
Laurent Tardif
Kimmy Wu
Vinicius Xavier
Yoshi Yamaguchi

Conseillers et experts

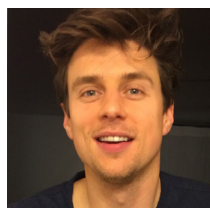
Jared Bhatti
Lisa Crispin
Rob Edwards

Dave Farley
Steve Fenton
Dr Nicole Forsgren
Aaron Gillies
Denali Lumma
Emerson Murphy-Hill
Harini Sampath
Robin Savinar
Dustin Smith
Jess Tsimeris
Dr Laurie Weingart
Betsalel
(Saul) Williamson
Dr Jeffrey Winer

Sponsors



Auteurs



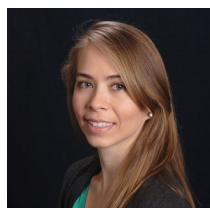
Derek DeBellis

Derek est chercheur en expérience utilisateur quantitative chez Google et enquêteur principal pour DORA. Il se consacre aux recherches basées sur des enquêtes, à l'analyse des journaux et à la recherche de solutions pour mesurer les concepts qui démontrent qu'un produit ou une fonctionnalité offre une véritable valeur ajoutée à ses utilisateurs. Derek a récemment publié des articles sur les interactions humain/IA, sur l'impact de la COVID-19 sur l'arrêt du tabac, sur la conception dédiée aux problèmes de TLN, sur le rôle de l'expérience utilisateur dans les débats sur la confidentialité, sur la culture d'équipe, et sur le lien de l'IA avec le bien-être et la productivité des employés. Ses recherches périphériques actuelles portent sur les moyens de simuler la propagation des croyances et du pouvoir.



Amanda Lewis

Amanda Lewis est responsable du développement de la communauté DORA, mais aussi ingénieure DevRel dans l'équipe DORA Advocacy de Google Cloud. Elle a consacré sa carrière à établir des relations entre les développeurs, les opérateurs, les responsables produit, les chefs de projet et les responsables. Amanda a travaillé avec des équipes qui ont développé des plates-formes d'e-commerce, des systèmes de gestion de contenu et des outils d'observabilité. Elle a également apporté son soutien à des développeurs. Ce travail de dialogue et d'établissement de relations a abouti à la satisfaction des clients et à de meilleurs résultats pour l'entreprise. Amanda use de toute son expérience et empathie dans son travail afin d'aider les équipes à comprendre et mettre en place de nouvelles pratiques de livraison de logiciels et de fiabilité.



Daniella Villalba

Daniella Villalba est chercheuse en expérience utilisateur chez Google. Elle s'appuie sur des recherches basées sur des enquêtes pour cerner les facteurs qui assurent la satisfaction et la productivité des développeurs. Avant de travailler pour Google, Daniella a étudié les avantages de la formation à la méditation et les facteurs psychosociaux qui affectent l'expérience des étudiants. Elle est docteure en psychologie expérimentale à l'université internationale de Floride.



Dave Farley

Dave Farley est directeur général et fondateur de Continuous Delivery Ltd, auteur de *Modern Software Engineering* et co-auteur de l'ouvrage à succès *Continuous Delivery*. Il est également co-auteur de *Reactive Manifesto* et lauréat du Duke Award pour le projet Open Source "LMAX Disruptor". Pionnier de la livraison continue (CD) et leader d'opinion, Dave est un expert de la CD, du DevOps, du développement piloté par les tests (TDD) et de la conception de logiciels. Il possède une longue expérience dans la création d'équipes hautement performantes, l'accompagnement d'organisations sur la voie de la réussite et le développement de logiciels exceptionnels. Dave se consacre à partager son expérience et ses techniques avec des développeurs du monde entier, pour les aider à améliorer la conception, la qualité et la fiabilité de leurs logiciels. Il s'appuie pour cela sur sa société de conseil¹, sa chaîne YouTube² et ses cours de formation.



Eric Maxwell

Eric Maxwell est responsable de l'unité Google chargée de la transformation basée sur le DevOps, où il aide les plus grandes entreprises mondiales à s'améliorer en accélérant la création de valeur. Ancien ingénieur sur le terrain, Eric a consacré la première moitié de sa carrière à automatiser tout ce qu'il pouvait afin d'aider ses pairs. Il a co-créé le programme de modernisation des applications cloud (CAMP) de Google et est membre de l'équipe DORA. Avant d'intégrer Google, Eric a travaillé sur la conception de solutions géniales avec ses collègues pleins d'esprit de chez Chef Software.



James Brookbank

James Brookbank est architecte de solutions cloud chez Google. Les architectes de solutions aident les clients Google Cloud en résolvant des problèmes techniques complexes et en fournissant son expertise architecturale. Avant de rejoindre Google, James a travaillé dans de grandes entreprises, s'intéressant plus particulièrement à l'infrastructure IT et aux services financiers.



Dr Jeffrey Winer

Le docteur Jeffrey P. Winer est psychologue traitant, consultant en systèmes de santé comportementale et chargé du développement de traitements psychosociaux au Trauma and Community Resilience Center (TCRC) du Boston Children's Hospital. Il est également professeur assistant à la Harvard Medical School. Avec ses collègues du TCRC, il travaille principalement sur la conception, le test, la diffusion et la mise en place d'interventions psychosociales adaptées à la culture et basées sur les traumatismes subis pour les jeunes et les familles de réfugiés et d'immigrés. Il est co-auteur de l'ouvrage *Mental Health Practice with Immigrant and Refugee Youth: A Socioecological Framework*³. Il a joué un rôle de consultant dans divers programmes aux États-Unis et au Canada. Les outils de prévention et d'intervention psychosociales qu'il a contribué à développer ou à adapter sont utilisés dans le monde entier. Pour plus d'informations, consultez la page <http://www.drjeffwiner.com>.

¹ <https://continuous-delivery.co.uk/engineering-for-software>

² <https://www.youtube.com/@ContinuousDelivery>

³ <https://www.apa.org/pubs/books/4317536>



Kevin Storer

Kevin M. Storer est chercheur en expérience utilisateur chez Google, où il mène des recherches dans le but de comprendre comment les équipes de développement logiciel interagissent avec et via les outils DevOps. Avant de rejoindre Google, Kevin a obtenu son doctorat en technologies de l'information à l'Université de Californie à Irvine. Opérant dans les secteurs public et privé, Kevin est l'auteur de publications réputées sur les thèmes de la programmation centrée sur l'humain, de l'expérience de développement, du comportement informationnel, de l'accessibilité et de l'informatique ubiquitaire.



Kim Castillo

Kim Castillo est responsable de programme sur l'expérience utilisateur chez Google. Elle gère les initiatives pluridisciplinaires du programme DORA, de la supervision des opérations de recherche à la publication du présent rapport. Elle travaille également sur la recherche UX pour Duet AI dans Google Cloud. Avant de travailler pour Google, Kim a utilisé ses talents en livraison de logiciels, gestion de programmes techniques et coaching en agilité. Elle a forgé son expérience dans la recherche psychosociale, plus particulièrement sur des sujets comme les exécutions extrajudiciaires, le développement des populations urbaines pauvres, et les traumatismes et la résilience communautaires dans son pays d'origine, les Philippines. Grâce à DORA, Kim peut travailler sur tout ce qui la passionne : les pratiques de livraison de logiciels, la sécurité psychologique et les organisations Opale.



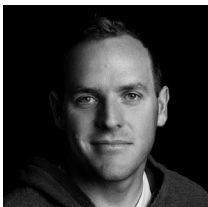
Michelle Irvine

Michelle Irvine est rédactrice technique chez Google, où elle mène des recherches sur l'impact et l'élaboration de la documentation technique. Avant de rejoindre Google, elle travaillait dans l'édition pédagogique et en tant que rédactrice technique pour des logiciels de simulation physique. Michelle possède une licence (BS) en sciences physiques, ainsi qu'une maîtrise (MA) en rhétorique et conception de la communication de l'université de Waterloo.



Nathen Harvey

Nathen Harvey, qui dirige l'équipe DORA Advocacy, est responsable des ingénieurs DevRel chez Google Cloud. Nathen a eu la chance de travailler avec certaines des meilleures équipes et communautés Open Source, les accompagnant dans l'application des principes et pratiques du DevOps et de l'ingénierie SRE. Il fait partie des co-auteurs des rapports *Accelerate sur l'état du DevOps* des trois dernières années. Nathen a également participé à la rédaction de l'ouvrage *97 Things Every Cloud Engineer Should Know*.



Steve McGhee

Steve McGhee est une figure de proue de la fiabilité. Il aide les équipes à comprendre comment créer et exploiter des services de pointe fiables. Auparavant, il a été plus de 10 ans ingénieur de la fiabilité des sites chez Google, où il a appris à faire évoluer des systèmes mondiaux pour la recherche Google, YouTube, Android et Google Cloud. Il a géré plusieurs équipes d'ingénieurs en Californie, au Japon et au Royaume-Uni. Steve a également passé du temps dans une entreprise basée en Californie pour l'aider dans sa migration vers le cloud.

Méthodologie

Ce chapitre explique comment nous sommes passés des idées initiales au présent rapport (qui présente des données légèrement plus complètes). Nous espérons qu'il répond à vos questions sur le processus de génération du rapport et qu'il vous donne des pistes pour vous aider à mener vos propres recherches.

Étape 1. Générer un ensemble de résultats que nous jugeons importants pour les organisations très performantes axées sur la technologie

Cette étape est cruciale. Notre programme vise à guider les professionnels dans l'accomplissement des objectifs qui comptent pour eux. Si nous ne savons pas ce que recherche une personne, une organisation ou une équipe, nous partons du mauvais pied. Comment procédons-nous ? Nous allions étude qualitative (en interrogeant les participants sur ce que leur équipe, leur organisation et eux-mêmes cherchent à réussir), enquêtes, interactions avec l'ensemble de la communauté et ateliers en grand nombre. Certains résultats reviennent systématiquement :

- **Performances organisationnelles** : l'organisation doit générer non seulement des revenus, mais aussi de la valeur pour ses clients comme pour la communauté au sens large.
- **Performance des équipes** : une équipe possède la capacité à travailler sur une application ou un service afin de créer de la valeur, d'innover et de collaborer.
- **Bien-être des employés** : une organisation ou une équipe doit adopter des stratégies bénéfiques aux employés, en limitant le surmenage, en proposant une expérience satisfaisante au travail et en augmentant la capacité des collaborateurs à générer de la valeur (c'est-à-dire leur productivité).

Nous entendons également parler d'objectifs tels que les suivants :

- **Performances de livraison de logiciels** : les équipes peuvent déployer des logiciels rapidement et sans problème.
- **Performances opérationnelles** : les logiciels livrés offrent une expérience fiable à l'utilisateur.



Étape 2 : Formuler des hypothèses sur "comment, quand, pourquoi" ces résultats sont obtenus

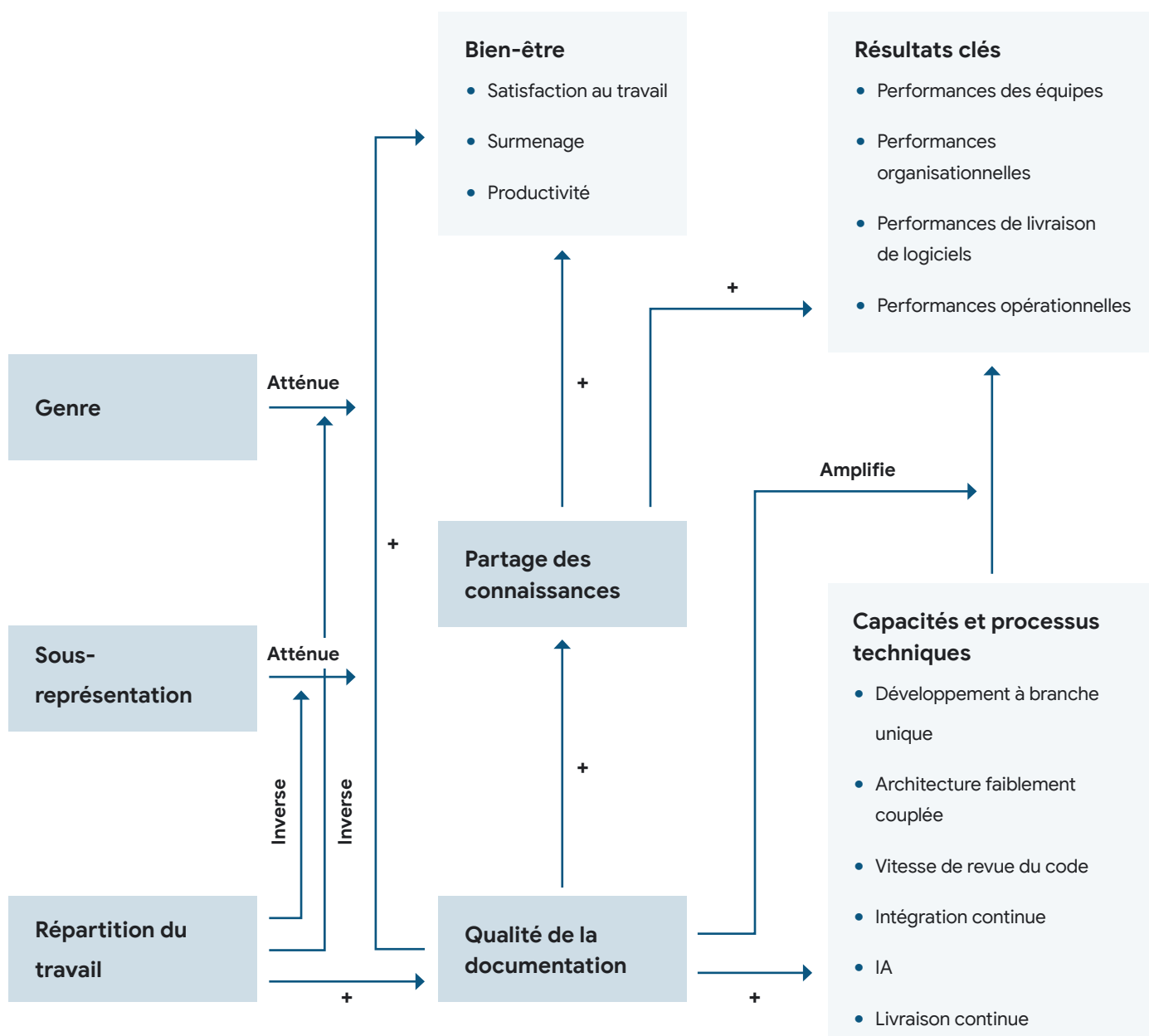
En ayant à l'esprit les résultats de l'étape 1, nous devons formuler des hypothèses sur les voies que les équipes peuvent emprunter pour y parvenir. Pour cela, nous devons nous pencher sur les facteurs qui semblent avoir un impact certain sur un résultat. La formulation type serait "Toutes choses égales par ailleurs, X a une influence sur Y". Cette information peut aider les professionnels à prendre des décisions basées sur les données quant au type de modifications à tenter.

Nous cherchons non seulement à comprendre les méthodes ayant un impact, mais aussi à découvrir les *conditions* qui influencent cet impact. En d'autres termes, il nous faut répondre aux questions "quand ?" et "pour qui ?" Par exemple, il a été prouvé que la qualité de la documentation réduit drastiquement le surmenage... en moyenne. Or, si nous ciblons les personnes interrogées qui s'identifient comme sous-représentées, l'inverse s'observe : une documentation de qualité *augmente* le surmenage. Il est donc capital de comprendre les conditions sous-jacentes, car presque aucune équipe ni aucune personne ne se situe exactement dans la moyenne.

Nous devons également établir des hypothèses sur les *mécanismes* qui répondent à la question *pourquoi* ? ou *comment* ? Cette année, voici notre postulat de départ : les personnes s'identifiant comme sous-représentées sont davantage victimes de surmenage, sur la base des résultats de l'an dernier et des très nombreuses publications sur le sujet. La première question que cela inspire est "pourquoi ?" Pour tenter d'y répondre, nous avons identifié des mécanismes potentiels à tester. Par exemple, les personnes qui s'identifient comme sous-représentées peuvent se sentir plus surmenées, car elles effectuent (ou on leur demande d'effectuer) plus de tâches répétitives.



Nous structurons ensuite nos hypothèses pour pouvoir construire notre enquête et réaliser nos analyses. Voici un exemple de modèle hypothétique pour le chapitre dédié à la documentation, qui reflète tous les effets, liens conditionnels et mécanismes :

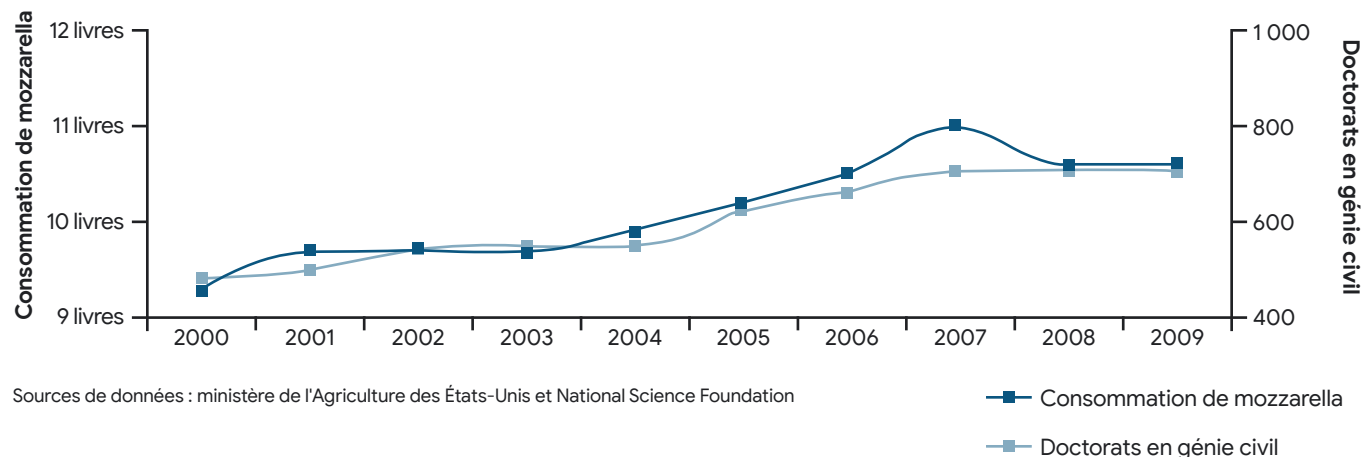


Étape 3 : Formuler des hypothèses sur les facteurs de confusion potentiels

Si vous avez déjà traité des données, vous avez probablement déjà rencontré une corrélation factice. Un site Web que vous connaissez peut-être présente de nombreuses corrélations factices¹, comme l'exemple suivant :

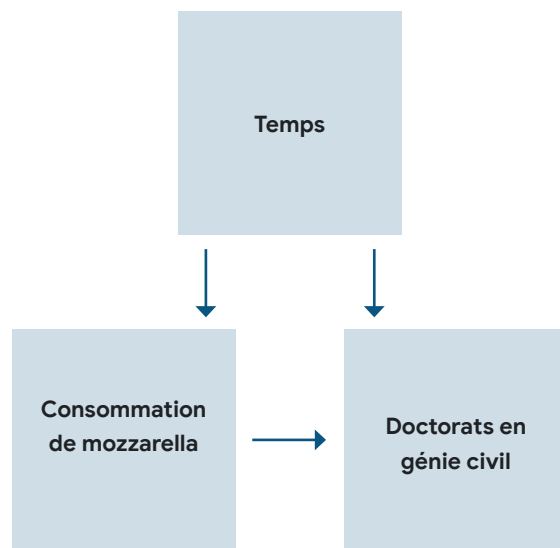
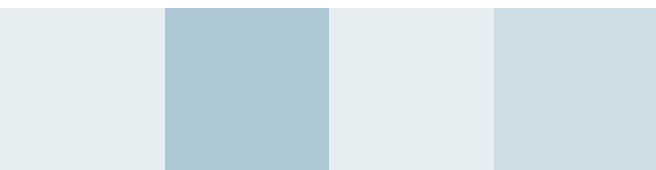
La consommation de mozzarella par habitant est en corrélation avec le nombre de doctorats en génie civil délivrés

Corrélation : 95,86 % ($r = 0,958648$)



La probabilité qu'un lien de causalité existe entre les doctorats en génie civil et la consommation de mozzarella est très faible. Néanmoins, un élément de confusion plane sur cette relation : le temps. Si la consommation de mozzarella et les doctorats en génie civil affichent une tendance à la hausse sur la même période, ils présentent probablement une corrélation positive.

Inclure le temps dans un modèle ou éliminer la composante tendancielle des données invalide la relation. Nous pouvons représenter le modèle comme suit :



¹ <https://www.tylervigen.com/spurious-correlations>

Si nous ne tenons pas compte du temps (troisième variable), les données peuvent refléter une corrélation factice entre la consommation de mozzarella et les doctorats en génie civil.

Des outils existent pour aider les chercheurs à établir la vérité, comme Dagitty (<https://dagitty.net/dags.html>). Cet outil nous permet de fournir notre modèle causal. Pour nous aider à estimer correctement l'impact de X sur Y, il nous indique les implications du modèle, ce que nous devons prendre en compte et ce que nous devons *ignorer*. Les outils comme Dagitty peuvent mener à la conclusion selon laquelle la corrélation peut ne pas évoquer la causalité, mais très probablement la *perception* qu'a une personne donnée de la causalité.

Il est impossible de capturer tous les éléments qui biaisent les estimations des chercheurs. Cela demanderait des enquêtes de 50 heures et de l'omniscience. Cependant, nous faisons tout notre possible pour tenir compte des biais afin de pouvoir vous fournir des estimations précises des effets de différentes activités, technologies et structures sur les résultats qui vous importent. Au bout du compte, de nombreux professionnels souhaitent connaître les facteurs qui vont influencer sur les résultats clés. Les modèles qui ne prennent pas en compte les biais n'indiquent pas la ligne de conduite à suivre. Personne n'a envie de dire que la consommation de mozzarella améliore les performances de livraison de logiciels, mais une telle erreur est plus facile à commettre que vous le pensez.



Étape 4 : Développer l'enquête

Le développement de l'enquête implique trois aspects : l'opérationnalisation, l'expérience et la localisation.

Opérationnalisation

Nous voulons que nos mesures capturent de façon appropriée et fiable les concepts qui nous intéressent. L'art de l'opérationnalisation consiste à transformer un concept abstrait en élément mesurable. L'intégralité de l'analyse repose sur ces mesures. Si nos mesures ne nous fournissent pas de signaux clairs, comment avoir confiance dans le reste de l'analyse ? Mais comment mesurer un concept aussi insaisissable que la productivité, par exemple ? Quid du surmenage ou des performances opérationnelles ?

Nous commençons par consulter les publications existantes pour vérifier si des mesures qui ont fait leurs preuves existent déjà. Si nous pouvons nous servir de telles mesures dans notre enquête, nous pouvons la rapprocher de toutes les publications accumulées sur la question. Notre utilisation constante de la *typologie des cultures organisationnelles* de Westrum est un exemple de réutilisation de mesures déjà validées.

Cependant, de nombreux concepts n'ont pas encore été validés pour notre domaine de recherche. Dans ce cas, nous réalisons une étude qualitative pour déterminer clairement comment le concept est compris, et nous nous penchons sur des publications plus philosophiques à propos des subtilités du concept.

Expérience d'enquête

Nous voulons que notre enquête soit compréhensible, simple, accessible au plus grand nombre et aussi concise que possible. Ces objectifs sont difficiles à atteindre en raison de l'ensemble de questions que nous comptons poser, des connaissances techniques requises pour y répondre et des variations de nomenclature pour certaines pratiques. Nous procédons à des évaluations à distance non modérées pour nous assurer que l'enquête dépasse des seuils donnés. Plusieurs itérations sont nécessaires.

Localisation

Des personnes du monde entier répondent chaque année à notre enquête. Cette année, nous nous sommes efforcés de rendre l'enquête accessible à un plus large public en la localisant dans les langues suivantes : English, español, français, português et 日本語. Cette initiative locale a été menée par des membres extraordinaires de la communauté DORA. Des Googleurs du monde entier y ont contribué, ainsi qu'un partenaire du secteur : un grand merci à Zenika (<https://www.zenika.com>) pour la localisation en français. Nous espérons aller encore plus loin et rendre l'enquête véritablement multiculturelle.

Étape 5 : Collecter les réponses à l'enquête

Nous recrutons les participants via plusieurs canaux qui appartiennent à deux catégories : le *recrutement naturel* et le *panel*.

L'*approche naturelle* consiste à passer par tous les médias sociaux à notre disposition pour que leurs utilisateurs prennent connaissance de l'existence d'une enquête à laquelle nous aimerions qu'ils répondent. Nous créons des articles de blog, nous lançons des campagnes par e-mail, nous publions des contenus sur les réseaux sociaux et nous demandons aux membres de la communauté de faire de même (échantillonnage boule de neige).

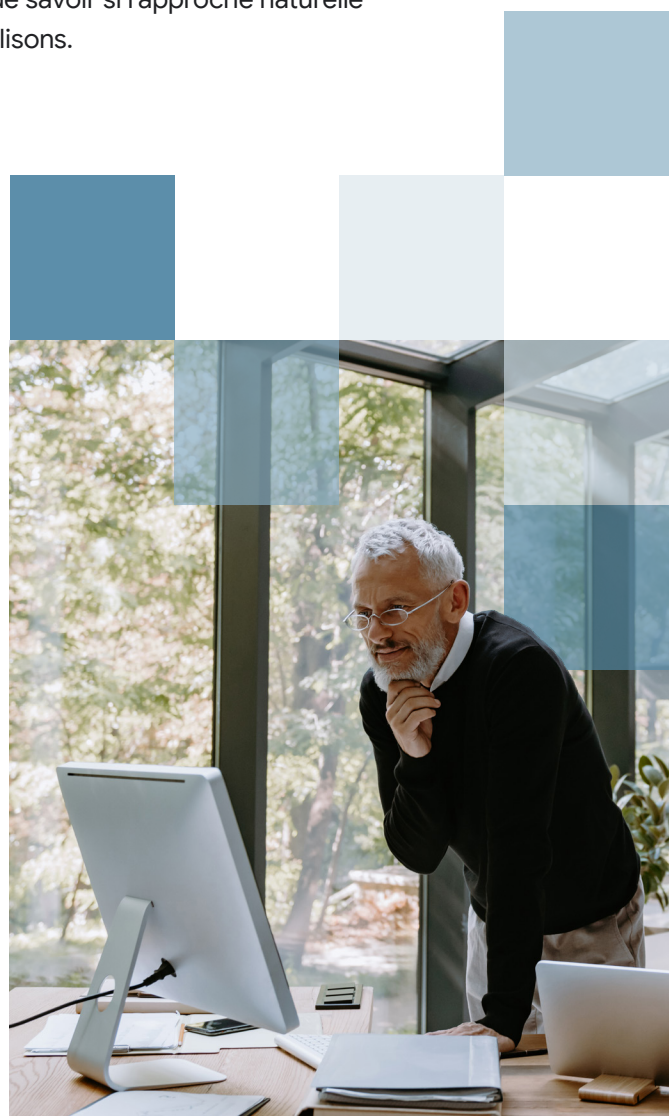
Nous recourons à un *panel* en complément des canaux naturels. L'objectif ici est de recruter des participants traditionnellement sous-représentés dans la communauté technique étendue, et nous tentons d'obtenir des réponses convenables de certains secteurs et types d'organisations. En bref, cette approche nous donne davantage de contrôle sur le recrutement, par rapport à l'approche naturelle où le contrôle est inexistant. Grâce au panel, nous nous assurons simplement que le nombre de personnes interrogées est suffisant, car il est impossible de savoir si l'approche naturelle générera les réponses nécessaires aux types d'analyses que nous réalisons.

Étape 6 : Analyser les données

Trois étapes sont au cœur de l'analyse : le nettoyage des données, la validation des mesures et l'évaluation des modèles.

Nettoyage des données

L'objectif du nettoyage des données est d'améliorer le rapport signal/bruit. Pour diverses raisons, certaines réponses se révèlent comme du bruit. Certains schémas de réponse peuvent indiquer que la personne est distraite, qu'elle répond le plus vite possible ou qu'elle n'est pas totalement honnête. Cette situation n'est pas fréquente dans nos données, mais elle est possible. Les réponses qui semblent ne pas représenter les expériences réelles d'une personne sont exclues de notre analyse, car elles constituent du bruit. S'agissant d'éliminer le bruit, la difficulté est de veiller à ne pas éliminer le signal, particulièrement de façon biaisée ou de manière à valider nos hypothèses. Par exemple, si nous concluons que personne ne peut présenter un niveau élevé sur une valeur et un niveau faible sur une autre, nous pourrions exclure un participant qui présente ces caractéristiques, ce qui aboutirait à des données plus conformes à nos opinions et augmenterait la probabilité que nos hypothèses se vérifient.



Validation des mesures

Au début de ce rapport, nous abordons les concepts que nous essayons de mesurer. Les appellations qui correspondent à ce que nous faisons sont diverses et variées, mais du point de vue que nous adoptons, la mesure d'un concept est une variable². Les variables sont les ingrédients des modèles, qui sont les éléments inclus dans notre étude. La validité des mesures s'analyse généralement de deux points de vue : interne et externe.

Pour établir la validité interne d'une mesure, nous nous penchons sur ce qui, selon nous, indique la présence d'un concept. Par exemple, un indicateur de la qualité d'une documentation peut être que les employés l'utilisent pour résoudre des problèmes.

La majorité de nos variables impliquent plusieurs indicateurs, car les représentations qui nous intéressent semblent posséder de multiples facettes. Pour comprendre la nature multifacette d'une variable, nous vérifions à quel point les éléments utilisés pour dépeindre une représentation se mêlent. S'ils se mêlent bien (c'est-à-dire qu'ils partagent une forte variance commune), nous supposons qu'un principe sous-jacent existe, tel que le concept qui nous intéresse.

Prenons l'exemple du bonheur. Les facettes du bonheur sont multiples. Nous nous attendons à certains ressentis, certaines actions et certaines pensées de la part d'une personne heureuse. Nous supposons ainsi que le bonheur est sous-jacent dans un schéma donné de ressentis, d'actions et de pensées. Par conséquent, nous prévoyons l'émergence simultanée de certains types de ressentis, d'actions et de pensées chez les personnes qui se disent heureuses. Cela nous mènerait à poser des questions sur ces ressentis, actions et pensées. Une analyse factorielle confirmatoire nous permettrait de vérifier s'ils apparaissent véritablement ensemble.

Cette année, nous avons utilisé le package R lavaan pour réaliser cette analyse³. Lavaan renvoie tout un éventail de statistiques d'ajustement pour nous aider à comprendre si les représentations reflètent réellement la façon dont les personnes interrogées répondent aux questions. Si les indicateurs d'un concept ne se mêlent pas, celui-ci devra peut-être être révisé ou abandonné, car il est alors clair que nous n'avons pas trouvé de moyen fiable de le mesurer.

La validité externe d'une représentation consiste à étudier son adéquation avec son environnement. Nous pouvons nous attendre à ce qu'une représentation possède certaines relations avec d'autres représentations. Parfois, la relation attendue entre deux représentations est négative, comme entre le bonheur et la tristesse. Si notre mesure du bonheur s'avère positivement corrélée à la tristesse, une remise en question de notre mesure ou de notre théorie peut être requise. De même, la relation attendue entre deux représentations peut être positive, mais pas forte. La productivité et la satisfaction au travail seront probablement corrélées positivement, mais nous ne les estimons pas identiques. Si la corrélation est trop forte, nous pourrions penser que nous mesurons le même concept. Dans ce cas, nos mesures ne sont pas assez bien calibrées pour relever les différences entre les deux concepts, ou les différences que nous avons cru déceler n'existent pas.

² Moore, Will H. et Siegel, David A. A Mathematics Course for Political and Social Research. Princeton University Press, 2013.

³ Rosseel, Y. lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling. Journal of Statistical Software, 48(2), 2012. 1–36. <https://doi.org/10.18637/jss.v048.i02>

Évaluation du modèle

Aux étapes 2 et 3, nous avons créé des modèles hypothétiques. Après le nettoyage des données à l'étape 6, nous pouvons vérifier si ces modèles sont en adéquation avec les données. Cette année, nous avons adopté une approche bayésienne pour comprendre dans quelle mesure nos diverses hypothèses sont plausibles par rapport aux données en notre possession, plutôt que d'examiner la probabilité des données selon l'hypothèse nulle (absence d'effet). Les principaux outils R que nous utilisons sur blavaan⁴ et rstanarm⁵. Ils nous permettent de tester la probabilité qu'un effet soit significatif ou massif, et pas simplement mineur. Pour évaluer un modèle, nous y allons à petits pas, en commençant par un modèle très simpliste auquel nous ajoutons de la complexité progressivement jusqu'à ce qu'elle ne se justifie plus. Par exemple, nous pensons que les performances organisationnelles résultent de l'interaction entre les performances de livraison de logiciels et les performances opérationnelles.

Dans le modèle simpliste, l'interaction est absente :

Performances organisationnelles ~ Performances de livraison de logiciels + Performances opérationnelles

Notre second modèle, lui, l'inclut :

Performances organisationnelles ~ Performances de livraison de logiciels + Performances opérationnelles + Performances de livraison de logiciels x Performances opérationnelles

Selon les recommandations fournies dans Regression and Other Stories⁶ et dans Statistical Rethinking⁷, nous appuyons sur la validation croisée de type un contre tous et sur le critère d'information de Watanabe-Akaike⁸ pour déterminer si l'ajout de complexité est nécessaire.



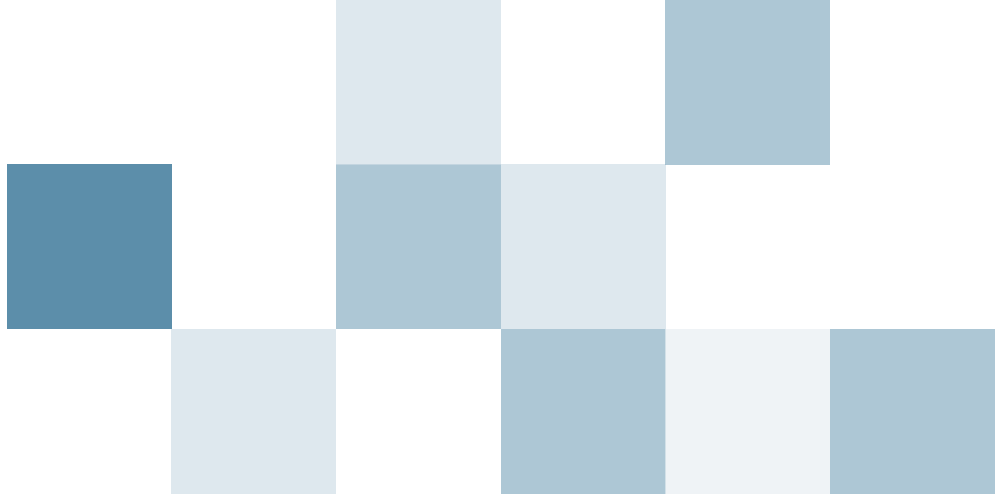
⁴ Merkle, Edgar C. et Rosseel, Yves. blavaan: Bayesian Structural Equation Models via Parameter Expansion. arXiv preprint, 2015. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1511.05604>

⁵ Goodrich, Ben, Jonah Gabry, Imad Ali et Sam Brilleman. rstanarm: Bayesian Applied Regression Modeling via Stan. package R version 2, n° 1 (2020).

⁶ Gelman, Andrew, Jennifer Hill et Aki Vehtari. Regression and Other Stories. Cambridge University Press, 2020.

⁷ McElreath, Richard. Statistical Rethinking: A Bayesian Course with Examples in R and Stan. Chapman and Hall/CRC, 2018.

⁸ Vehtari, Aki, Andrew Gelman et Jonah Gabry. Practical Bayesian model evaluation using leave-one-out cross-validation and WAIC. Statistics and Computing, 27, 2017. 1413-1432. <https://doi.org/10.1007/s11222-016-9696-4>



Étape 7 : Rapporter les conclusions

Nous avons ensuite examiné les résultats. Cette année, nous avons passé quelques jours ensemble à Boulder, dans le Colorado, à synthétiser les données en nous appuyant sur l'expérience d'experts. Nous avons procédé ainsi pour chaque chapitre du rapport, hypothèse par hypothèse. L'interprétation des données s'accompagne toujours de risques d'interprétations partisans, de spéculations, d'anecdotes et de raccourcis. Ces risques ont été atténués du fait de la présence de différentes personnes aux parcours variés dans une atmosphère favorable au questionnement, aux divergences, à la singularité des perspectives et à la curiosité⁹.

Avec les résultats en main, les auteurs du rapport sont rentrés chez eux et ont commencé la rédaction. Tout au long du processus d'écriture, rédacteurs et experts ont été consultés. Leur point de vue est essentiel pour nous aider à communiquer nos idées. La personne chargée de l'analyse de ces données devait faire en sorte qu'aucun de nos propos ne dévie de ce qu'indiquent les données.

Notre partenaire, la talentueuse agence de design BrightCarbon¹⁰, a rassemblé tous les chapitres dans une mise en page homogène.

Étape 8 : Synthétiser nos conclusions avec l'aide de la communauté

Nous comptons sur l'engagement de la communauté pour trouver des moyens d'exploiter et d'interpréter nos conclusions. Nous essayons d'être précis dans nos recommandations, mais au bout du compte, les implémentations qu'une équipe peut tenter sur la base de nos découvertes sont innombrables. Par exemple, l'architecture faiblement couplée semble être une pratique bénéfique d'après les résultats que nous mesurons, mais il est évident qu'il n'existe pas une méthode universelle pour établir une telle architecture. Imaginer des approches et les partager au sein d'une communauté est la seule façon de s'améliorer continuellement. Notre carte du monde est une interprétation et une abstraction du territoire et du contexte dans lesquels vous, votre équipe et votre organisation opérez.

Pour rejoindre la communauté mondiale de pratique DORA, consultez son site (<https://dora.community>).

⁹ Stasser, G. et Titus, W. (1985). Pooling of unshared information in group decision making: Biased information sampling during discussion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 48(6), 1985. 1467–1478. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.48.6.1467>

¹⁰ <https://www.brightcarbon.com/>

Données sur les entreprises et démographiques

Qui a répondu à l'enquête ?

Depuis près de dix ans, le programme de recherche DORA étudie les capacités des organisations très performantes axées sur la technologie, ainsi que leurs pratiques et les mesures qu'elles utilisent. Nous avons échangé avec plus de 36 000 professionnels d'entreprises de toutes les tailles et de nombreux secteurs différents. Nous les remercions pour les informations précieuses qu'ils ont partagées avec nous. Cette année, près de 3 000 professionnels de divers secteurs à travers le monde ont partagé leurs expériences pour nous aider à mieux comprendre ce qui entraîne le succès de ces organisations.

Pour les données démographiques et sur les entreprises, nous nous sommes appuyés cette année sur les recherches menées par Stack Overflow. Plus de 70 000 personnes ont participé à l'enquête 2022 Stack Overflow Developer Survey¹. Pour une multitude de raisons, cette enquête n'est pas arrivée jusqu'à tous les professionnels techniques, mais elle donne l'aperçu le plus complet possible du monde du développement. Connaissant la population concernée, nous pouvons identifier les biais de réponse dans nos données et déterminer le degré de généralisation qu'il est possible d'atteindre dans nos conclusions. Les données et les questions d'ordre démographique et se rapportant

aux entreprises posées dans l'enquête Stack Overflow Developer Survey sont bien conçues et réutilisables. Par rapport à l'enquête Stack Overflow Developer Survey, notre échantillon inclut une plus forte proportion de femmes, de personnes en situation de handicap et de membres de grandes organisations. Les participants sont toutefois similaires concernant l'origine ethnique.

L'enquête de cette année a connu une multiplication par 3,6 du nombre de participants naturels par rapport à 2022.

L'enquête de cette année
a connu une multiplication

× 3,6

du nombre de
participants naturels par
rapport à 2022

¹ <https://survey.stackoverflow.co/2022#overview>

Données démographiques

Genre

Par rapport à 2022, l'échantillon de cette année compte une plus faible proportion de femmes (12 % contre 18 %).

Genre	Pourcentage des personnes interrogées
Préfère ne pas répondre	3 %
Autre, dans vos propres mots	2 %
Femme	12 %
Homme	81 %

Handicap

Nous avons identifié le handicap selon six aspects correspondant aux directives du Washington Group Short Set². C'est la cinquième année que nous posons des questions sur le handicap. Le pourcentage de personnes en situation de handicap a diminué, passant de 11 % en 2022 à 6 % en 2023.

Handicap	Pourcentage des personnes interrogées
Aucun des handicaps mentionnés	87 %
Oui	6 %
Préfère ne pas répondre/ N'a pas répondu	7 %

Sous-représentation

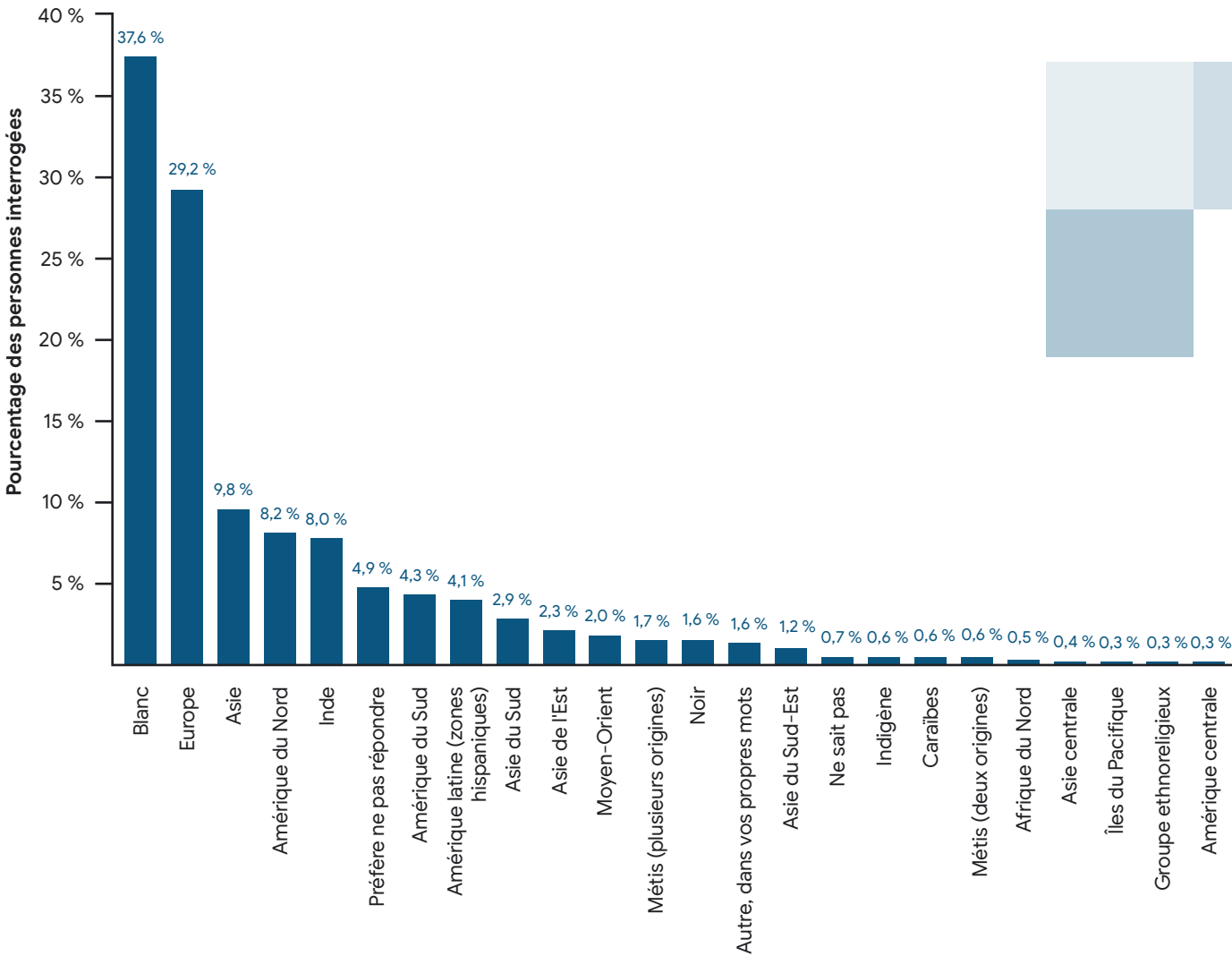
S'identifier comme membre d'un groupe sous-représenté peut faire référence au groupe ethnique, au genre ou à une autre caractéristique. Nous posons des questions sur la sous-représentation pour la sixième année. Le pourcentage de personnes qui s'identifient comme sous-représentées a légèrement diminué, passant de 19 % en 2022 à 15 % en 2023.

Sous-représentation	Pourcentage des personnes interrogées
Non	77 %
Oui	15 %
Préfère ne pas répondre	7 %

² <https://www.washingtongroup-disability.com/question-sets/wg-short-set-on-functioning-wg-ss/>

Origine ethnique

Nous avons repris la question de l'enquête 2022 Stack Overflow Developer Survey³. Comme indiqué précédemment, les deux échantillons sont similaires, à une seule différence notable près : la proportion d'Européens est inférieure dans le nôtre.

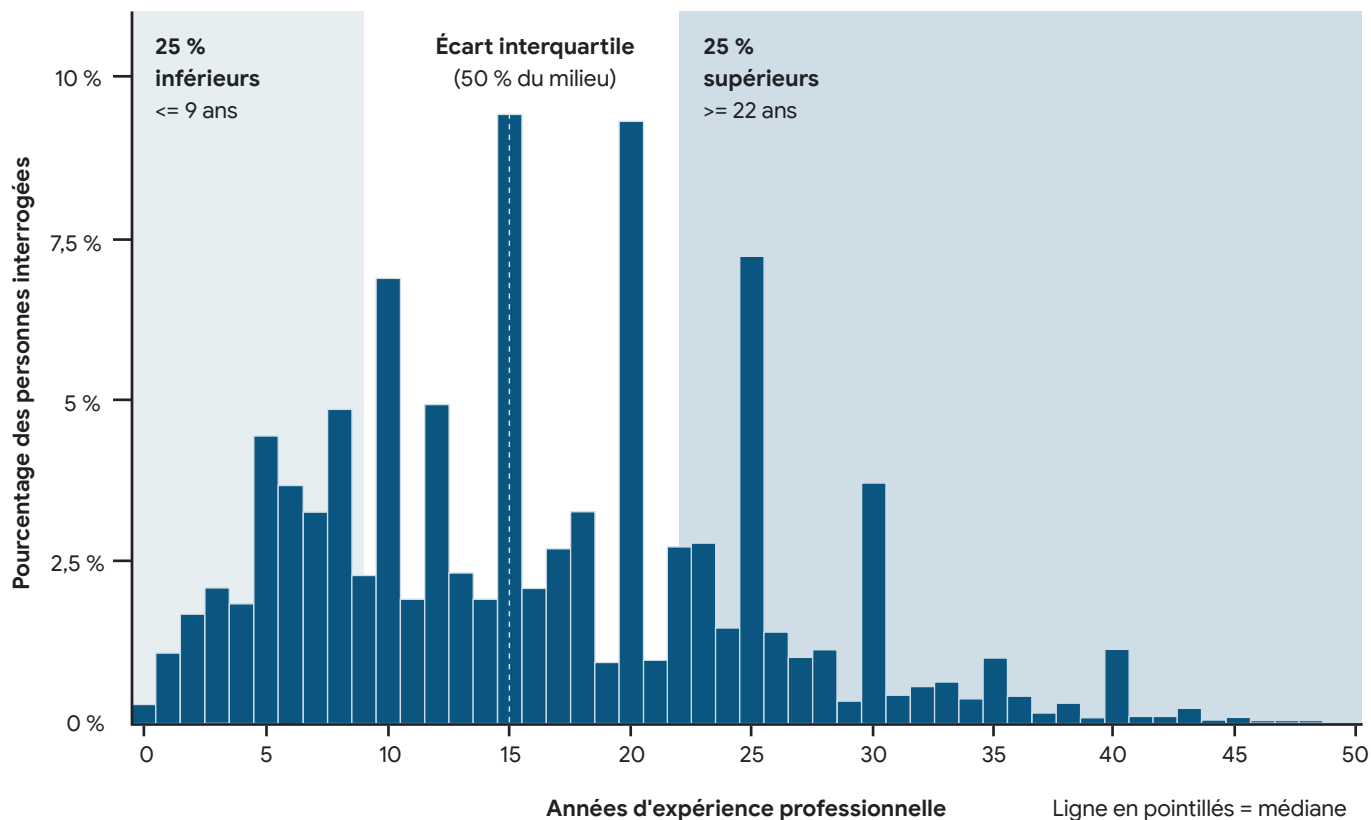
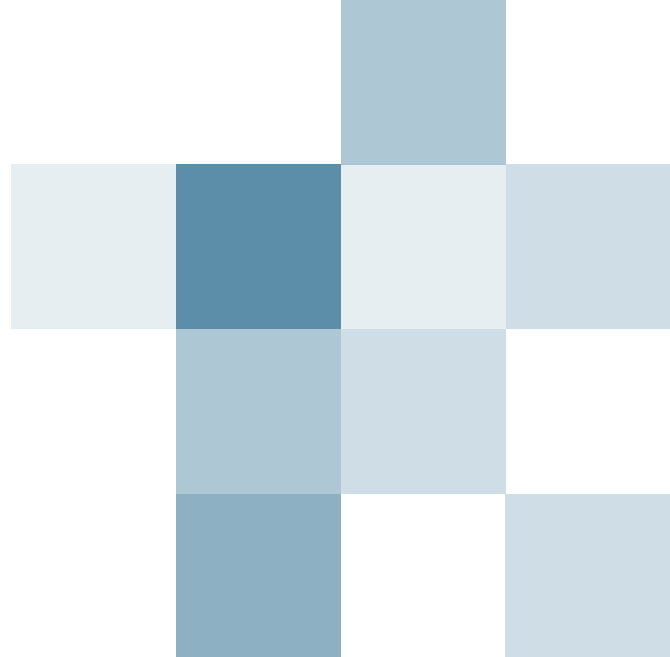


³ <https://survey.stackoverflow.co/2022#overview>

Années d'expérience

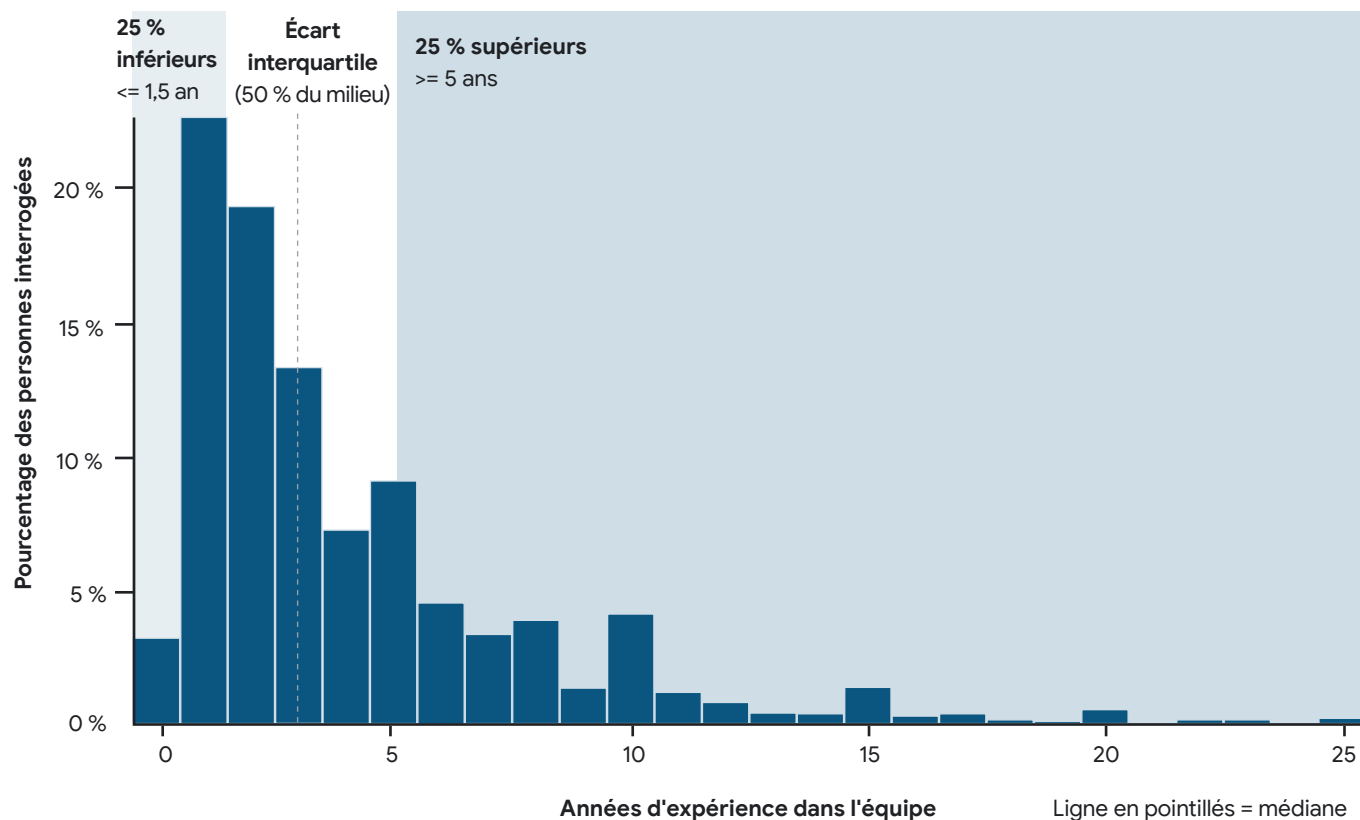
Expérience professionnelle

Nous souhaitons savoir depuis combien de temps le participant travaille. Nous avons posé cette question : "Combien d'années d'expérience professionnelle avez-vous ?". Globalement, nos données proviennent d'un groupe de professionnels relativement expérimentés. En effet, 50 % des personnes interrogées ont au moins 15 ans d'expérience. 25 % ont plus de 22 ans d'expérience. 25 % ont moins de 9 ans d'expérience. Avec du recul, nous réalisons que la notion d'expérience professionnelle est toute relative.



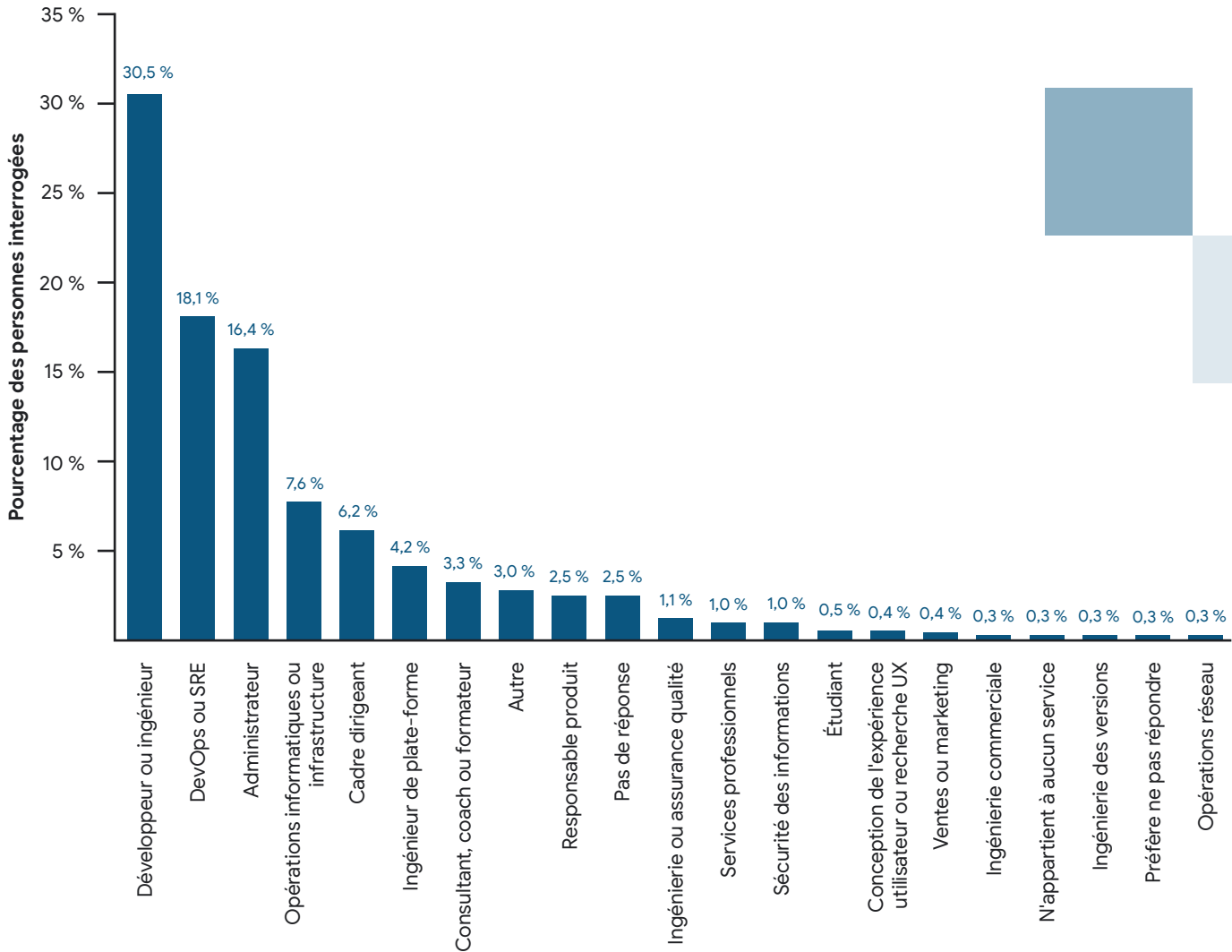
Expérience dans l'équipe

Parfois, travailler dans une nouvelle équipe donne le sentiment de repartir à zéro. C'est ce que nous avons voulu étudier en posant cette question : "Depuis combien d'années travaillez-vous dans votre équipe actuelle ?" Même si l'expérience professionnelle semble longue, de nombreuses personnes interrogées viennent d'intégrer leur équipe. 50 % des participants font partie de leur équipe actuelle depuis moins de 3 ans. 25 % en font partie depuis 1,5 an au maximum. Seulement 25 % en font partie depuis au moins 5 ans. Ces chiffres reflètent-ils un état d'esprit d'amélioration continue chez nos participants ? Ou les fluctuations et l'instabilité de l'économie ?



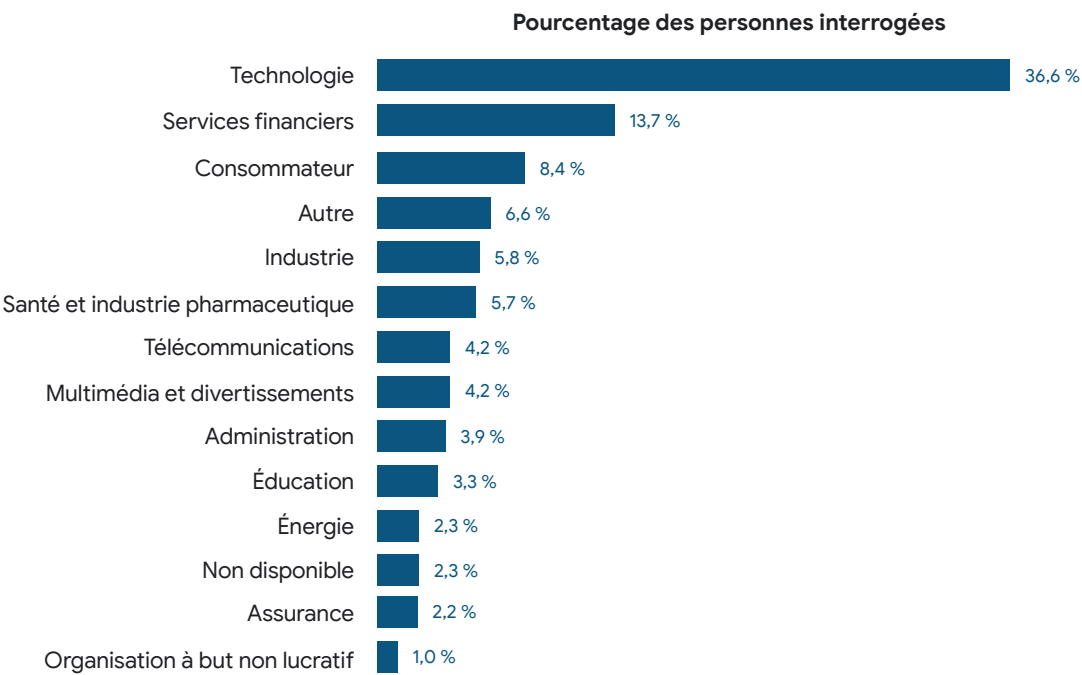
Rôle

72 % des participants travaillent dans une équipe de développement ou d'ingénierie (30 %), dans une équipe DevOps ou SRE (18 %), dans un service informatique ou sont charge de l'infrastructure (8 %) ou responsables (16 %). En 2022, ces fonctions concernaient 85 % des participants. La diminution des participants à ces quatre postes suggère que nous avons pu nous adresser à un plus large éventail de fonctions. La proportion de professionnels d'un service informatique ou en charge de l'infrastructure (8 %) est revenue au niveau de 2021 (9 %) après la hausse de 2022 (19 %).

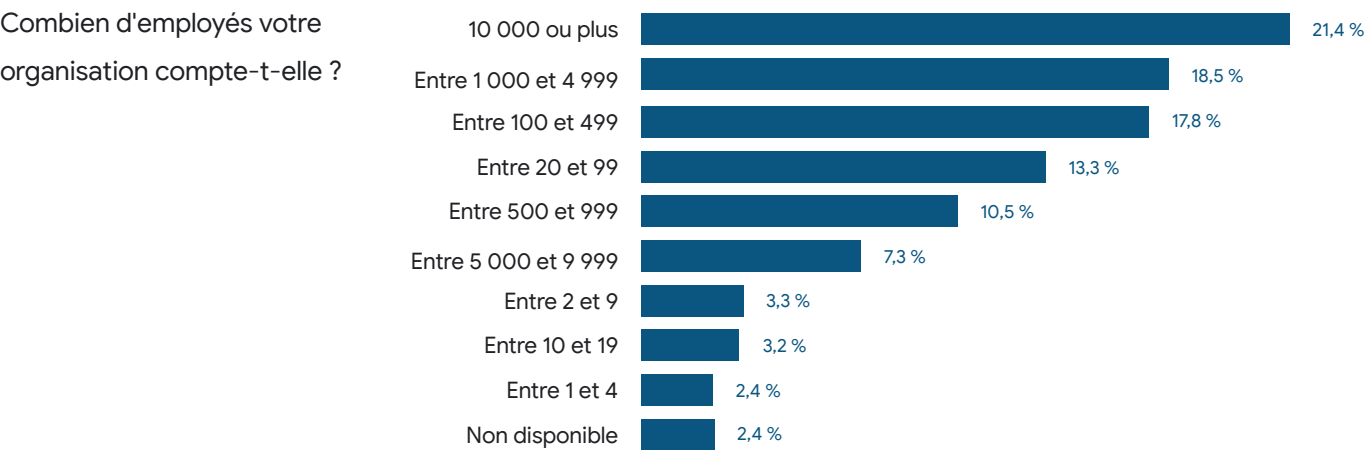


Données sur les entreprises

Secteur

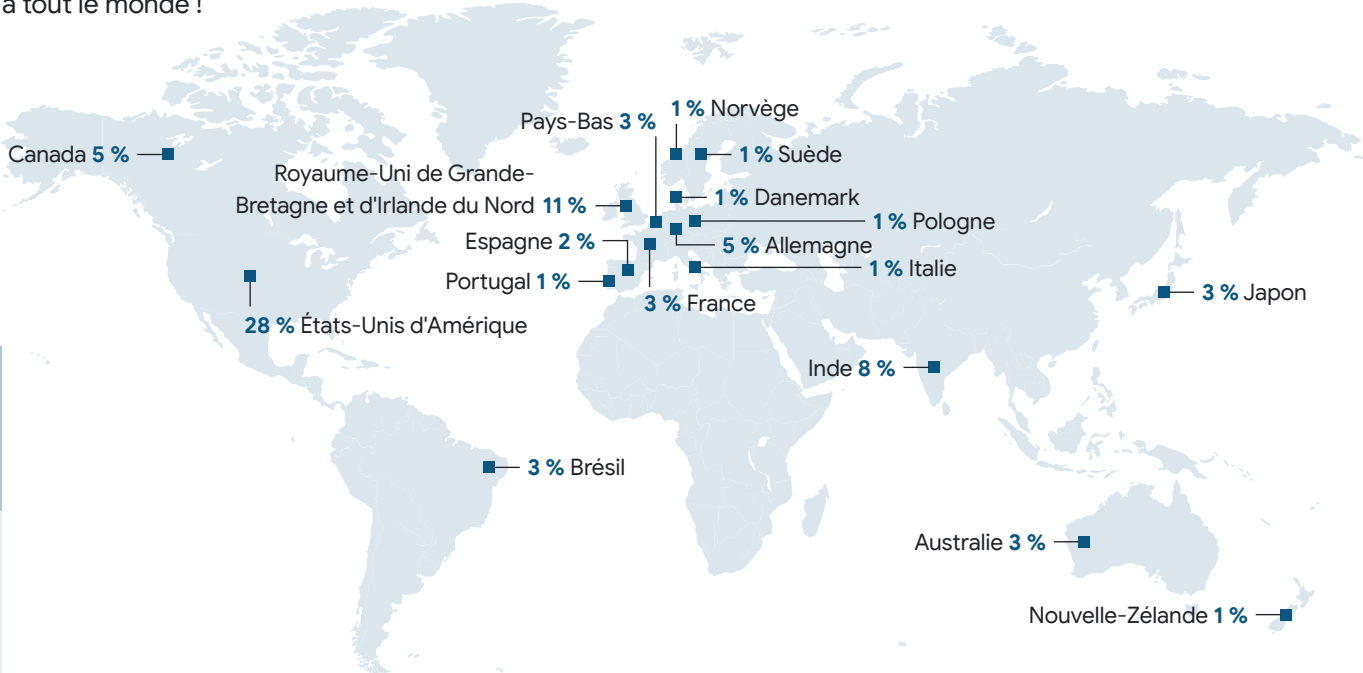


Nombre d'employés



Pays

Nous sommes toujours ravis de constater que les participants à notre enquête viennent des quatre coins du monde. Merci à tout le monde !



Pays					
États-Unis	Danemark	Lituanie	Tunisie	Bangladesh	Guatemala
Royaume-Uni	Suisse	Thaïlande	Uruguay	République dominicaine	Honduras
Inde	Autriche	Hongrie	Afghanistan	Ghana	Lettonie
Canada	Kenya	Israël	Algérie	Hong Kong	Liban
Allemagne	Afrique du Sud	Viêt Nam	Égypte	Kazakhstan	Luxembourg
Australie	Argentine	Émirats arabes unis	Estonie	Myanmar	Maldives
Brésil	République tchèque	Bulgarie	Islande	Arabie saoudite	Malte
Non applicable	Belgique	Croatie	Iran	Somalie	Maurice
Pays-Bas	Colombie	Équateur	Nigeria	Soudan	Mongolie
Japon	Finlande	Indonésie	Pérou	Ouganda	Maroc
France	Irlande	Philippines	Slovaquie	Albanie	Népal
Espagne	Chine	Arménie	Slovénie	Bahamas	Qatar
Suède	Roumanie	Géorgie	Corée du Sud	Biélorussie	Macédoine du Nord
Italie	Singapour	Grèce	Sri Lanka	Bolivie	
Nouvelle-Zélande	Mexique	Malaisie	Andorre	Cambodge	Trinité-et-Tobago
Pologne	Turquie	Pakistan	Angola	Costa Rica	République unie de Tanzanie
Norvège	Ukraine	Fédération de Russie	Antigua-et-Barbuda	Djibouti	
Portugal	Chili	Serbie	Bahreïn	El Salvador	Zimbabwe

Conditions de travail

Situation professionnelle

88 % des participants sont des employés à temps plein. 10 % sont des prestataires. Certains de ces prestataires rapportent des expériences très différentes de celles des employés à temps plein.

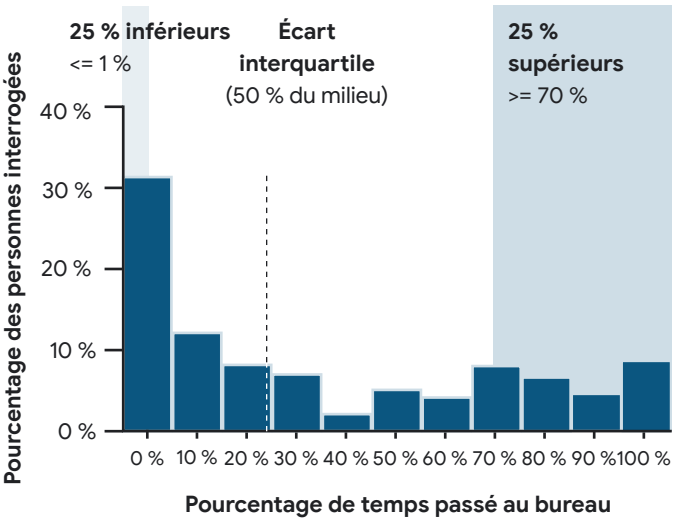
Contrat	Pourcentage des personnes interrogées
Employé à plein temps	88 %
Prestataire à temps plein	8 %
Employé à temps partiel	2 %
Prestataire à temps partiel	2 %

* Pour l'application ou le service principal sur lequel vous travaillez, qu'est-ce qui décrit le mieux votre situation professionnelle par rapport à l'organisation propriétaire de l'application ou du service ?

Cet écart d'expérience peut s'expliquer par l'intégration à l'équipe. Certains prestataires indiquent qu'ils font partie intégrante de l'équipe avec laquelle ils travaillent. En d'autres termes, ils collaborent étroitement avec ses membres au quotidien et considèrent comme négligeable la différence entre eux et un employé à temps plein. 70 % des participants qui sont des prestataires sont d'accord ou tout à fait d'accord avec le fait qu'ils font partie intégrante de leur équipe.

Emplacement

Les tendances de réponse de cette année indiquent que, malgré les incitations à revenir au bureau, le télétravail reste une réalité pour de nombreux employés. Près de 33 % des personnes interrogées travaillent quasi exclusivement à domicile (moins de 5 % du temps passé au bureau). Elles sont 63 % à faire plus de télétravail que de travail au bureau. Pour les autres, le travail hybride semble être le fonctionnement le plus courant. Nous déduisons cela du fait que 75 % des participants passent moins de 70 % de leur temps au bureau. Ils sont peu nombreux à ressentir un fort attachement pour la présence au bureau. Seules 9 % des personnes interrogées passent plus de 95 % du temps au bureau.



Modèles

Introduction

Habituellement, nous créons un méga-modèle. Cette année, nous avons décidé de le décomposer en plus petits modèles pour les raisons suivantes :

- Les grands modèles peuvent rapidement devenir pénibles à gérer. Chaque ajout de variable en modifie le fonctionnement, ce qui peut aboutir à des estimations inexactes et compliquer l'identification du motif d'un changement.
- Cette année, nous avons formulé nos hypothèses section par section. Il paraissait donc plus logique de créer un modèle pour chaque section.
- Les atouts d'un méga-modèle ne sont pas évidents lorsqu'il s'agit d'estimer l'impact de X sur Y . Pour comprendre l'influence de X sur Y , nous avons utilisé des graphes orientés acycliques pour identifier les covariables à inclure et à ne pas inclure dans le modèle.
- Le nombre d'hypothèses étudiées cette année rendrait la compréhension du méga-modèle difficile pour le lecteur. Imaginez si toutes les visualisations devaient être combinées en une seule.



Comment lire ces diagrammes ?

Une fois que vous saurez lire ces diagrammes, vous trouverez qu'ils fournissent efficacement de nombreuses informations.



Variable

Une variable est un concept que nous avons tenté de mesurer (par exemple, la qualité de la documentation).

Catégorie de variables

- Variable
- Variable
- Variable
- Variable

Une catégorie de variables rassemble les variables que nous envisageons comme une catégorie, sans lien avec l'analyse. En d'autres termes, il s'agit d'une représentation d'ordre supérieur que nous avons évaluée statistiquement.



Impact positif, qui reflète une augmentation et pas nécessairement un atout



Impact négatif, qui reflète une diminution et pas nécessairement un désavantage



Effet hypothétique non étayé par les données



Partie du cheminement de médiation que nous avons analysée explicitement

Attention : les modèles sont des généralisations !

Certaines variables sont rassemblées dans des catégories pour faciliter la lecture. De par cette stratégie de catégorisation, les flèches qui relient les catégories de variables représentent la tendance générale des résultats. Elles peuvent ne pas s'appliquer à toutes les variables de la catégorie. Par exemple, le partage des connaissances a un impact positif sur la plupart des résultats clés. Par conséquent, nous allons tracer une flèche avec le signe plus (+) qui part du partage des connaissances et qui va jusqu'à la catégorie de variables des résultats clés. Cependant, le partage des connaissances n'a pas d'impact positif sur les performances de livraison de logiciels. Pour entrer dans le détail, consultez les chapitres concernés.

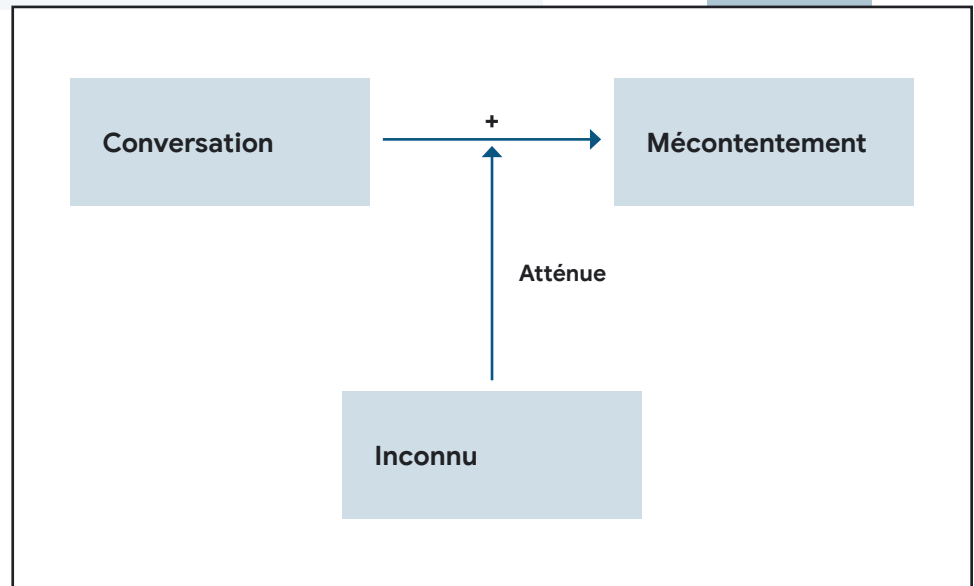
Exemple de modération

La modération est un concept difficile à appréhender en statistiques, mais dans le monde réel, elle équivaut à dire "cela dépend". Voyons un exemple rapide pour clarifier le concept de modération dans ce rapport.

Dans la saison 3 de "Larry et son nombril", Larry David déclare : "Je n'aime pas parler aux personnes que je connais, mais je n'ai aucun problème à le faire avec des inconnus". Nous pouvons en retirer un diagramme rapide à étudier :

"Je n'aime pas parler aux personnes que je connais, mais je n'ai aucun problème à le faire avec des inconnus."

Larry David



Ce diagramme indique que, pour Larry, la conversation a un impact positif sur le mécontentement. Le terme "positif" signifie simplement un renforcement, et pas nécessairement qu'il s'agit d'une bonne chose. Cette relation est représentée par la ligne noire pleine qui va de "Conversation" à "Mécontentement". La flèche suggère que la direction du flux de causalité part de "Conversation" et arrive à "Mécontentement". Selon les éléments en notre possession, les conversations ont tendance à susciter le mécontentement chez Larry.

Le deuxième point à noter est que l'élément "Inconnu" (qui représente ici la variable booléenne Inconnu oui/non) ne pointe pas vers une autre variable. Il pointe vers un impact, une flèche. Cela signifie que nous pensons que l'élément "Inconnu" ne modifie pas une variable, mais un impact. C'est pour cette raison que

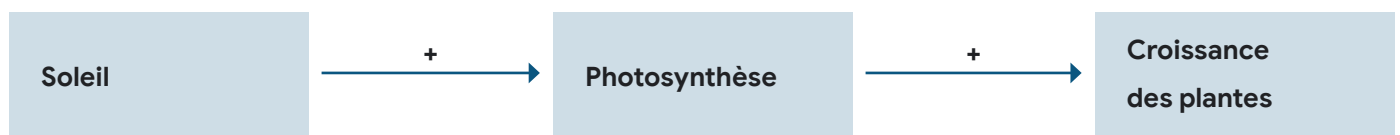
la flèche va de "Inconnu" jusqu'à l'autre flèche, et non jusqu'à une autre variable. Nous indiquons ainsi que le fait de parler ou non à un inconnu influence l'impact de la conversation sur le mécontentement de Larry. En d'autres termes, l'impact de la conversation sur le mécontentement de Larry dépend du fait que la personne avec laquelle il discute soit ou non un inconnu. S'il s'agit d'un inconnu, l'impact de la conversation est tel que Larry "n'a aucun problème à le faire". Ainsi, nous pouvons conclure que les inconnus atténuent le mécontentement ressenti par Larry lors d'une conversation.

Il existe différents types de modération entre deux variables :

- **Amplification** : accentue les effets positif et négatif.
- **Affaiblissement** : diminue l'effet.
- **Atténuation** : rend un effet positif moins positif et un effet négatif moins négatif.
- **Inversion** : rend un effet positif négatif et un effet négatif positif.
- **Modification** : parfois, l'effet est simplement modifié, sans que la tendance puisse être résumée en un mot. La situation se présente souvent avec les variables catégorielles définies comme causes. Par exemple, certains secteurs peuvent se comporter différemment dans d'autres conditions, comme en cas de fluctuations de l'économie.

Exemple de médiation

Comme la modération, la médiation est toujours présente dans notre esprit. Les bases de la médiation sont les questions *pourquoi* ? et *comment* ? Pourquoi le soleil cause-t-il la croissance des plantes ? Pourquoi manger une fraise me donne un goût sucré en bouche ? Comment le fait d'appuyer sur la pédale d'accélérateur fait-il avancer ma voiture ? Comment les antalgiques réduisent-ils la douleur ? La médiation peut être testée grâce aux statistiques¹. En termes de formulation, cela revient à dire : "Il semble que l'impact de X sur Y s'explique entièrement ou partiellement par M". Par exemple, l'effet du soleil sur la croissance des plantes s'explique par la photosynthèse.

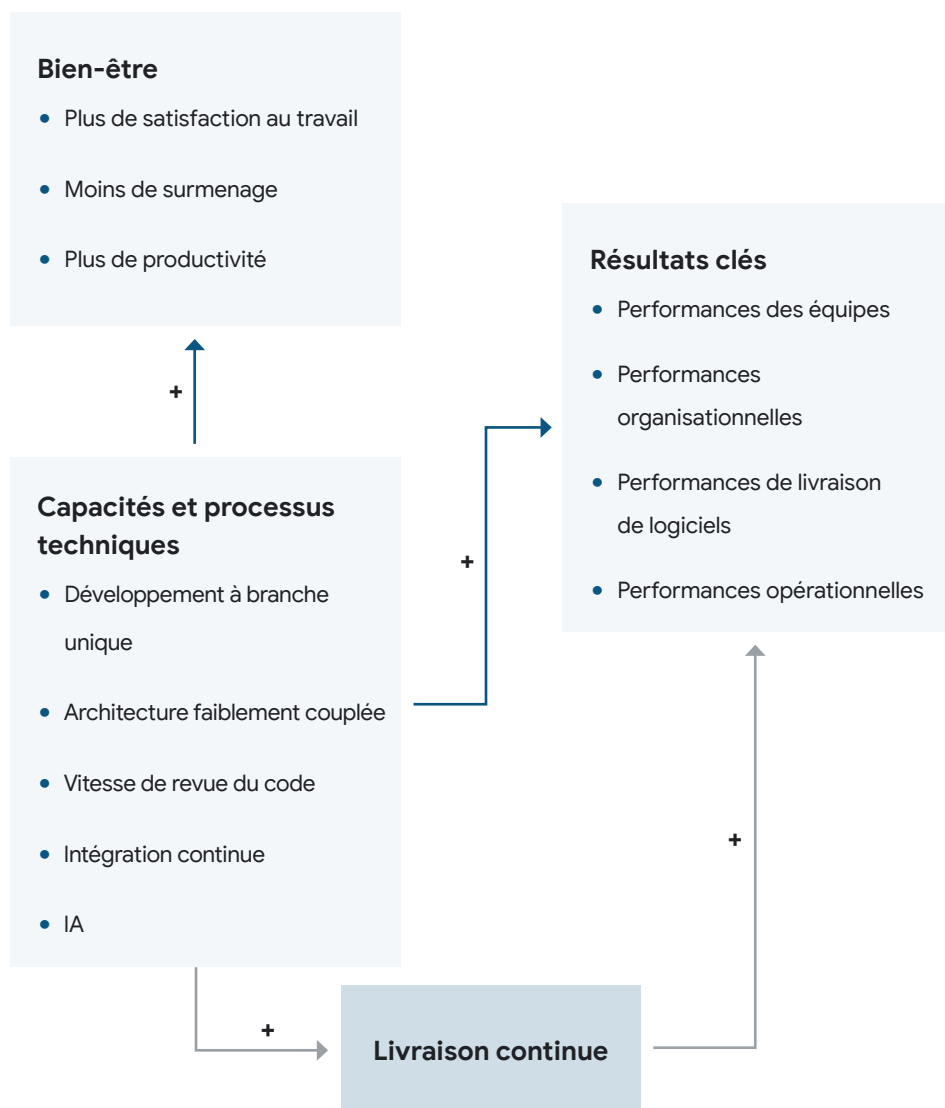


¹<https://lavaan.ugent.be/tutorial/mediation.html>



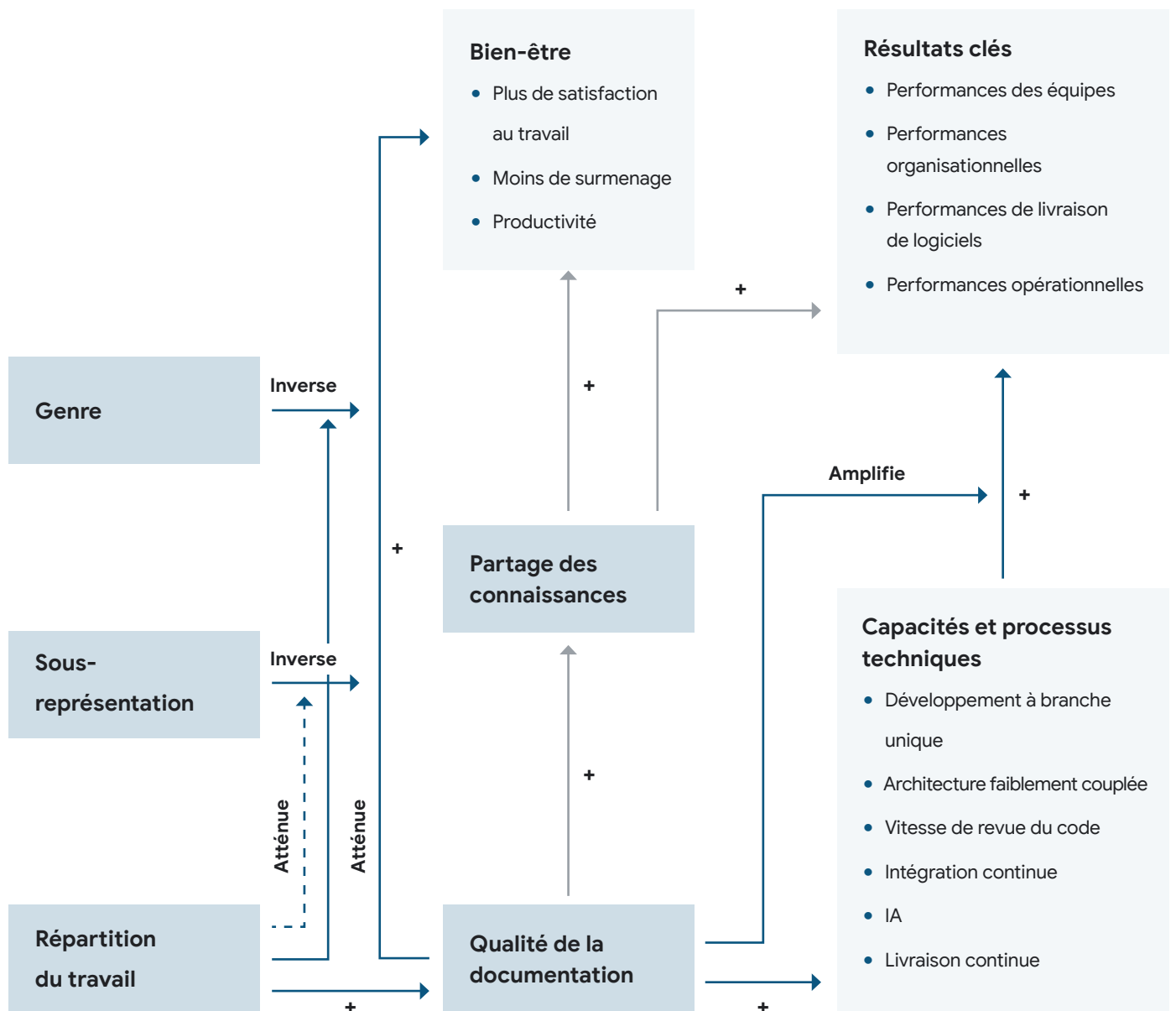
Modèle du chapitre 3 : Les capacités techniques influencent les performances

Les capacités et processus techniques ont un impact positif sur le bien-être et les résultats clés. L'effet des capacités techniques sur les résultats clés est concerné par la médiation partielle de la livraison continue. Ainsi, les capacités techniques créent un environnement de livraison continue qui a un impact en aval sur les résultats clés.



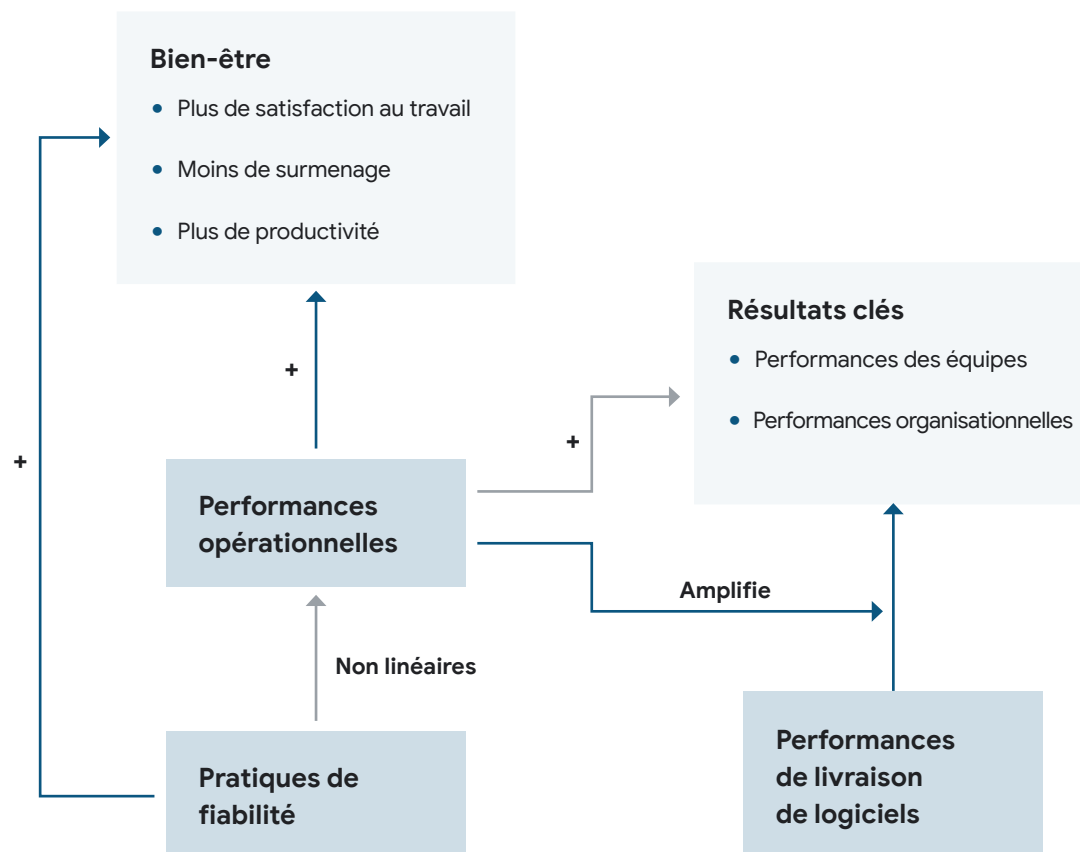
Modèle du chapitre 4 : La documentation est primordiale

En résumé, une documentation de haute qualité a des effets positifs sur le bien-être et les résultats clés. Cela est dû en partie au fait qu'elle permet de créer un environnement dans lequel le partage des connaissances est possible. Une documentation de haute qualité aide également les équipes à établir les capacités et processus techniques. De plus, elle permet à ceux-ci d'avoir une influence encore plus grande sur les résultats clés. Enfin, la qualité de la documentation n'entraîne pas un meilleur bien-être pour tout le monde. Nous vous recommandons de consulter la section concernée pour entrer dans le détail de ces découvertes complexes.



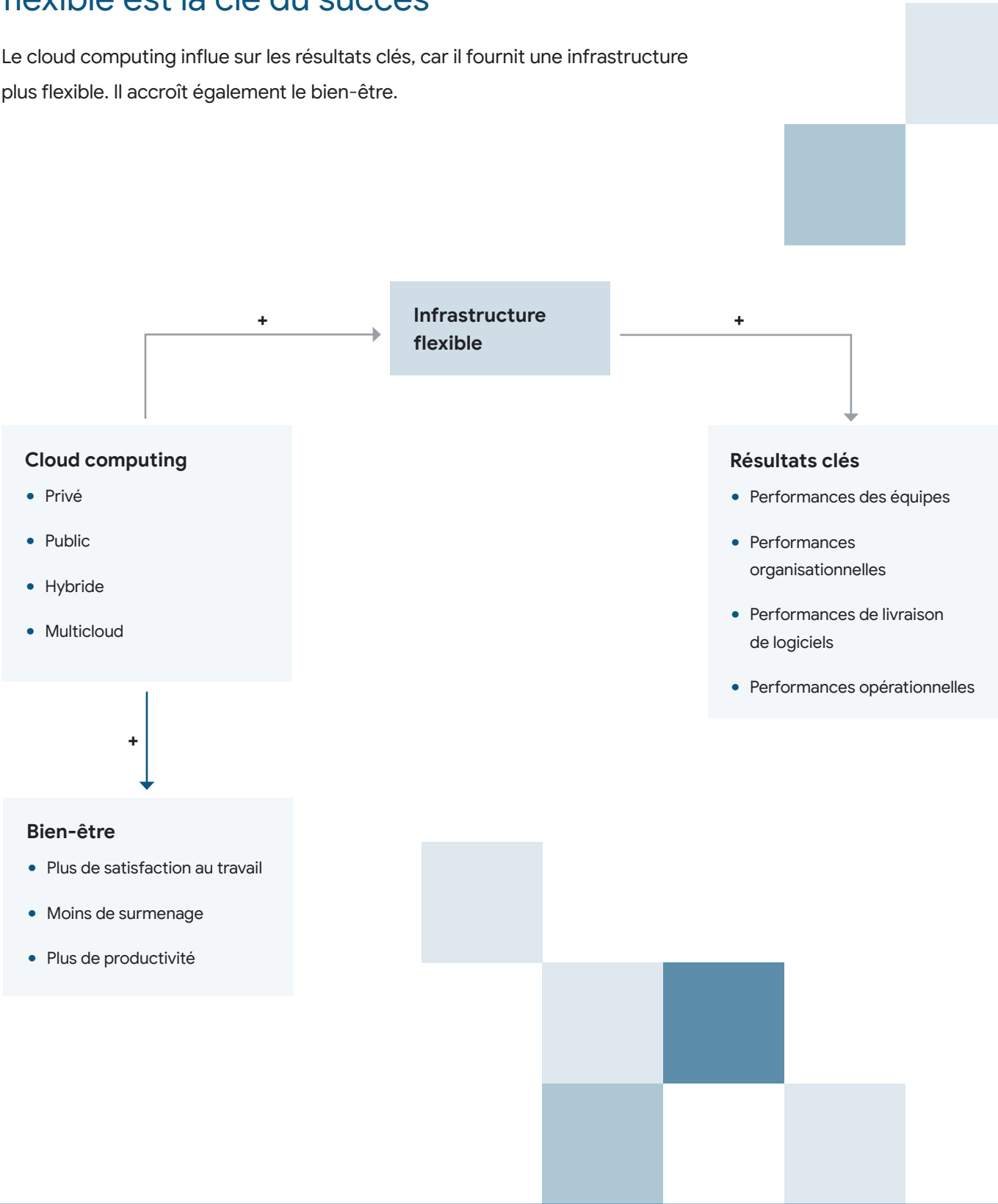
Modèle du chapitre 5 : La fiabilité optimise les performances

Nous explorons ici le rôle central des performances opérationnelles. Elles permettent non seulement d'améliorer le bien-être et les résultats clés, mais elles amplifient également l'effet des performances de livraison de logiciels. Les pratiques de fiabilité possèdent une relation non linéaire avec les performances opérationnelles. Nous vous recommandons de consulter ce chapitre pour approfondir la question.



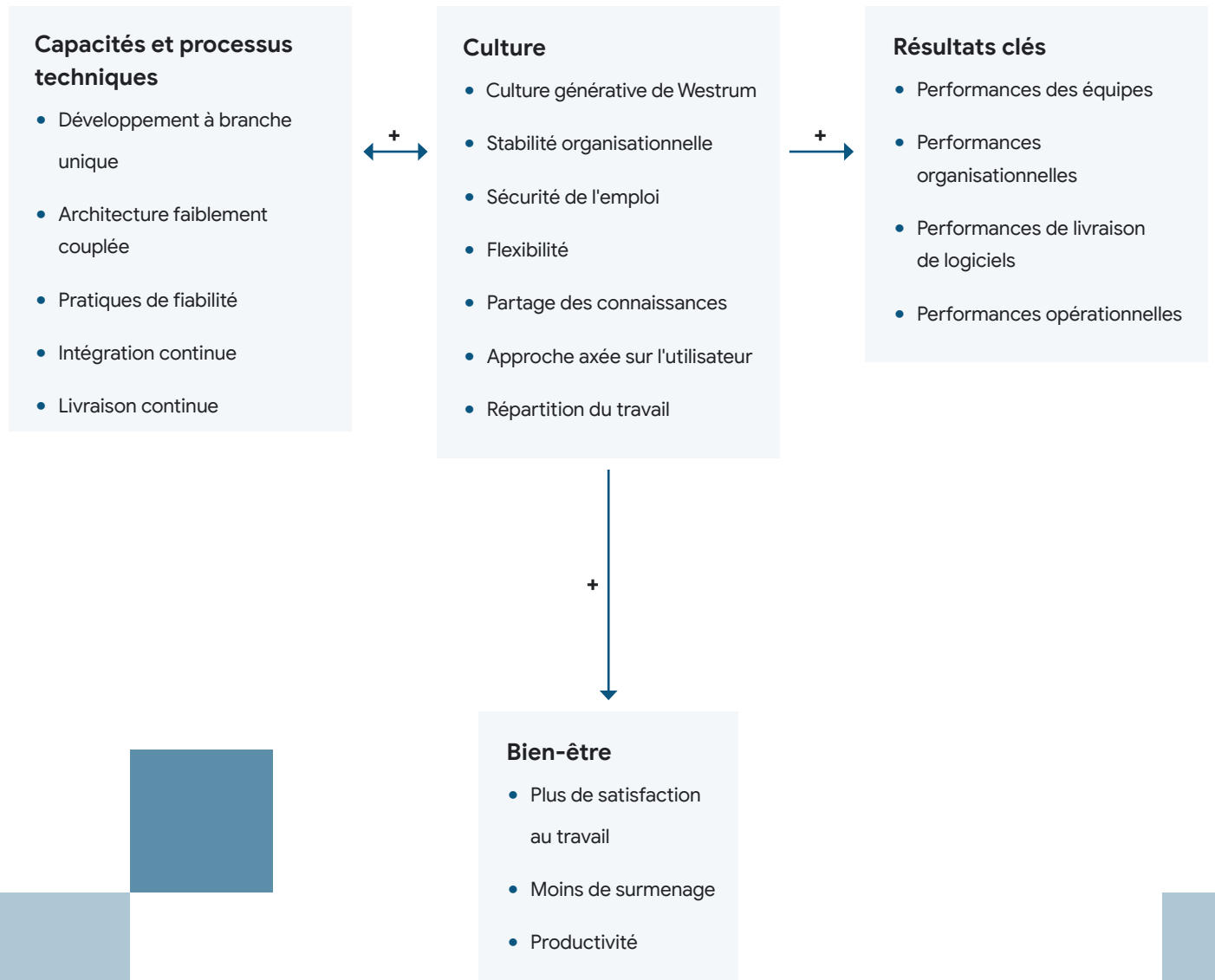
Modèle du chapitre 6 : Une infrastructure flexible est la clé du succès

Le cloud computing influe sur les résultats clés, car il fournit une infrastructure plus flexible. Il accroît également le bien-être.



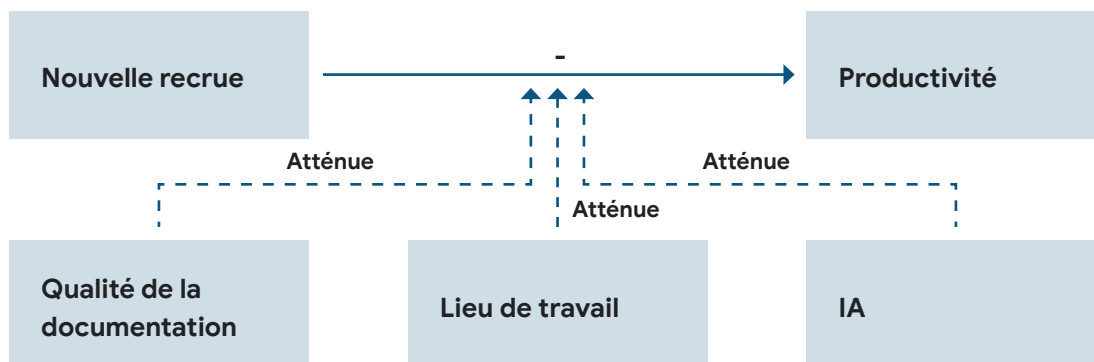
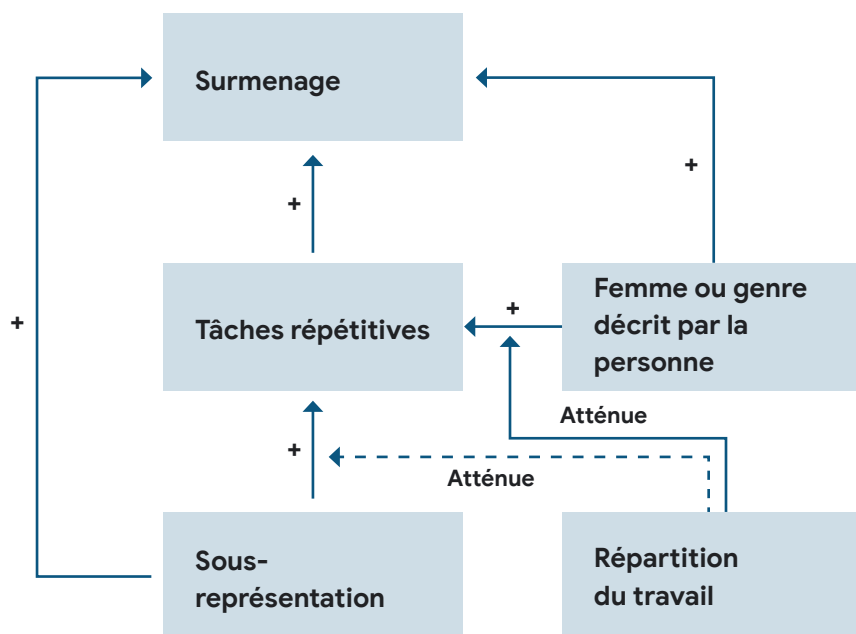
Modèle du chapitre 7 : Tout effort est vain sans investir dans la culture d'entreprise

Ce diagramme montre à quel point la culture est centrale. Nous avons constaté qu'elle possède une relation positive avec les capacités techniques, les résultats clés et le bien-être.



Modèles du chapitre 8 : Votre identité compte, et voici pourquoi

Cette section comprend deux modèles. Le premier explore pourquoi et dans quelles circonstances les personnes qui s'identifient comme sous-représentées et celles qui ne s'identifient pas comme des hommes présentent des niveaux de surmenage plus élevés que les autres. Le second indique si la qualité de la documentation, le lieu de travail et l'IA peuvent aider les nouvelles recrues à gagner en productivité.



Documentation complémentaire

Rejoignez la communauté DORA pour discuter, apprendre et collaborer sur l'amélioration des performances de livraison de logiciels et opérationnelles. [DORA.community](https://dora.dev/community)

Passez l'évaluation DevOps rapide de DORA. <https://dora.dev/quickcheck>

Découvrez les capacités techniques, culturelles et liées aux processus qui permettent d'améliorer les performances organisationnelles et de livraison de logiciels. <https://dora.dev/devops-capabilities/>

Obtenez des ressources sur l'ingénierie SRE. <https://sre.google>
<https://goo.gle/enterprise-roadmap-sre>

Consultez le livre : *Accelerate: The science behind devops: Building and scaling high performing technology organizations*. IT Revolution. <https://itrevolution.com/product/accelerate/>

Découvrez une myriade de métriques adaptées à votre équipe à l'aide du framework SPACE. The SPACE of Developer Productivity: There's more to it than you think. <https://queue.acm.org/detail.cfm?id=3454124>

Diverses recherches ont été menées sur les revues de code modernes. Voici quelques rapports que vous pouvez étudier :

- Expectations, Outcomes, and Challenges of Modern Code Review. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2486788.2486882>

- Code Reviews – From Bottleneck to Superpower. <https://learning.acm.org/techtalks/codereviews>
- Modern Code Review – A Case Study at Google. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3183519.3183525>
- The Choice of Code Review Process: A Survey on the State of the Practice. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-69926-4_9
- Investigating the effectiveness of peer code review in distributed software development based on objective and subjective data. <https://jserd.springeropen.com/articles/10.1186/s40411-018-0058-0>

Consultez le livre : *The No Club: Putting a Stop to Women's Dead-End Work*. Simon & Schuster. <https://www.simonandschuster.com/books/The-No-Club/Linda-Babcock/9781982152338>

Publications du programme de recherche de DORA, notamment les rapports Accelerate sur l'état du DevOps précédents. <https://dora.dev/publications/>

Questions fréquentes sur les recherches menées et les rapports. <http://dora.dev/faq>

Errata : Consultez et soumettez modifications, corrections et clarifications pour ce rapport sur la page <https://dora.dev/publications/errata>

Annexe

Affiner nos mesures des performances de livraison de logiciels

Cette année, nous avons changé notre méthode d'évaluation des échecs de modification et de la récupération après échec.

Nous avons également changé la façon dont les participants signalent le **taux d'échec sur l'implémentation des modifications**. Les années précédentes, six options de réponse étaient proposées (0-15 %, 16-30 %, etc.). Cette année, nous avons fourni un curseur aux participants pour leur permettre de sélectionner n'importe quelle valeur comprise entre 0 et 100 %.

Nous avons procédé à cette modification pour deux raisons :

- Le taux d'échec sur l'implémentation des modifications a toujours présenté un comportement légèrement différent de celui des trois autres mesures de performances de livraison de logiciels¹. Notre théorie est que cela s'explique en partie par la taille des groupements. Des réponses plus précises peuvent générer des statistiques plus fiables. Nous avons pu valider cette théorie.
- Nous avons établi une hypothèse selon laquelle les équipes comprennent plus clairement leur taux d'échec sur l'implémentation des modifications aujourd'hui qu'au début du programme de recherche il y a près de dix ans. Nous n'avons pas véritablement de moyen de valider cette hypothèse.

Cette année, nous avons interrogé les participants par rapport au taux d'échec sur l'implémentation des modifications de deux manières différentes :

- Auparavant, nous posions la question suivante : "En ce qui concerne l'application ou le service principal sur lequel vous travaillez, combien de temps faut-il pour restaurer le service en cas d'incident ou de défaut qui affecte les utilisateurs (par exemple, en cas de panne imprévue ou d'interruption du service) ?"
- Cette année, nous avons ajouté les qualificatifs suivants à la question (les différences sont affichées en gras ici mais pas dans l'enquête) : "En ce qui concerne l'application ou le service principal sur lequel vous travaillez, combien de temps faut-il pour restaurer le service **en cas de service dégradé dû à une modification en production ou une mise à la disposition des utilisateurs (par exemple, interruption ou indisponibilité du service) exigeant une correction (par exemple, application de correctifs, rollback, fix forward, patch) ?**"

¹ Forsgren, N., Humble, J. et Kim, G. *Accelerate: The Science of Lean Software and DevOps: Building and Scaling High Performing Technology Organizations*. IT Revolution Press, 2018, 37–38.

La façon dont nous posions la question sur les délais de récupération auparavant ne permettait pas de faire la distinction entre un échec dû à une modification logicielle et un échec dû à un événement comme un tremblement de terre interrompant le service au niveau du centre de données. Nous pensions qu'une formulation plus précise nous permettrait de comparer les types d'échecs similaires entre eux, et serait mieux alignée statistiquement avec les trois autres mesures de performances de livraison de logiciels.

Nous utilisons désormais l'expression "temps de récupération en cas d'échec de déploiement" pour différencier notre mesure du plus générique "délai de restauration" utilisé par le passé et parfois abrégé en "MTTR" (Mean Time to Repair). Cette abréviation "MTTR" a suscité la confusion dans la communauté : le M remplace-t-il "moyen" ou "médian" ? De plus, les professionnels qui cherchent à en apprendre davantage à partir des échecs, comme en ingénierie de la résilience, considèrent de moins en moins le MTTR comme une mesure fiable pour guider l'apprentissage et l'amélioration².

La question remaniée et la nouvelle métrique de temps de récupération en cas d'échec de déploiement sont plus en phase avec la démarche consistant à mesurer les performances de livraison de logiciels.

² Moving Past Simple Incident Metrics: Courtney Nash on the VOID.
<https://www.infoq.com/articles/incident-metrics-void/>



Les calculs derrière les comparaisons

Tout au long de ce rapport, des statistiques indiquent qu'une mesure plus élevée pour une variable donnée aboutit à des scores N fois supérieurs sur un autre élément. De quoi s'agit-il ? À quoi est-ce lié ? Voici notre recette pour créer ces formules :

1. Créer une formule à partir du modèle évalué à l'aide de techniques de régression tenant compte des biais potentiels :

Bonheur $\sim 5,64 + 0,19 * \text{lumière du soleil} + 0,14 * \text{température}$

2. Pour la variable d'intérêt, par exemple la lumière du soleil, trouver les valeurs extrêmes à comparer :

moyenne = 6,3 ; écart type = 1,4

Lumière du soleil élevée = moyenne + 1 écart type = $6,3 + 1,4 = 7,7$

Lumière du soleil faible = moyenne - 1 écart type = $6,3 - 1,4 = 4,9$

3. Calculer la moyenne des covariables. Dans cet exemple, il s'agirait de la température, qui est égale à 0,24 (température standardisée).
4. Remplir la formule du point 1 pour les valeurs de lumière du soleil la plus élevée et la plus faible. Vous remarquerez qu'un seul nombre est différent dans la formule. Nous procédons ainsi pour que tous les autres paramètres restent égaux et que la différence qui nous intéresse soit isolée.

Bonheur prédit en cas de lumière du soleil élevée = $5,64 + 0,19 * 7,7 + 0,14 * 0,24 = 7,1$

Bonheur prédit en cas de lumière du soleil faible = $5,64 + 0,19 * 4,9 + 0,14 * 0,24 = 6,6$

5. Calculer le ratio :

Bonheur prédit en cas de lumière du soleil élevée $\frac{7,1}{6,6} = 1,1$
Bonheur prédit en cas de lumière du soleil faible

6. Ce ratio suggère qu'un haut niveau de lumière du soleil aboutit à un degré de bonheur 10 % plus fort qu'un niveau faible de lumière du soleil.



Qu'est-ce qu'une "simulation" ?

Il ne s'agit pas d'inventer des données. Nous utilisons les statistiques bayésiennes pour calculer une **probabilité a posteriori**, qui tente de capturer "la fréquence attendue d'apparition de différentes valeurs de paramètre"³. La partie "simulation" s'appuie sur cette probabilité a posteriori plus de 1 000 fois afin d'explorer les valeurs les plus crédibles pour un paramètre (moyenne, coefficient bêta, sigma, intercept, etc.) selon nos données. "Imaginez que la probabilité a posteriori est un regroupement de valeurs de paramètre telles que 0,1, 0,7, 0,5, 1, etc. Dans le regroupement, chaque valeur existe proportionnellement à sa probabilité a posteriori, de sorte que les valeurs proches du pic sont bien plus courantes que celles proches des extrémités"⁴.

Au bout du compte, cela revient à utiliser les simulations pour explorer les interprétations possibles des données et avoir une idée de l'étendue de l'incertitude existante. Chaque simulation peut être

perçue comme une mini-IA qui ne connaît rien d'autre que nos données et quelques règles pour essayer d'apporter une réponse (un paramètre) avec une supposition basée sur toutes ces informations. En répétant le procédé 4 000 fois, vous obtenez les suppositions de 4 000 mini-IA pour un paramètre donné. Vous pouvez en apprendre beaucoup de ces suppositions : quelle est la supposition moyenne, quelles sont les valeurs qui entourent 89 % de ces suppositions, combien de suppositions dépassent un certain seuil, quelle est la variation entre les suppositions, etc. Vous pouvez même vous amuser à combiner les suppositions (simulations) sur de nombreux modèles.

Lorsque nous présentons un graphique avec de nombreuses lignes ou une répartition de valeurs potentielles, nous essayons de vous montrer ce qui est le plus plausible sur la base de nos données, ainsi que l'ampleur de l'incertitude présente.

³ McElreath, Richard. Statistical Rethinking: A Bayesian Course with Examples in R and Stan. Chapman et Hall/CRC, 2018, pg. 50

⁴ McElreath, Richard. Statistical Rethinking: A Bayesian Course with Examples in R and Stan. Chapman et Hall/CRC, 2018, pg. 52

