

Mesure de la performance à une tâche de prise de décision dynamique dans un environnement de micromonde simulé par ordinateur

67^e congrès de l'AMQ

Benoît Béchard et Frédéric Morneau-Guérin

14 octobre 2023

École de psychologie, Université Laval & Département Éducation, Université TÉLUQ

Introduction

“All real-world systems are complex.”

Berndt Brehmer (1940-2014)

Selon Funke (2021), le plus grand défi de notre ère est la **complexité dynamique** qui caractérise le comportement des environnements de décision du monde réel.



Mais d'abord, qu'est-ce que la complexité?

Cette situation est-elle simple, compliquée ou complexe ?



Cette situation est-elle simple, compliquée ou complexe ?



Cette situation est-elle simple, compliquée ou complexe ?



L'exemple de Glouberman et Zimmerman (2002):

<i>Plan IKEA.</i> Simple	<i>Fusée dans l'espace.</i>	<i>Élever un enfant.</i>
Plan essentiel.		
Plan facile à reproduire.		
Expertise utile, mais pas nécessaire.		
Résultats similaires à chaque fois.		
Meilleur plan = meilleur résultat.		

L'exemple de Glouberman et Zimmerman (2002):

<i>Plan IKEA.</i> Simple	<i>Fusée dans l'espace.</i> Complicé	<i>Élever un enfant.</i>
Plan essentiel.	Formules critiques.	
Plan facile à reproduire.	Expérience améliore capacité de réalisation.	
Expertise utile, mais pas nécessaire.	Haut niveau d'expertise requis.	
Résultats similaires à chaque fois.	Résultats comparables à plusieurs égards.	
Meilleur plan = meilleur résultat.	Réussite élevée lorsque problèmes initiaux résolus.	

L'exemple de Glouberman et Zimmerman (2002):

<i>Plan IKEA.</i> Simple	<i>Fusée dans l'espace.</i> Compliqué	<i>Élever un enfant.</i> Complexe
Plan essentiel.	Formules critiques.	Plan/Formule peu d'impact.
Plan facile à reproduire.	Expérience améliore capacité de réalisation.	Expérience \neq assurance de succès avec autre enfant.
Expertise utile, mais pas nécessaire.	Haut niveau d'expertise requis.	Expertise contribue, mais pas nécessaire, ni suffisante.
Résultats similaires à chaque fois.	Résultats comparables à plusieurs égards.	Chaque résultat est unique.
Meilleur plan = meilleur résultat.	Réussite élevée lorsque problèmes initiaux résolus.	Probabilité de résultats incertains demeure.

Les auteurs s'entendent généralement sur un ensemble de caractéristiques communes définissant les environnements complexes (p. ex., Funke, Fisher et Holt, 2018; Osman, 2010; Sterman, 2001).

- **Complexité** (existence d'un grand nombre de facteurs);
- **Connectivité** (dépendance mutuelle entre ces facteurs);
- **Dynamisme** (évolution imprévisible de ceux-ci dans le temps et l'espace);
- **Opacité** (accessibilité relative à l'information pertinente);
- **Polytely** (existence d'objectifs contradictoires dans l'environnement).



Étudier la prise de décision dynamique dans les environnements du monde réel pose des défis considérables, voire insurmontables. Pourquoi ?

- Absence de contrôle du niveau de complexité;
- Impossibilité de tester l'impact de certaines décisions.



Simulation par micromonde

- Environnement de simulation ouvert permettant l'essai-erreur;
- Permet de configurer des tâches pour la recherche sur les processus cognitifs;
- Favorise l'immersion par l'entremise d'un scénario réaliste et ludique;
- Suscite la motivation par des mécaniques de jeu engageantes.

Plusieurs jeux de simulation satisfont ces critères.





Investment Govern Options Functions Areas Quit

Round 1 8 Activity points

Invest your activity points into the key areas by clicking onto the + or - signs

Start

07:54

Evacuate municipality

Scenario Options

the streets - in another municipality - a dike started to leak water. Water is a electric. Consequences are that some of the main roads will be flooded. Is used by your municipality. When the time comes to evacuate your roads will not be accessible, therefore increasing the time needed to your municipality.

to evacuate the entire municipality?

Decision

Emergency Yes No

Evacuate

POLLS

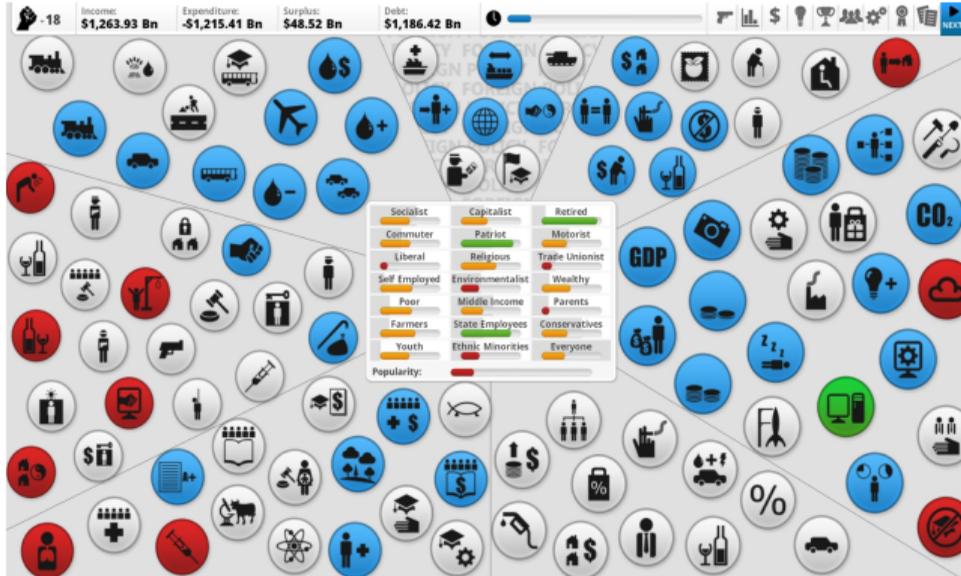
Y a-t-il autre chose à ajouter ?

Pour étudier la prise de décision dynamique, le micromonde doit aussi:

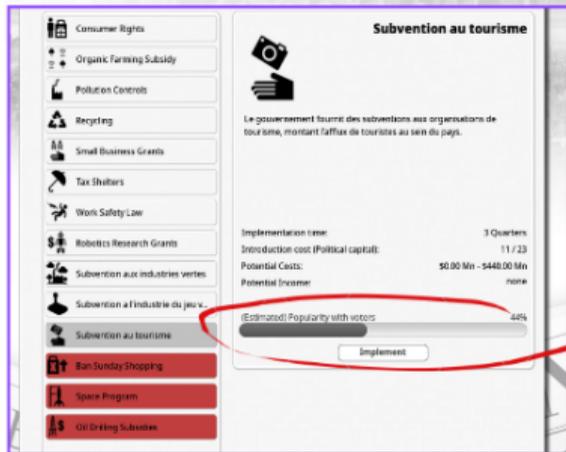
- Capturer les propriétés de la complexité du monde réel;
 - Validité écologique et externe;
- Offrir un système de pointage en situation de jeu;
 - Mesure de la performance qui tient compte de la *polytely* (c.-à-d., l'attribut qui concerne l'exécution de la tâche).

Democracy 3

“All political careers end in failure.”



Capture de la complexité



ACCÈS AUX DONNÉES SUR LES
EFFETS DES DÉCISIONS



OBJECTIFS CONTRADICTOIRES

Capture de la complexité

Propriétés	<i>MicroDYN</i>	<i>Tailorshop</i>	Democracy 3
Nombre de variables (complexité)	Faible	Élevé	Élevé
Interconnectivité	Faible dans la plupart des cas	Modéré	Élevé
Dynamisme	Faible	Modéré	Élevé
Accès aux données sur les effets des décisions (Opacité)	Disponible uniquement dans la phase d'acquisition des connaissances	Disponible	Partielle
Objectifs contradictoires (Polytely)	Pas d'objectif contradictoire	Objectifs contradictoires	Objectifs contradictoires



Maintenant, comment mesurer la performance à une tâche de décision dynamique en tenant compte de la complexité ?

Développement

Besoin : Pouvoir comparer la performance globale de candidats.

Moyen : Indicateur de performance relatif;

$$F : \begin{array}{l} [0, 1] \times (-\infty, \infty) \times \{\text{battu, réélu}\} \\ (x, y, z) \end{array} \begin{array}{l} \longrightarrow \\ \mapsto \end{array} \begin{array}{l} [0, \infty) \\ \text{Score de performance} \end{array}$$

Contrainte : Doit vérifier certains comportements (*ceteris paribus*).

Indicateur de performance :

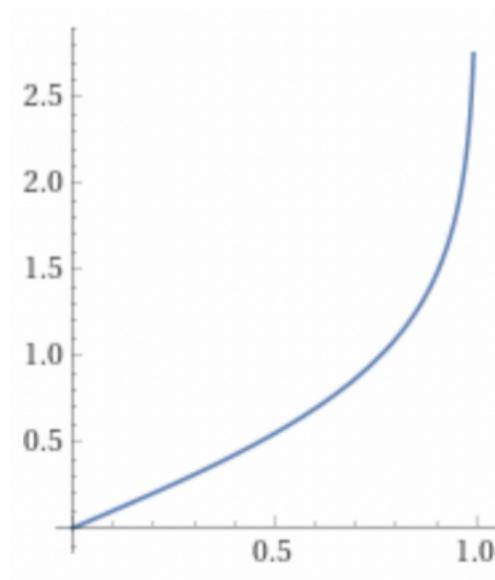
$$F(x, y, z) := \sqrt[3]{P(x)B(y)S(z)},$$

où

1. $P(x)$ modélise la performance en fonction du pourcentage des suffrages recueillis $\in [0, 1]$.
2. $B(y)$ modélise la performance en fonction du solde budgétaire $\in (-\infty, \infty)$.
3. $S(z)$ modélise la performance en fonction du statut post-électoral $\in \{\text{battu, réélu}\}$.

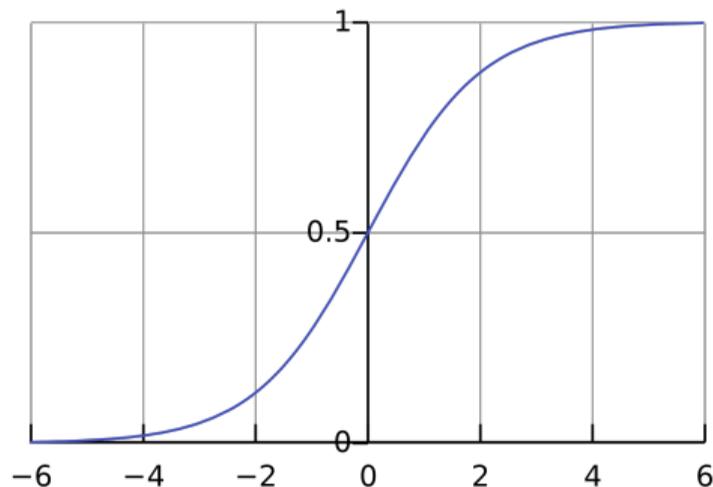
Fonction *pourcentage des suffrages recueillis* :

$$P: [0, 1) \longrightarrow [0, \infty)$$
$$x \longmapsto \operatorname{arctanh}(x)$$



Fonction solde budgétaire :

$$B : (-\infty, \infty) \longrightarrow (0, 1)$$
$$y \quad \longmapsto \quad \frac{1}{1+\exp(-y)}$$



Fonction *statut post-électoral* :

$$S : \{\text{battu, réélu}\} \longrightarrow [0, 1]$$
$$z \longmapsto \begin{cases} m, & \text{si } z = \text{battu,} \\ 1, & \text{si } z = \text{réélu,} \end{cases}$$

où $m < 1$.

Récapitulatif.

$$F(x, y, z) := \sqrt[3]{B(x)P(y)S(z)},$$

où

1. $P(x) := \operatorname{arctanh}(x)$;
2. $B(y) := \frac{1}{1+\exp(-y)}$;
3. $S(z) := \begin{cases} m, & \text{si } z = \text{battu,} \\ 1, & \text{si } z = \text{réélu,} \end{cases} \quad \text{où } m < 1.$

Principaux problèmes à régler:

1. $P(x)$, qui est non-bornée, risque de masquer l'impact de $B(y)$ et $S(z)$.

Principaux problèmes à régler:

1. $P(x)$, qui est non-bornée, risque de masquer l'impact de $B(y)$ et $S(z)$.
2. $B(y)$ tend possiblement vers ses valeurs extrémales trop rapidement.

Principaux problèmes à régler:

1. $P(x)$, qui est non-bornée, risque de masquer l'impact de $B(y)$ et $S(z)$.
2. $B(y)$ tend possiblement vers ses valeurs extrémales trop rapidement.
3. Le malus $m < 1$ dans $S(z)$ est complètement arbitraire.

Principaux problèmes à régler:

1. $P(x)$, qui est non-bornée, risque de masquer l'impact de $B(y)$ et $S(z)$.
2. $B(y)$ tend possiblement vers ses valeurs extrémales trop rapidement.
3. Le malus $m < 1$ dans $S(z)$ est complètement arbitraire.
4. Il n'y a aucun critère évident permettant d'identifier les performances aberrantes.

Objectifs:

1. Ajuster la fonction $P(x)$ afin qu'elle retourne – sur le domaine des x plausibles – des valeurs dans un intervalle judicieusement choisi.
2. $B(y)$ tend possiblement vers ses valeurs extrémales trop rapidement.
3. Le malus $m < 1$ dans $S(z)$ est complètement arbitraire.
4. Il n'y a aucun critère évident permettant d'identifier les performances aberrantes.

Objectifs:

1. Ajuster la fonction $P(x)$ afin qu'elle retourne – sur le domaine des x plausibles – des valeurs dans un intervalle judicieusement choisi.
2. Adoucir la pente de la fonction $B(y)$ d'une façon cohérente.
3. Le malus $m < 1$ dans $S(z)$ est complètement arbitraire.
4. Il n'y a aucun critère évident permettant d'identifier les performances aberrantes.

Objectifs:

1. Ajuster la fonction $P(x)$ afin qu'elle retourne – sur le domaine des x plausibles – des valeurs dans un intervalle judicieusement choisi.
2. Adoucir la pente de la fonction $B(y)$ d'une façon cohérente.
3. Fixer le malus $S(z)$ de façon moins arbitraire.
4. Il n'y a aucun critère évident permettant d'identifier les performances aberrantes.

Objectifs:

1. Ajuster la fonction $P(x)$ afin qu'elle retourne – sur le domaine des x plausibles – des valeurs dans un intervalle judicieusement choisi.
2. Adoucir la pente de la fonction $B(y)$ d'une façon cohérente.
3. Fixer le malus $S(z)$ de façon moins arbitraire.
4. Veiller à ce que les résultats non aberrants se situent tous dans un intervalle donné.

Comment réaliser l'objectif suivant ?

Veiller à ce que les résultats non aberrants se situent tous dans un intervalle donné.

1. Introduire un paramètre dans la définition de $P(x)$ et l'ajuster de sorte que tout pourcentage des suffrages recueillis jugé *non aberrant* retourne une valeur entre 0 et 2. (**possible, mais subtil**)
2. Introduire un paramètre dans la définition de $B(y)$ faisant en sorte que tout solde budgétaire retourne une valeur entre 0 et 2. (**facile**)

Ce faisant, la fonction $F(x, y, z) := \sqrt[3]{P(x)B(y)S(z)}$ prendra des valeurs dans l'intervalle $[0, 2]$ pour tout triplet (x, y, z) ne contenant aucune valeur aberrante.

Mise en application de la solution :

$$F(x, y, z) := \sqrt[3]{B(x)P(y)S(z)},$$

où

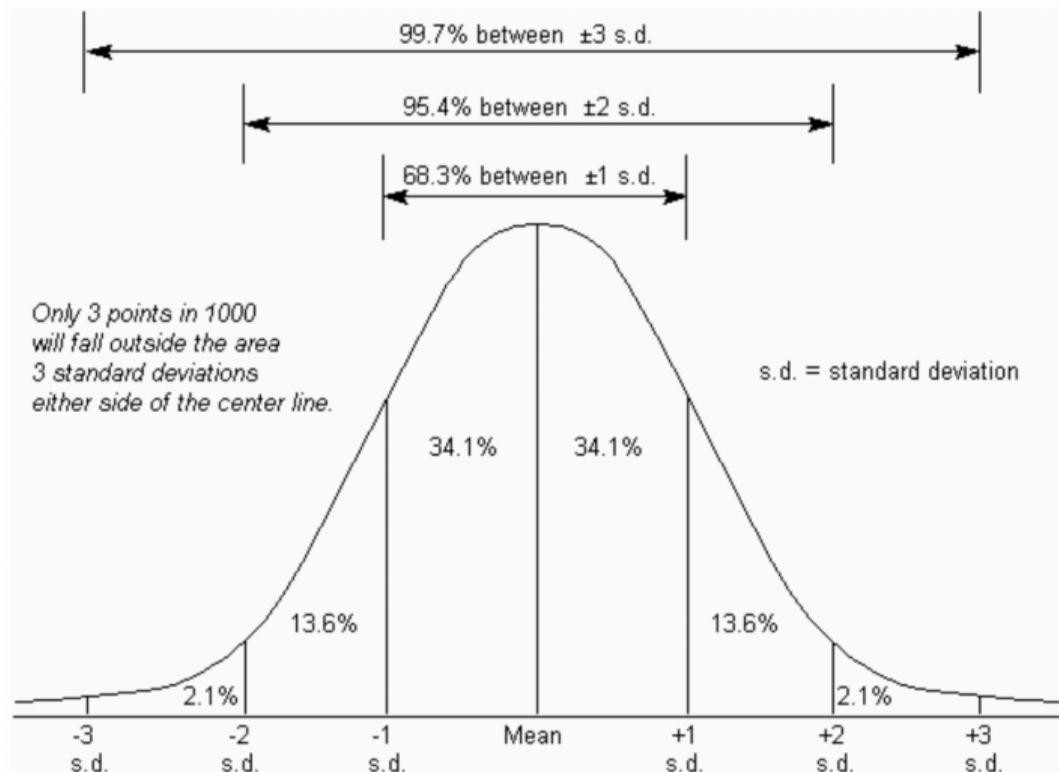
1. $P(x) := c \cdot \operatorname{arctanh}(x)$;
2. $B(y) := \frac{2}{1+\exp(-y)}$;
3. $S(z) := \begin{cases} m, & \text{si } z = \text{battu,} \\ 1, & \text{si } z = \text{réélu,} \end{cases} \quad \text{où } m < 1.$

Comment réaliser l'objectif suivant ?

Ajuster la fonction $P(x)$ afin qu'elle retourne – sur le domaine des x plausibles – des valeurs dans un intervalle judicieusement choisi.

- Fixer c de sorte que $P(\mu(x) + 3\sigma(x)) = 2$.

Digression statistique :

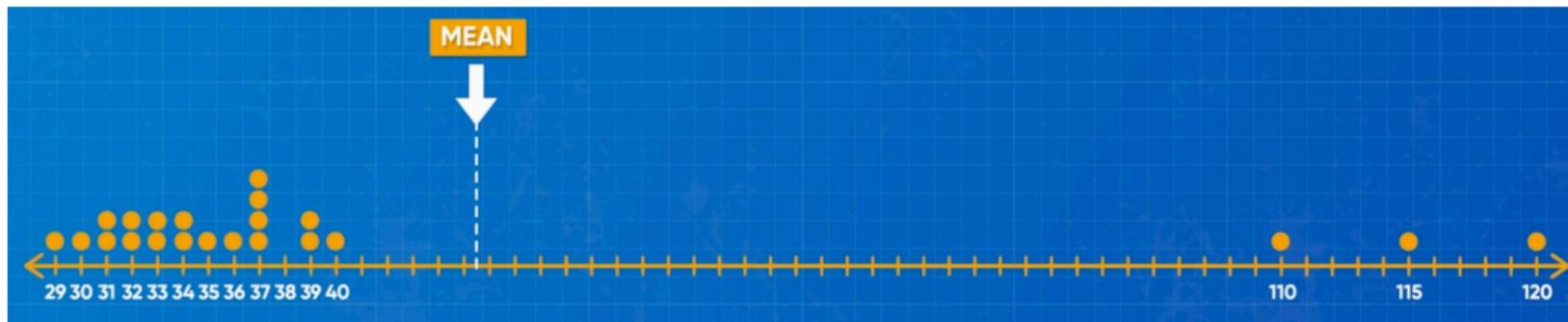


Digression statistique :



La moyenne est sensible aux résultats aberrants.

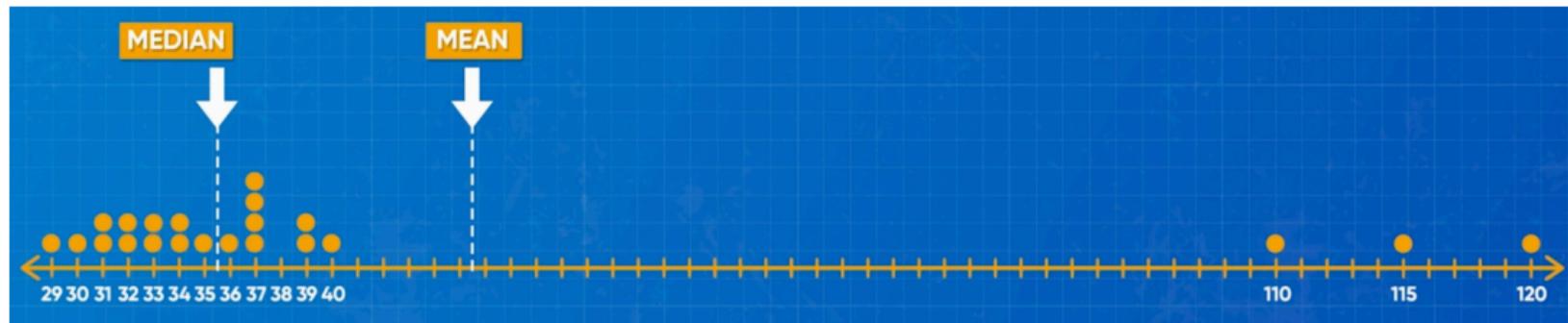
Digression statistique :



La moyenne est sensible aux résultats aberrants... et conséquemment l'écart-type l'est aussi.

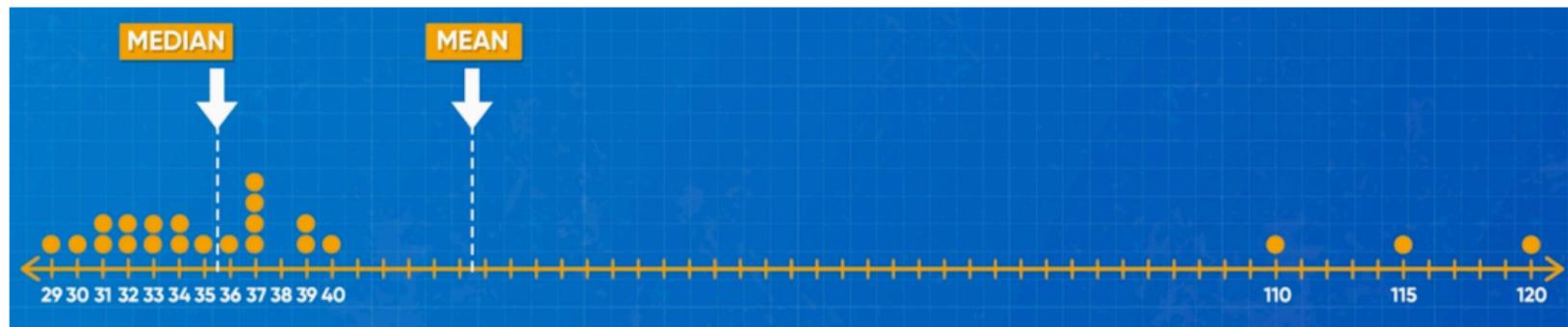
$$\sigma(x) := \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu(x))^2}.$$

Digression statistique :



La médiane l'est beaucoup moins.

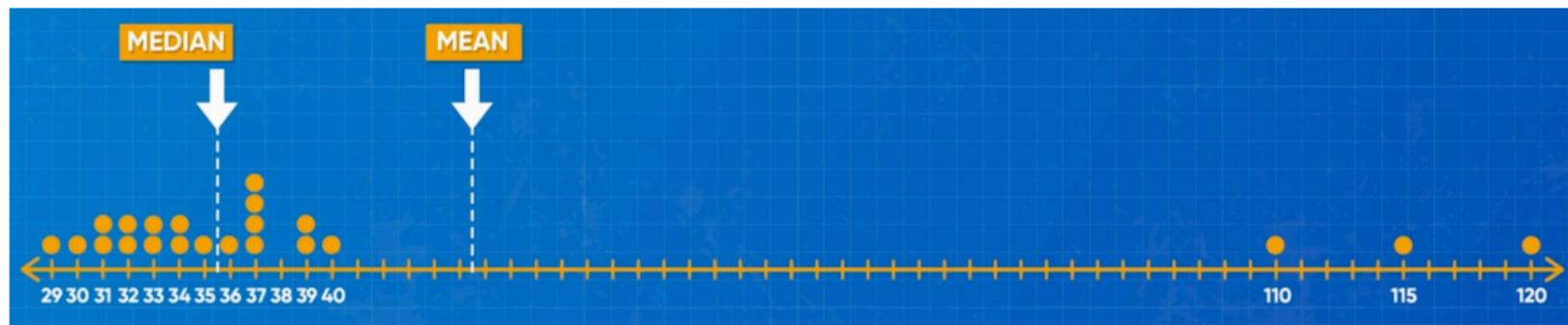
Digression statistique :



La médiane l'est beaucoup moins... et conséquemment la *distribution absolue médiane* l'est moins elle aussi.

$$\text{MAD}_\nu := \nu \left\{ |x_i - \nu(x)| : i = 1, \dots, n \right\}.$$

Digression statistique :

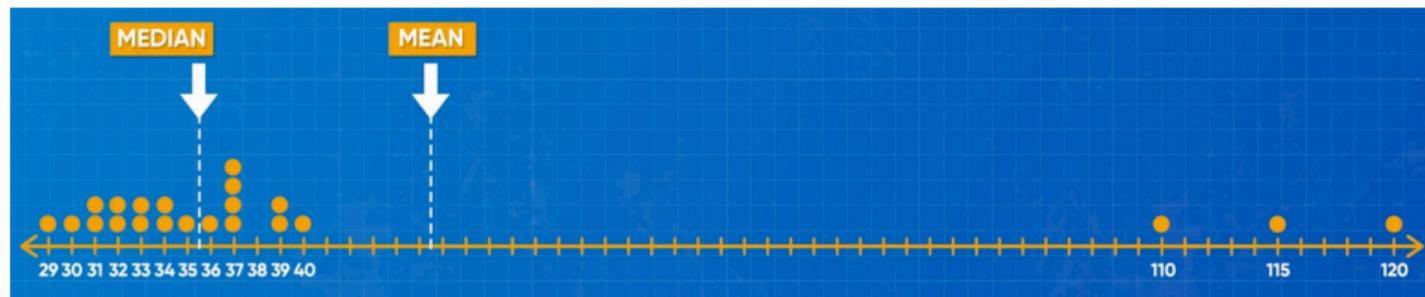


Ex : 29, 30, 31, 31, 32, 32, 33, 33, 34, 34, 35, 36, 37, 37, 37, 37, 39, 39, 40, 110, 115, 120

$$\mu = 45.5 \quad \& \quad \sigma = 27.8,$$

$$\nu = 35.5 \quad \& \quad \text{MAD}_\nu = 3.5.$$

Digression statistique :



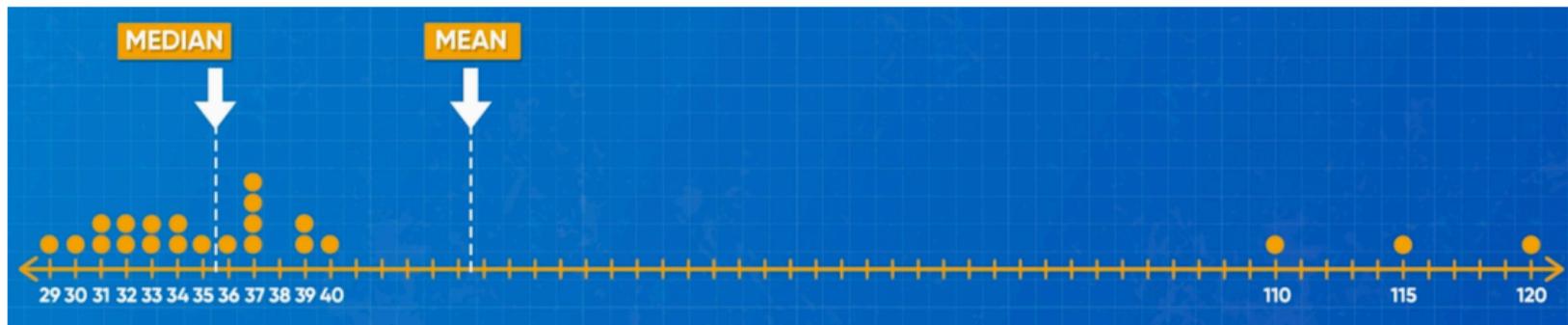
$$\mu = 45.5 \quad \& \quad \sigma = 27.8,$$

$$\nu = 35.5 \quad \& \quad \text{MAD}_\nu = 3.5.$$

$$\mu - \sigma = 17.7 \quad \& \quad \mu + \sigma = 73.3,$$

$$\nu - \text{MAD}_\nu = 32 \quad \& \quad \nu + \text{MAD}_\nu = 39.$$

Digression statistique :



$$\mu = 45.5 \quad \& \quad \sigma = 27.8,$$

$$\nu = 35.5 \quad \& \quad \text{MAD}_\nu = 3.5.$$

$$\mu - \sigma = 17.7 \quad \& \quad \mu + \sigma = 73.3,$$

$$\nu - \text{MAD}_\nu = 32 \quad \& \quad \nu + \text{MAD}_\nu = 39,$$

$$\nu - 3\text{MAD}_\nu = 25 \quad \& \quad \nu + 3\text{MAD}_\nu = 46.$$

Comment réaliser l'objectif suivant ?

Ajuster la fonction $P(x)$ afin qu'elle retourne – sur le domaine des x plausibles – des valeurs dans un intervalle judicieusement choisi.

- Fixer c de sorte que $P(\mu(x) + 3\sigma(x)) = 2$.

Mise en application de la solution :

Posons $\tilde{x} := \nu(x) + 3\text{MAD}_\nu(x)$. Alors,

$$\begin{aligned} P(\tilde{x}) = 2 &\iff c \cdot \text{arctanh}(\tilde{x}) = 2 \\ &\iff c = \frac{2}{\text{arctanh}(\tilde{x})}. \end{aligned}$$

Comment réaliser l'objectif suivant ?

Adoucir la pente de la fonction $B(y)$ d'une façon cohérente.

- Ajouter un paramètre a dans la définition de $B(y)$:

$$B(y) := \frac{2}{1 + \exp(-ky)}$$

- Fixer a de sorte que $B(y)$ retourne des valeurs *du même ordre de grandeur* que les valeurs de $P(x)$ pour les petites valeurs non aberrantes de y .

Mise en application de la solution :

Posons $\tilde{x} := \nu(x) - 1.5\text{MAD}_\nu(x)$ et $\tilde{y} := \nu(y) - 1.5\text{MAD}_\nu(y)$. On veut que $B(\tilde{y}) = P(\tilde{x})$.

$$\begin{aligned} B(\tilde{y}) = P(\tilde{x}) &\iff \frac{2}{1 + \exp(-k\tilde{y})} = P(\tilde{x}) \\ &\iff \frac{2}{P(\tilde{x})} = 1 + \exp(-k\tilde{y}) \\ &\iff \frac{2}{P(\tilde{x})} - 1 = \exp(-k\tilde{y}) \\ &\iff \log\left(\frac{2}{P(\tilde{x})} - 1\right) = -k\tilde{y} \\ &\iff k = -\frac{1}{\tilde{y}} \log\left(\frac{2}{P(\tilde{x})} - 1\right). \end{aligned}$$

Comment réaliser l'objectif suivant ?

Fixer le malus $S(z)$ de façon moins arbitraire.

- Fixer le malus de sorte à ce qu'un candidat ayant *sur-performé* mais ayant été battu voit son indice de performance descendre au niveau de celui d'un candidat ayant *sous-performé* mais ayant été réélu.
- Reste ensuite à préciser ce qu'on entend par *sur-performer* et *sous-performer*.

Mise en application de la solution :

$$F\left(\mu(x) + \frac{1}{4}\text{MAD}_\nu(x), \nu(y) + \frac{1}{4}\text{MAD}_\nu(y), 0\right) = F\left(\mu(x) - \frac{1}{4}\text{MAD}_\nu(x), \nu(y) - \frac{1}{4}\text{MAD}_\nu(y), 1\right).$$

Conclusion

Récapitulatif final.

$$F(x, y, z) := \sqrt[3]{P(x)B(y)S(z)},$$

où

1. $P(x) := c \cdot \operatorname{arctanh}(x)$;
2. $B(y) := \frac{2}{1+\exp(-ky)}$;
3. $S(z) := \begin{cases} m, & \text{si } z = \text{battu,} \\ 1, & \text{si } z = \text{réélu,} \end{cases}$

où les valeurs de k , c et m sont déterminées de la façon décrite précédemment.

D3 peut être utilisé pour étudier la prise de décision dynamique dans des environnements complexes:

1. Environnement ouvert permettant l'essai-erreur;
2. Permet la configuration de tâches pour la recherche en cognition;
3. Favorise l'immersion par un scénario réaliste;
4. Suscite la motivation à accomplir la tâche;
5. Environnement valide sur le plan écologique et externe;
6. **Offre un système de pointage complet en situation de jeu...**



...qui permet de développer un indicateur de performance tenant compte de la nécessité de tenter de concilier des objectifs contradictoires.

MERCI !

DES QUESTIONS?