Etude de l'influence des facteurs psychologiques sur les mouvements de foule: exemple d'extension du modèle de force sociale.

Mehdi BERRADA

Épreuve de TIPE

Session 2023

Tables des matières

1. Introduction
2. Représentation des individus
3. Présentation du modèle
4. Extension du modèle
5. Simulation et Comparaison
6. Conclusion
7. Annexe

Introduction

Ancrage du sujet

- Estimer le temps d'évacuation d'une pièce en cas d'urgence ;
- Assurer la sécurité des piétons et éviter les bousculades.

Introduction

Ancrage du sujet

- Estimer le temps d'évacuation d'une pièce en cas d'urgence ;
- Assurer la sécurité des piétons et éviter les bousculades.

Introduction

Ancrage du sujet

- Estimer le temps d'évacuation d'une pièce en cas d'urgence ;
- Assurer la sécurité des piétons et éviter les bousculades.

Figure – 15/04/1989 , Sheffield, Angleterre

Introduction

Histoire du modèle des forces sociales

- Le « modèle des forces sociales » doit son apparition à Dirk Helbing, professeur de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich.

Introduction

Histoire du modèle des forces sociales

- Le « modèle des forces sociales » doit son apparition à Dirk Helbing, professeur de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich.

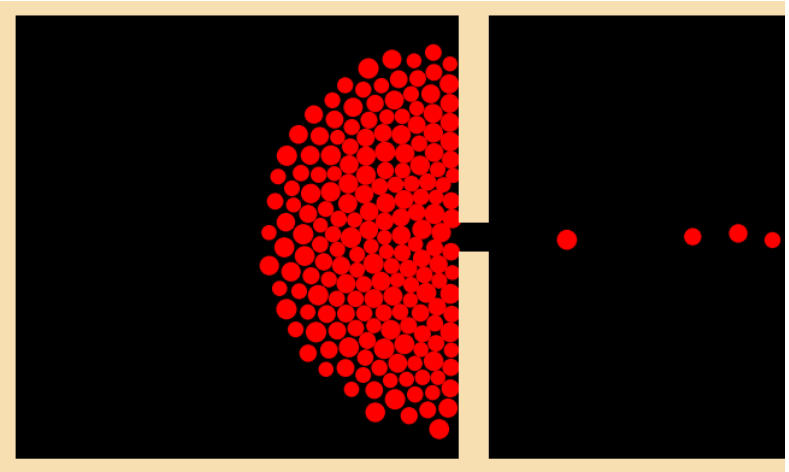

Figure – Représentation du modèle d'Helbing

Représentation des individus

Représentation Lagrangienne

- Le modèle des forces sociales repose sur une description dite Lagrangienne des piétons.

Représentation des individus

Représentation Lagrangienne

- Le modèle des forces sociales repose sur une description dite Lagrangienne des piétons.

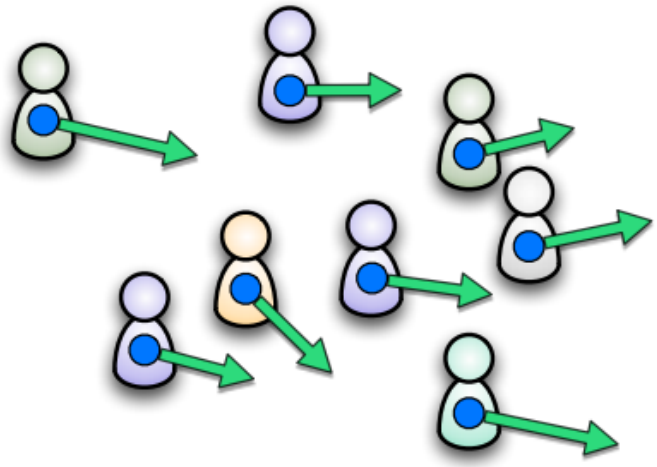

Figure – Représentation Lagrangienne

Représentation des individus

Représentation Eulérienne

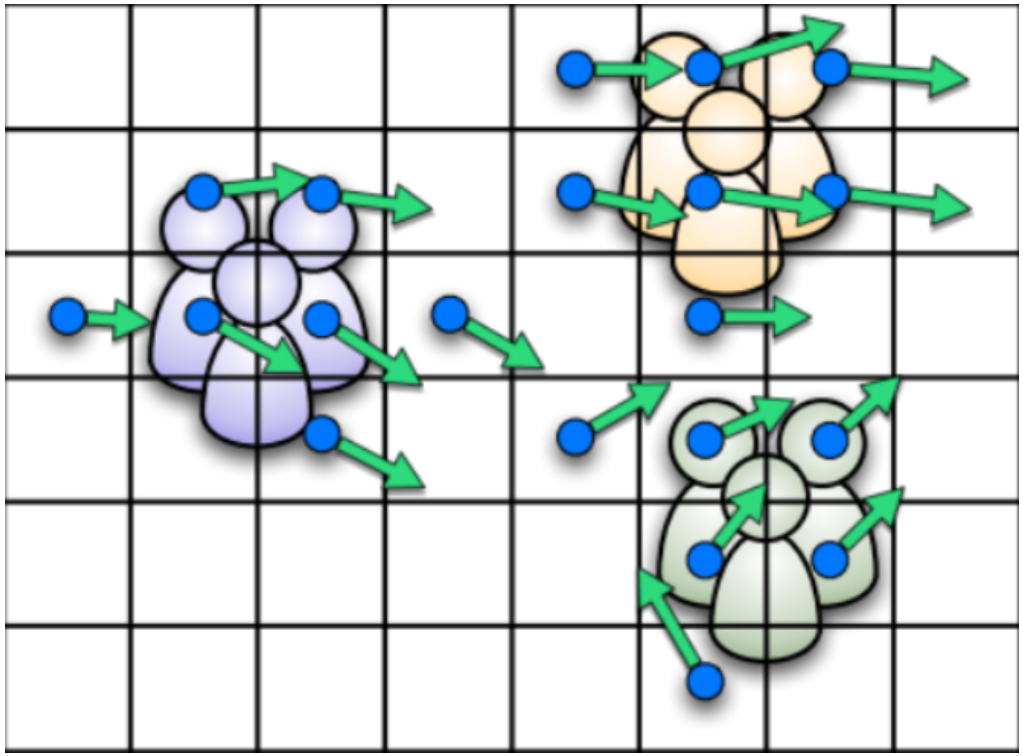

Figure – Représentation Eulérienne

Modèle des forces sociales

Généralités

- Le mouvement de chaque piéton i de masse m_i est régi par un ensemble de forces physiques et socio-psychologiques qui modifient son comportement au sein de la foule.

Modèle des forces sociales

Généralités

- Chaque piéton i désire avancer à une certaine vitesse v_i^0 selon une direction $\vec{e_i^0}$.
- Chaque piéton i désire garder une certaine distance de "confort psychique et physique" par rapport aux obstacles et aux autres piétons j.

Modèle des forces sociales

Généralités

- Chaque piéton i désire avancer à une certaine vitesse v_i^0 selon une direction $\vec{e_i^0}$.
- Chaque piéton i désire garder une certaine distance de "confort psychique et physique" par rapport aux obstacles et aux autres piétons j.

Modèle des forces sociales

Force d'attraction

- La force d'attraction modélise la motivation du piéton i ; ce qui le pousse à vouloir avancer. Elle s'exprime par :

$$\vec{F_{mot}^{i}} = m_i \frac{v_i^0(t)\vec{e_i^0}(t) - \vec{v_i}(t)}{\underbrace{\tau_i}_{\text{Temps caractéristique}}}$$

Modèle des forces sociales

Force de répulsion

- La tendance psychologique de deux piétons i et j à vouloir rester distants l'un de l'autre s'exprime par la force d'interaction répulsive :

$$\vec{F_{ij}^{i}} = exp(-\frac{d_{ij}}{B_i})\vec{n_{ij}}$$

Modèle des forces sociales

Force de répulsion

- $d_{ij} = |\vec{r_i}(t) - \vec{r_j}(t)|$: la distance entre les centres de i et j
- B_i : une constante qui représente la distance par rapport à j à partir de laquelle i ne "se sent plus à l'aise"
- $\vec{n_{ij}} = \frac{\vec{r_j}(t) - \vec{r_i}(t)}{d_{ij}}$: le vecteur unitaire allant de j vers i

Modèle des forces sociales

Force de répulsion

- $d_{ij} = |\vec{r_i}(t) - \vec{r_j}(t)|$: la distance entre les centres de i et j
- B_i : une constante qui représente la distance par rapport à j à partir de laquelle i ne "se sent plus à l'aise"
- $\vec{n_{ij}} = \frac{\vec{r_j}(t) - \vec{r_i}(t)}{d_{ij}}$: le vecteur unitaire allant de j vers i

Modèle des forces sociales

Force de répulsion

- $d_{ij} = |\vec{r_i}(t) - \vec{r_j}(t)|$: la distance entre les centres de i et j
- B_i : une constante qui représente la distance par rapport à j à partir de laquelle i ne "se sent plus à l'aise"
- $\vec{n_{ij}} = \frac{\vec{r_j}(t) - \vec{r_i}(t)}{d_{ij}}$: le vecteur unitaire allant de j vers i

Modèle des forces sociales

Force de répulsion

- La force de répulsion exercée par un obstacle sur le piéton i est définie de manière analogue par :

$$\vec{F_o^i} = exp(-\frac{d_o^i}{\underbrace{B_i}_{\text{Distance de Confort}}})\vec{n_o^i}$$

Modèle des forces sociales

Force de répulsion

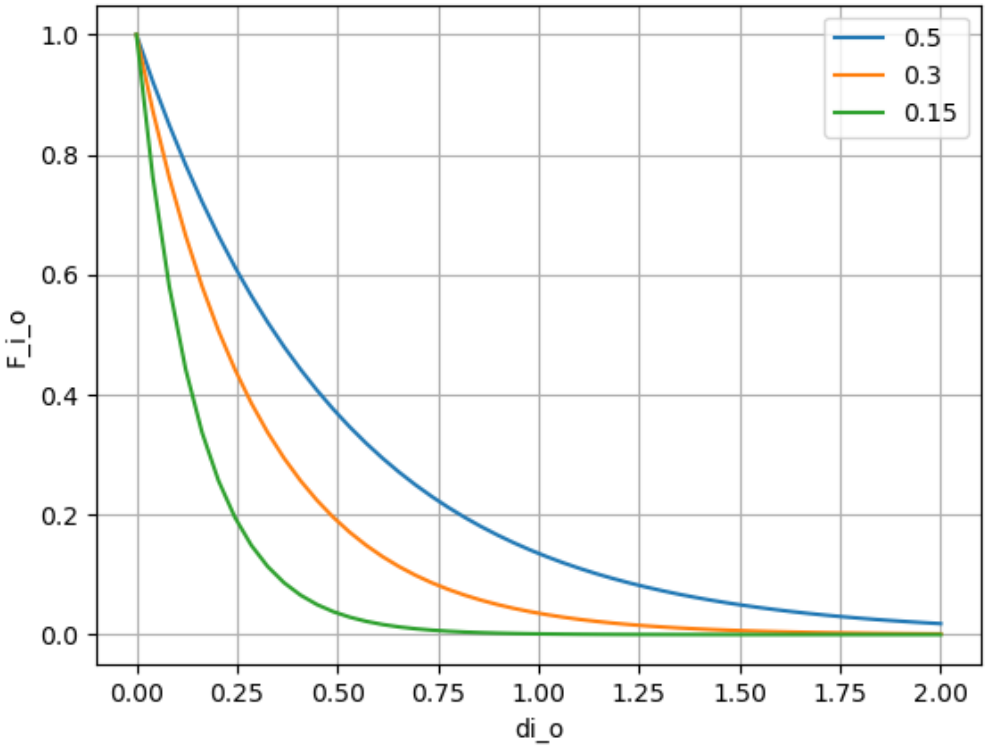

Figure – La force de répulsion pour différentes valeurs de Bi

Modèle des forces sociales

Force de répulsion

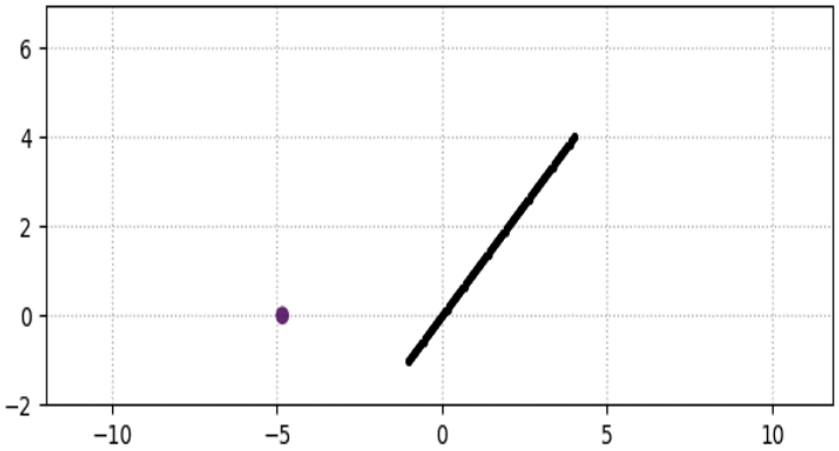

Figure – Piéton avant l'obstacle

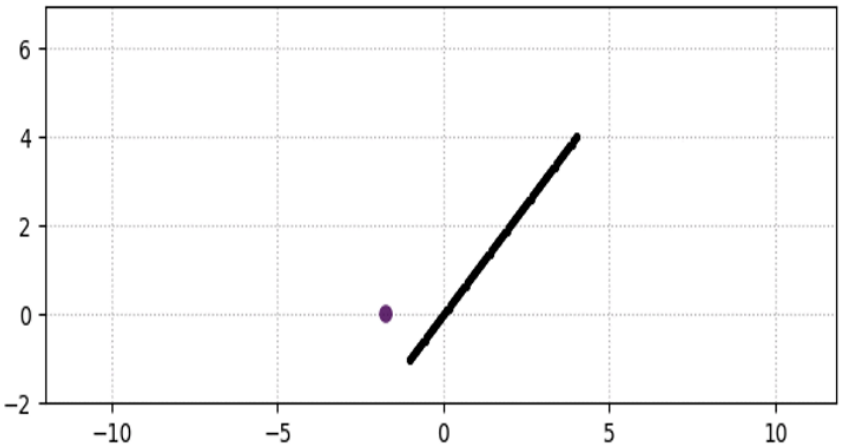

Figure – Au niveau de l'obstacle

Modèle des forces sociales

Force de répulsion

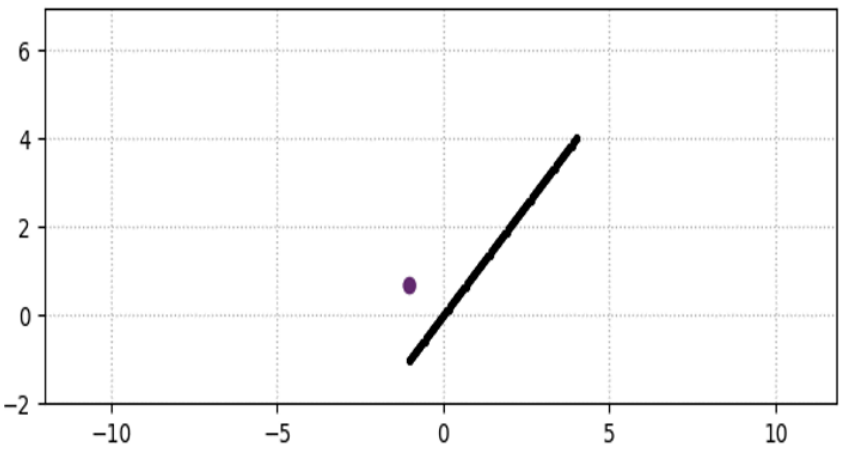

Figure – Face à l'obstacle

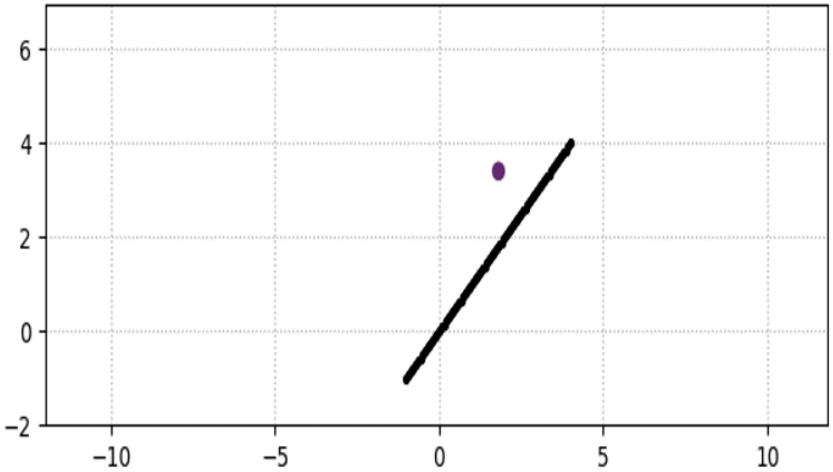

Figure – Vers la fin de l'obstacle

Modèle des forces sociales

Force de répulsion

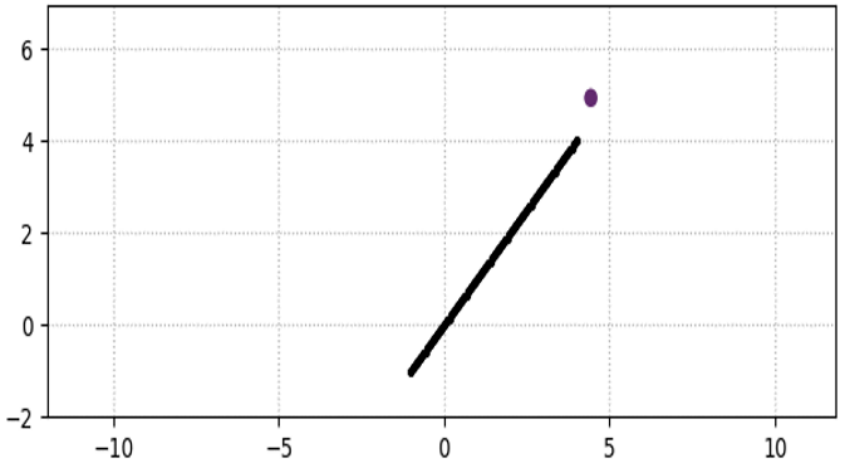

Figure – A la sortie de l'obstacle

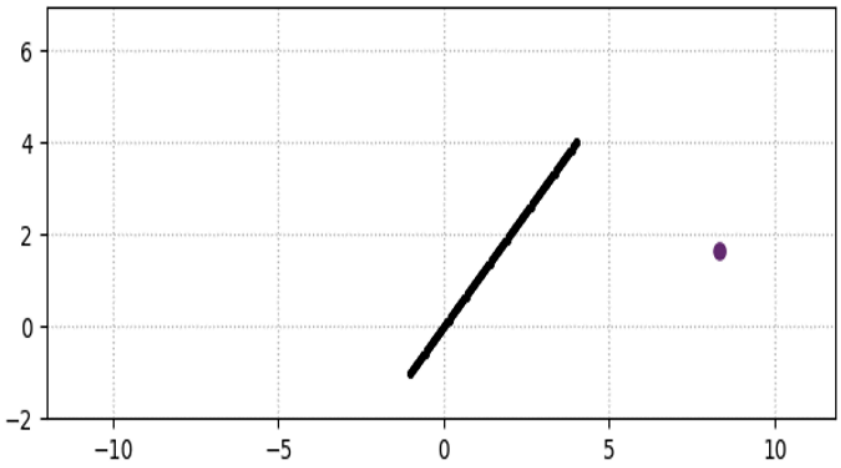

Figure – Direction privilégiée

Modèle des forces sociales

Conclusion

- L'application du PFD au piéton i donne :

$$m_i \frac{d\vec{v_i}(t)}{dt} = \vec{F_{mot}^i} + \sum_{j \neq i} \vec{F_{ij}^i} + \sum_{\Omega} \vec{F_o^i}$$

Où Ω désigne l'ensemble fini d'obstacles dans la pièce considérée

Extension du modèle

Force de groupe

- *Motivation :*

  Modéliser, par une force supplémentaire, la tendance d'un individu à rejoindre un groupe de personnes plutôt que d'avancer seul. (Résultat admis, prouvé par des théories de psychologie sociale)

Extension du modèle

Force de groupe

- *Hypothèse :*

  Les piétons ajustent leur position de façon à ce que les échanges verbal et visuel soient facilités tout en évitant les collisions avec les autres personnes.

Extension du modèle

Force de groupe

- *Formalisme :*
  On définit, pour un piéton i et un groupe de n piétons :
  1. Le vecteur champ de vision $\vec{H}_i$,
  2. Le point ci, centre de masse de l'ensemble des autres piétons du groupe,
  3. L'angle α_i duquel il doit tourner sa tête pour que ci soit inclus dans son champ de vision.

Extension du modèle

Force de groupe

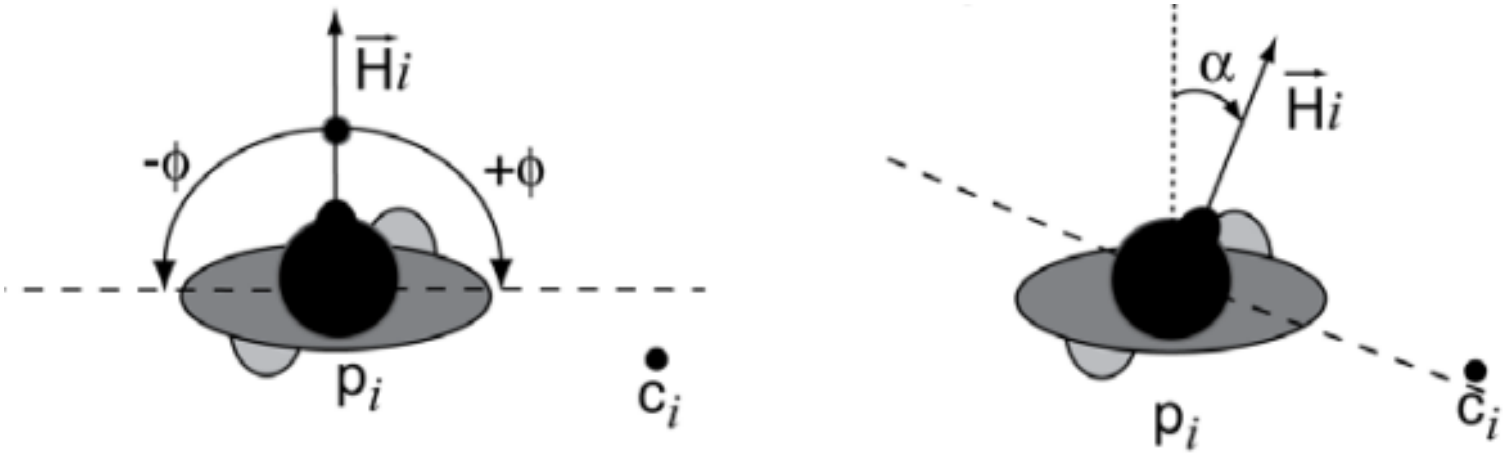

Figure – Schéma de principe

Extension du modèle

Force de groupe de vision

Plus α_i augmente, moins le piéton i est confortable. On admet que i ajuste sa position pour réduire α_i. Ces observations sont modélisées par la force suivante :

$$\vec{F_{vis}^{i}} = -\beta_{vis}\alpha_i\vec{v_i}$$

Où β_{vis} est un paramètre quantifiant l'amplitude de l'interaction visuelle entre i et les autres membres.

Extension du modèle

Force de groupe de vision

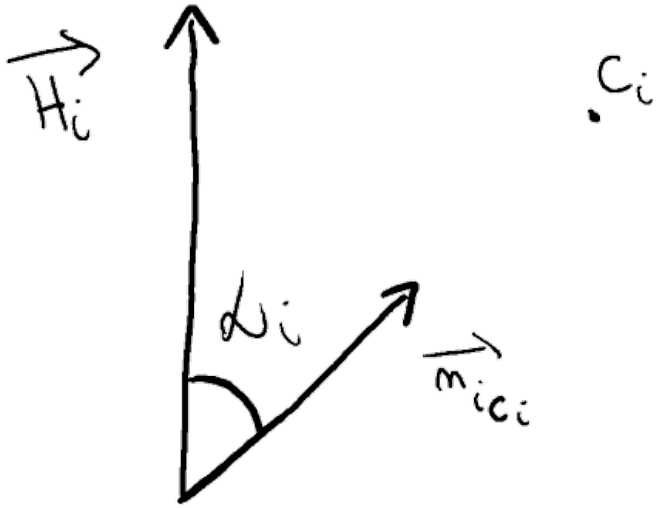

Figure – Piéton i par rapport à ci

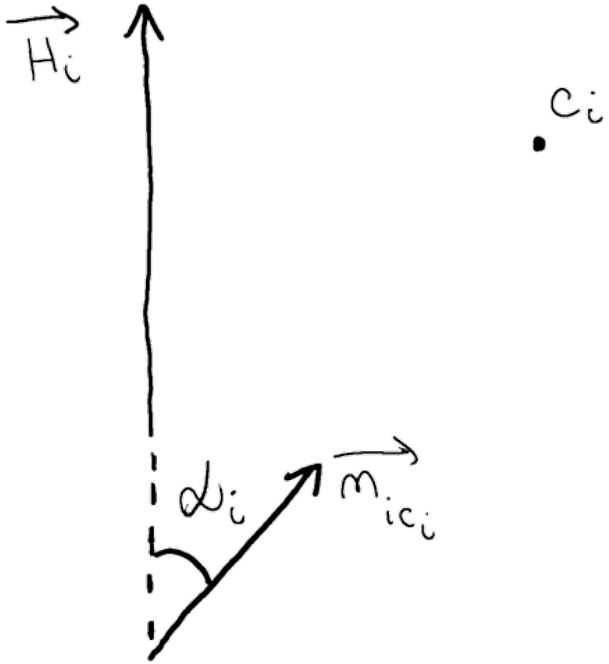

Figure – Effet de la force de vision

Extension du modèle

Force de groupe d'attraction

On définit aussi un terme d'attraction modélisant l'envie que ressent i de rejoindre le point ci.

$$\vec{F_{att}^{i}} = \delta_{att} \underbrace{\beta_{att}}_{\text{Amplitude}} \vec{n_{ic^i}}$$

Avec

$$\delta_{att} = \begin{cases} 1, & \text{si } i \text{ est assez éloigné de c}i \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

Extension du modèle

Force de groupe de répulsion

On ajoute enfin un terme de répulsion pour que les membres du groupe ne se chevauchent pas.

$$\vec{F_{rep}^{i}} = \sum_{j \neq i} \delta_{rep} \underbrace{\beta_{rep}}_{\text{Amplitude}} \vec{n_{ij}}$$

Avec

$$\delta_{rep} = \begin{cases} 1, & \text{si } \mathrm{d}_{ij} < r_i + B_i \text{ (rayon de } i + \text{Distance de confort)} \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

Extension du modèle

Force de groupe

On obtient une nouvelle expression du PFD :

$$m_i \frac{d\vec{v_i}(t)}{dt} = \vec{F^i_{mot}} + \sum_{j \neq i} \vec{F^i_{ij}} + \sum_{\Omega} \vec{F^i_o} + \vec{F^i_{grp}}$$

Où

$$\vec{F^i_{grp}} = \vec{F^i_{vis}} + \vec{F^i_{att}} + \vec{F^i_{rep}}$$

Simulation et Comparaison

Cadre Général et Notations :

- On considère une pièce délimitée par les droites x=0, x=8, y=0 et y=12, l'effet des murs sera négligé.
- Une perturbation brusque à l'instant k=0 pousse les piétons à se diriger vers la porte fixée en (8, 3). L'emplacement de la porte est supposé connu par tous les piétons.
- Les masses et les constantes (temps caractéristiques ...) sont prises égales pour tous les piétons.

Simulation et Comparaison

Cadre Général et Notations :

- On considère une pièce délimitée par les droites x=0, x=8, y=0 et y=12, l'effet des murs sera négligé.
- Une perturbation brusque à l'instant k=0 pousse les piétons à se diriger vers la porte fixée en (8, 3). L'emplacement de la porte est supposé connu par tous les piétons.
- Les masses et les constantes (temps caractéristiques ...) sont prises égales pour tous les piétons.

Simulation et Comparaison

Cadre Général et Notations :

- On considère une pièce délimitée par les droites x=0, x=8, y=0 et y=12, l'effet des murs sera négligé.
- Une perturbation brusque à l'instant k=0 pousse les piétons à se diriger vers la porte fixée en (8, 3). L'emplacement de la porte est supposé connu par tous les piétons.
- Les masses et les constantes (temps caractéristiques ...) sont prises égales pour tous les piétons.

Simulation et Comparaison

Cadre Général et Notations :

- On note $v_x^i(k)$, $v_y^i(k)$, $x_i(k)$ et $y_i(k)$ les vitesses et les positions du piéton i à l'instant k.
- $x_i^0(k)$ et $y_i^0(k)$ sont les composantes du vecteur $\vec{e_i^0}$, et $x_{ij}(k)$, $y_{ij}(k)$ celles de $\vec{n_{ij}}(k)$
- On a les relations suivantes (après discrétisation) :

$$\begin{cases} x_i(k+1) = \mathrm{dt} \times v_x^i(k) + x_i(k) \\ y_i(k+1) = \mathrm{dt} \times v_y^i(k) + y_i(k) \end{cases}$$

Simulation et Comparaison

Cadre Général et Notations :

- On note $v_x^i(k)$, $v_y^i(k)$, $x_i(k)$ et $y_i(k)$ les vitesses et les positions du piéton i à l'instant k.
- $x_i^0(k)$ et $y_i^0(k)$ sont les composantes du vecteur $\vec{e_i^0}$, et $x_{ij}(k)$, $y_{ij}(k)$ celles de $\vec{n_{ij}}(k)$
- On a les relations suivantes (après discrétisation) :

$$\begin{cases} x_i(k+1) = \mathrm{dt} \times v_x^i(k) + x_i(k) \\ y_i(k+1) = \mathrm{dt} \times v_y^i(k) + y_i(k) \end{cases}$$

Simulation et Comparaison

Cadre Général et Notations :

- On note $v_x^i(k)$, $v_y^i(k)$, $x_i(k)$ et $y_i(k)$ les vitesses et les positions du piéton i à l'instant k.
- $x_i^0(k)$ et $y_i^0(k)$ sont les composantes du vecteur $\vec{e_i^0}$, et $x_{ij}(k)$, $y_{ij}(k)$ celles de $\vec{n_{ij}}(k)$
- On a les relations suivantes (après discrétisation) :

$$\begin{cases} x_i(k+1) = \mathrm{dt} \times v_x^i(k) + x_i(k) \\ y_i(k+1) = \mathrm{dt} \times v_y^i(k) + y_i(k) \end{cases}$$

Simulation et Comparaison

Cas d'un piéton seul :

Calculs :

$$\begin{cases} v_x^i(k+1) = \frac{v_i^0 \times dt}{\tau_i} \times x_i^0(k) + (1 - \frac{dt}{\tau_i}) \times v_x^i(k) \\ v_y^i(k+1) = \frac{v_i^0 \times dt}{\tau_i} \times y_i^0(k) + (1 - \frac{dt}{\tau_i}) \times v_y^i(k) \end{cases}$$

Simulation et Comparaison

Cas d'un piéton seul :

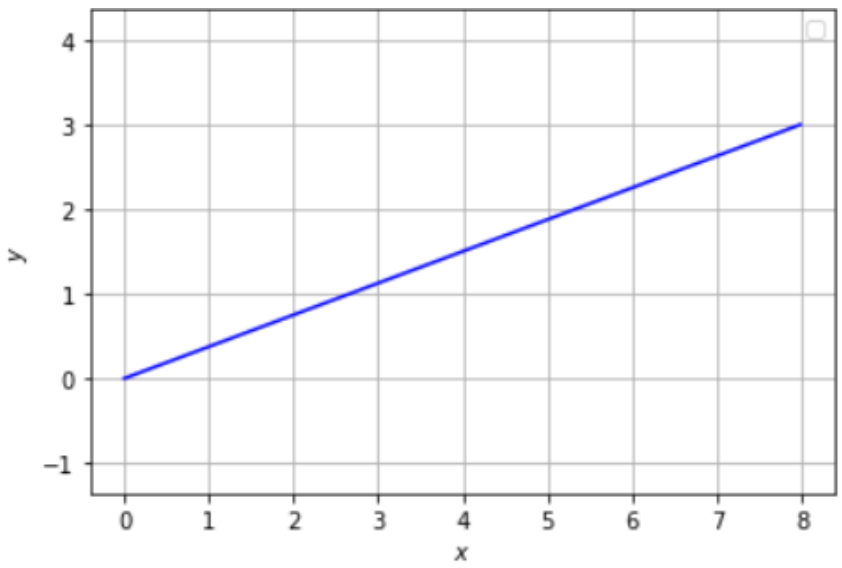

Figure – Pi=(0,0) ; $\vec{v_i^0}$=(0,0)

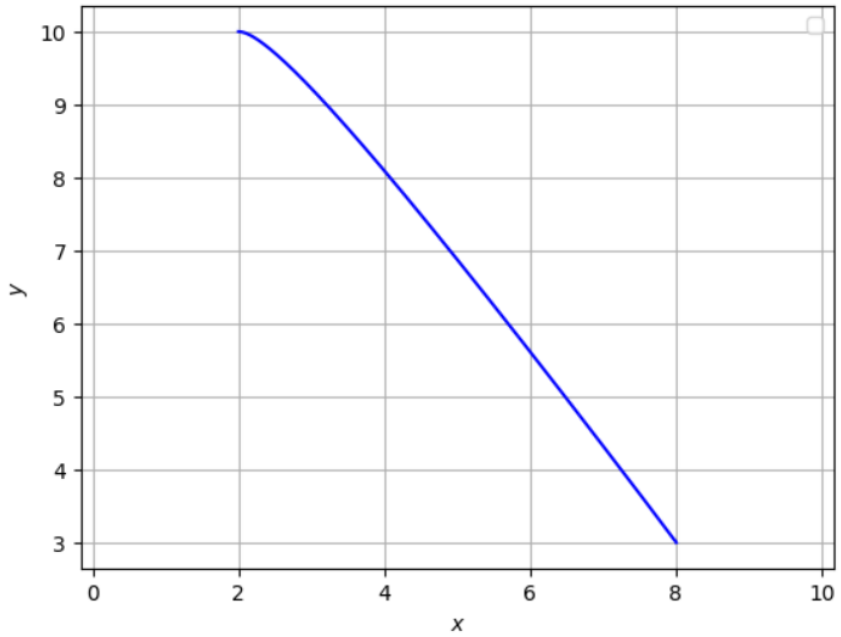

Figure – Pi=(2,10) ; $\vec{v_i^0}$=(0.5,0)

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Initial* :

PFD Initial :

$$\begin{cases} v_x^i(k+1) = \frac{v_i^0 dt}{\tau_i} x_i^0(k) + (1 - \frac{dt}{\tau_i}) v_x^i(k) + \frac{dt}{m} exp(-\frac{d_{ij}}{B}) x_{ij}(k) \\ v_y^i(k+1) = \frac{v_i^0 dt}{\tau_i} y_i^0(k) + (1 - \frac{dt}{\tau_i}) v_y^i(k) + \frac{dt}{m} exp(-\frac{d_{ij}}{B}) y_{ij}(k) \end{cases}$$

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Initial* :

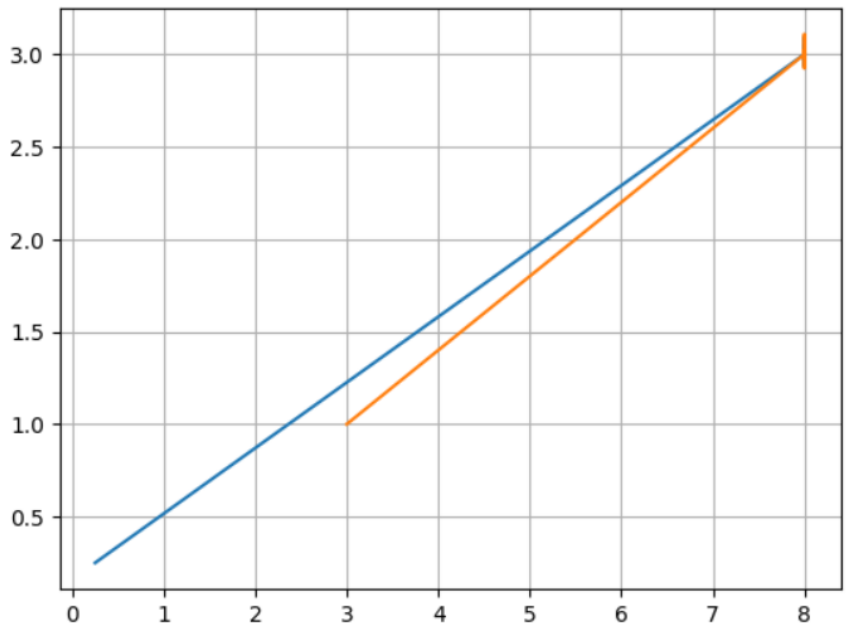

Figure – $\vec{v_i^0} = (0{,}0)$

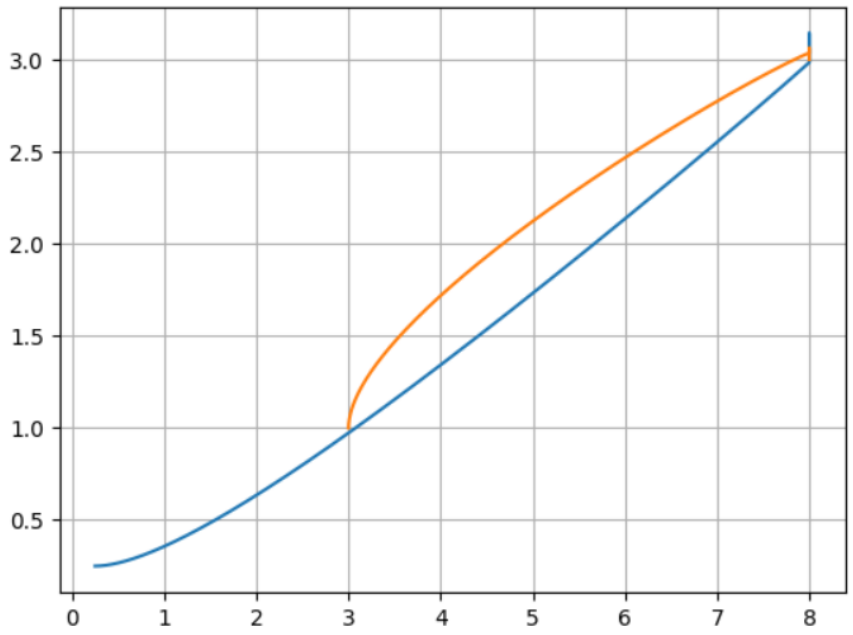

Figure – $\vec{v_1^0} = (1,\ 0)\ ;\ \vec{v_2^0} = (0,\ 0.5)$

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Initial* :

Remarques :

- Trajectoires rectilignes dirigées vers la porte (surtout dans le cas où $v_{init} = 0$).
- Effets de la force de répulsion plus intenses près de la porte ("aspect d'oscillations amorties").
- Piétons insoucieux l'un de l'autre lorsque la distance les séparant est assez grande.

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Initial* :

Remarques :

- Trajectoires rectilignes dirigées vers la porte (surtout dans le cas où $v_{init} = 0$).
- Effets de la force de répulsion plus intenses près de la porte ("aspect d'oscillations amorties").
- Piétons insoucieux l'un de l'autre lorsque la distance les séparant est assez grande.

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Initial* :

Remarques :

- Trajectoires rectilignes dirigées vers la porte (surtout dans le cas où $v_{init} = 0$).
- Effets de la force de répulsion plus intenses près de la porte ("aspect d'oscillations amorties").
- Piétons insoucieux l'un de l'autre lorsque la distance les séparant est assez grande.

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

PFD Modifié :

$$\begin{cases} v_x^i(k+1) = \frac{v_i^0 dt}{\tau_i} x_i^0(k) + (1 - \frac{dt}{\tau_i}) v_x^i(k) + \frac{dt}{m} exp(-\frac{d_{ij}}{B}) x_{ij}(k) + T_x^i \\ v_y^i(k+1) = \frac{v_i^0 dt}{\tau_i} y_i^0(k) + (1 - \frac{dt}{\tau_i}) v_y^i(k) + \frac{dt}{m} exp(-\frac{d_{ij}}{B}) y_{ij}(k) + T_y^i \end{cases}$$

Avec

$$\begin{cases} T_x^i = \frac{dt}{m}(\delta_{rep}\beta_{rep} x_{ij}(k) - \beta_{vis}\alpha_i(k) v_x^i(k) + \delta_{att}\beta_{att} x_{ici}(k)) \\ T_y^i = \frac{dt}{m}(\delta_{rep}\beta_{rep} y_{ij}(k) - \beta_{vis}\alpha_i(k) v_y^i(k) + \delta_{att}\beta_{att} y_{ici}(k)) \end{cases}$$

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

Pour $\beta_{vis} = 0.4$, $\beta_{rep} = \mathrm{B} = 0.5$ et $\beta_{att} = 10$

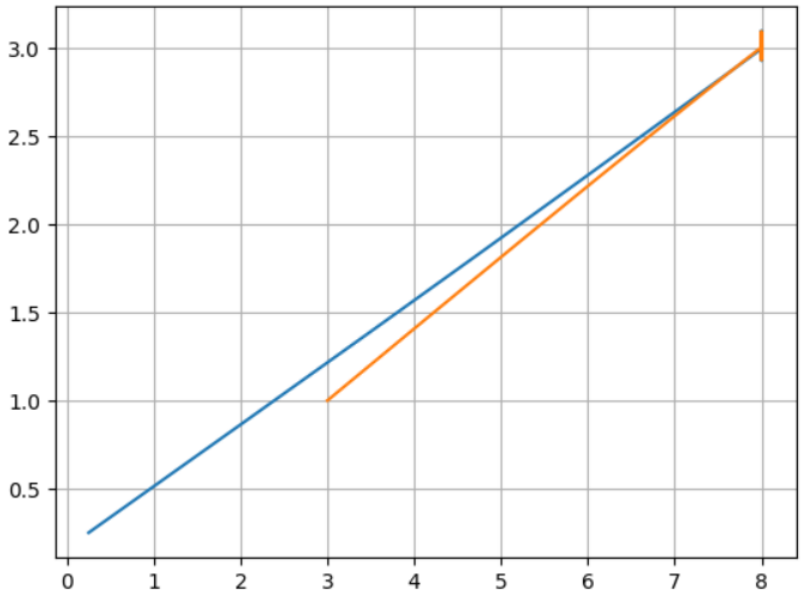

Figure – $\vec{v_i^0} = (0{,}0)$

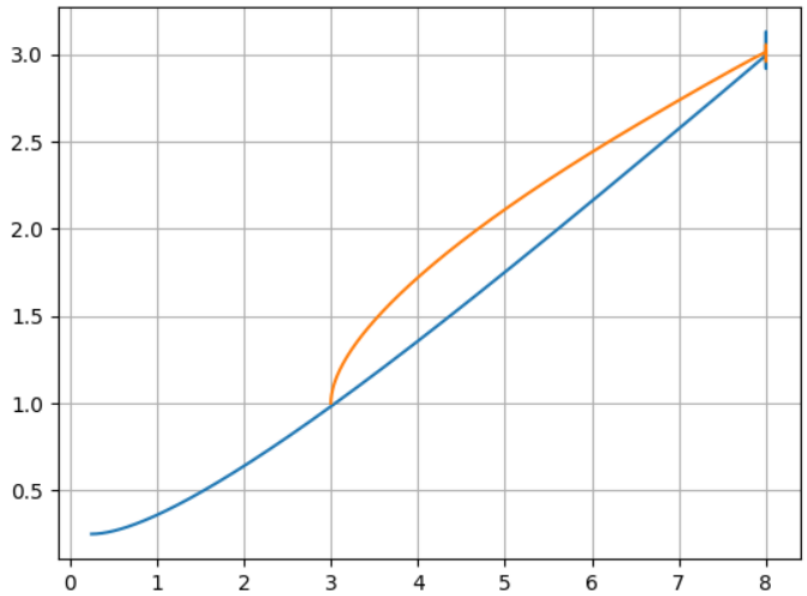

Figure – $\vec{v_1^0} = (1,\ 0)\ ;\ \vec{v_2^0} = (0,\ 0.5)$

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

Pour $\beta_{vis} = 0.4$, $\beta_{rep} = \mathrm{B} = 0.5$ et $\beta_{att} = 50$

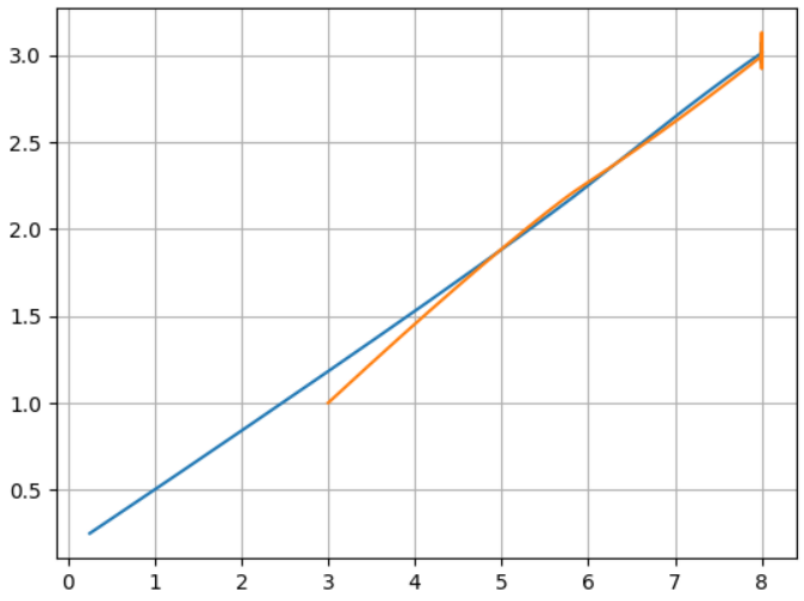

Figure – $\vec{v_i^0} = (0{,}0)$

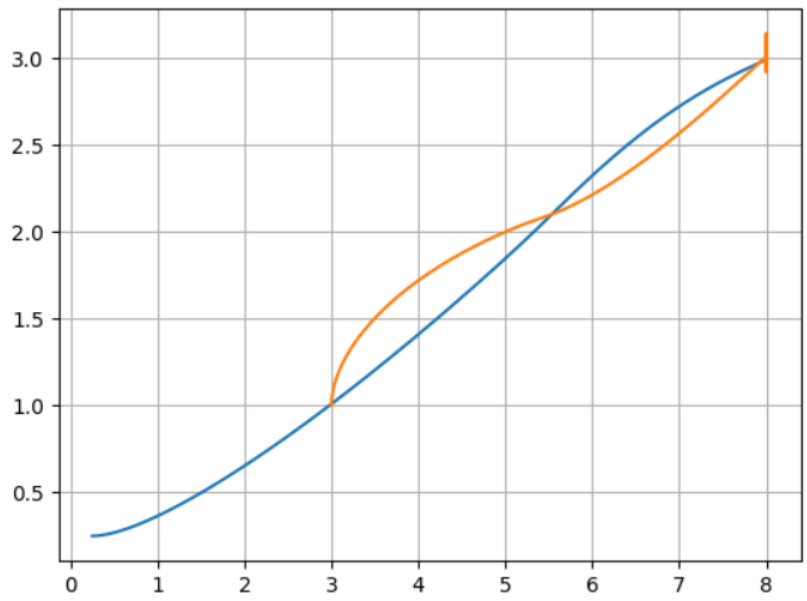

Figure – $\vec{v_1^0} = (1,\ 0)\ ;\ \vec{v_2^0} = (0,\ 0.5)$

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

Pour $\beta_{vis} = 0.4$, $\beta_{rep} = \mathrm{B} = 0.5$ et $\beta_{att} = 120$

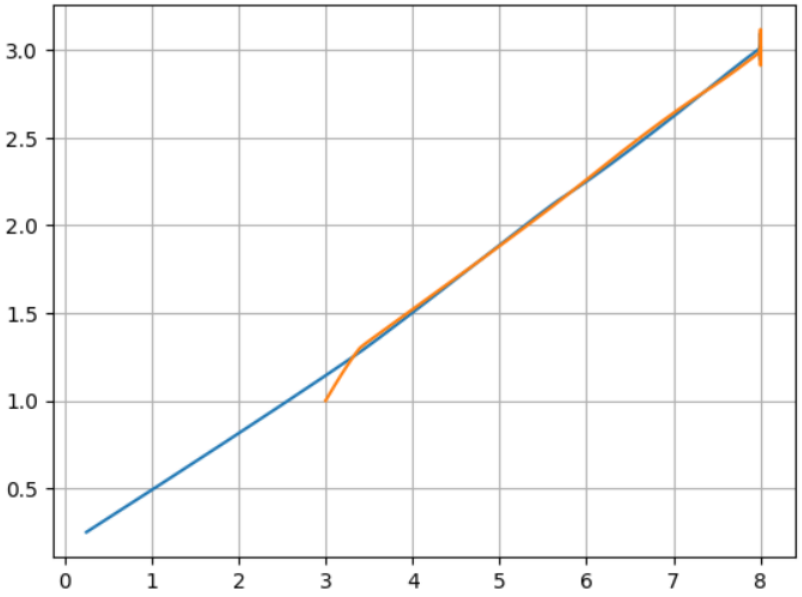

Figure – $\vec{v_i^0} = (0{,}0)$

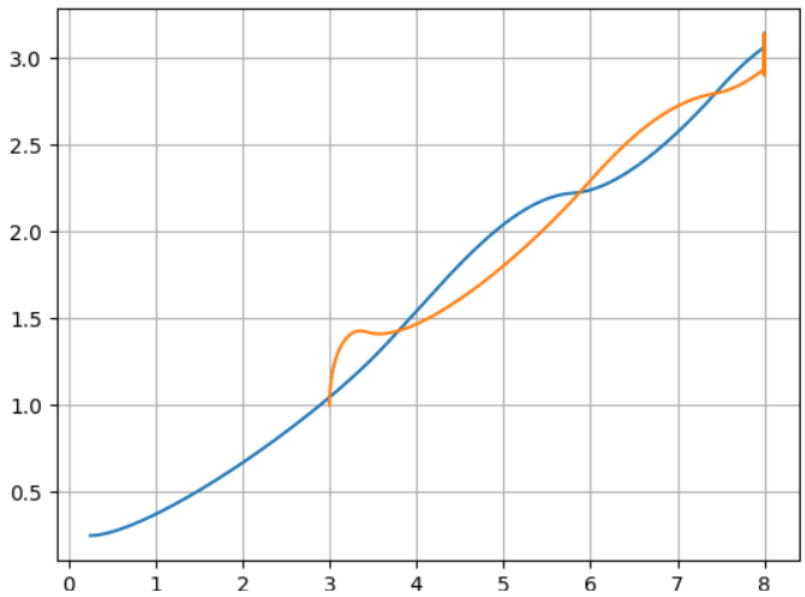

Figure – $\vec{v_1^0} = (1,\ 0)\ ;\ \vec{v_2^0} = (0,\ 0.5)$

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

Pour B $= 0.5$, $\beta_{vis} = 0.4$, $\beta_{rep} = 50$ et $\beta_{att} = 10$

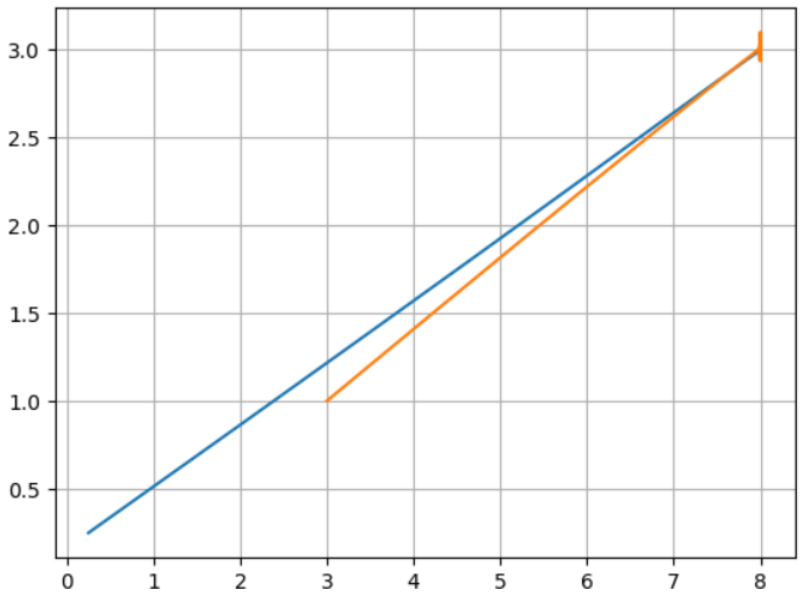

Figure – $\vec{v_i^0} = (0{,}0)$

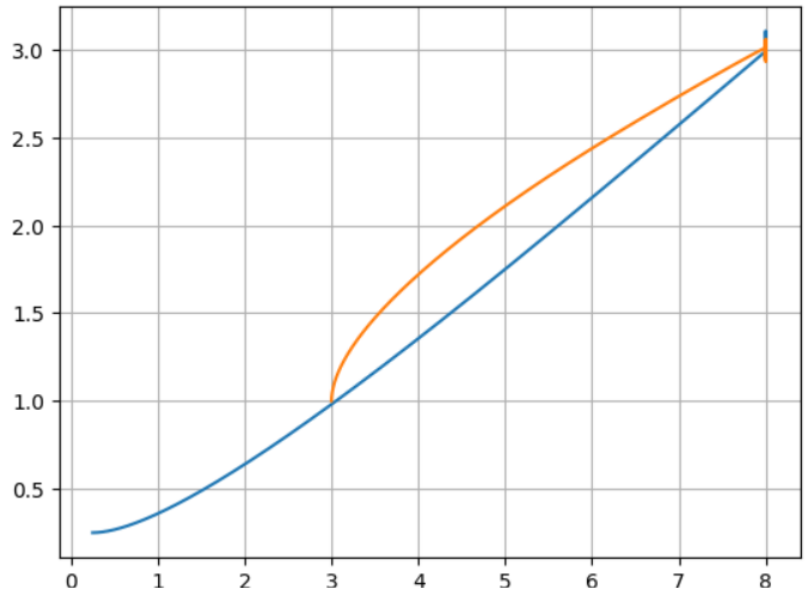

Figure – $\vec{v_1^0} = (1,\ 0)\ ;\ \vec{v_2^0} = (0,\ 0.5)$

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

Pour B $= 0.5$, $\beta_{vis} = 0.4$, $\beta_{rep} = 350$ et $\beta_{att} = 10$

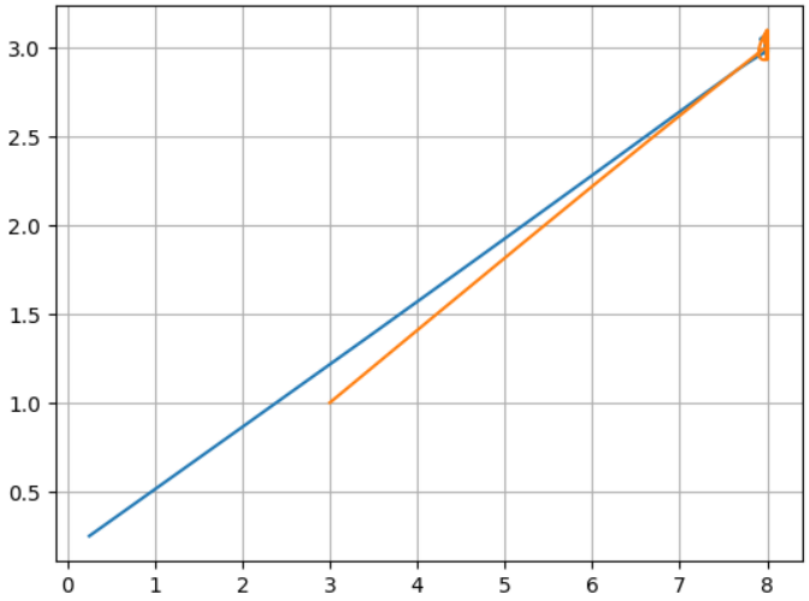

Figure – $\vec{v_i^0} = (0{,}0)$

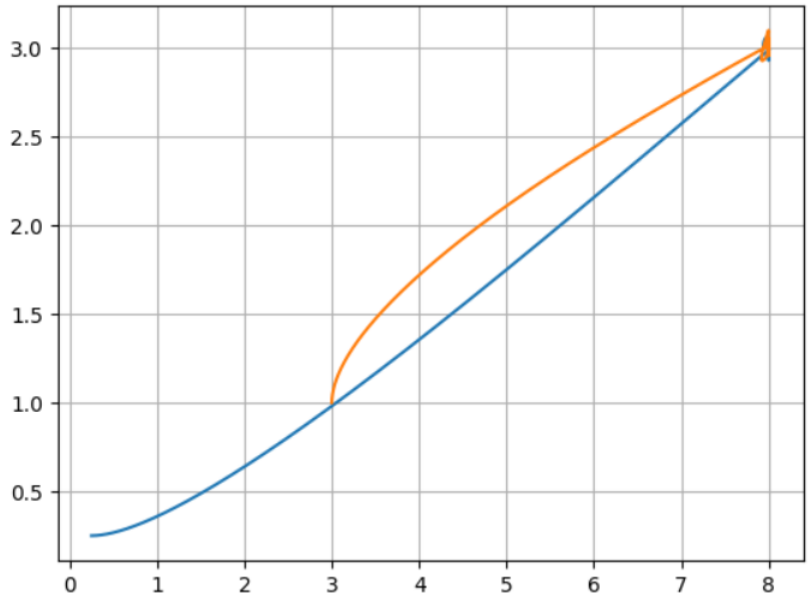

Figure – $\vec{v_1^0} = (1,\ 0)\ ;\ \vec{v_2^0} = (0,\ 0.5)$

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

Pour B $= 0.5$, $\beta_{vis} = 0.4$, $\beta_{rep} = 700$ et $\beta_{att} = 10$

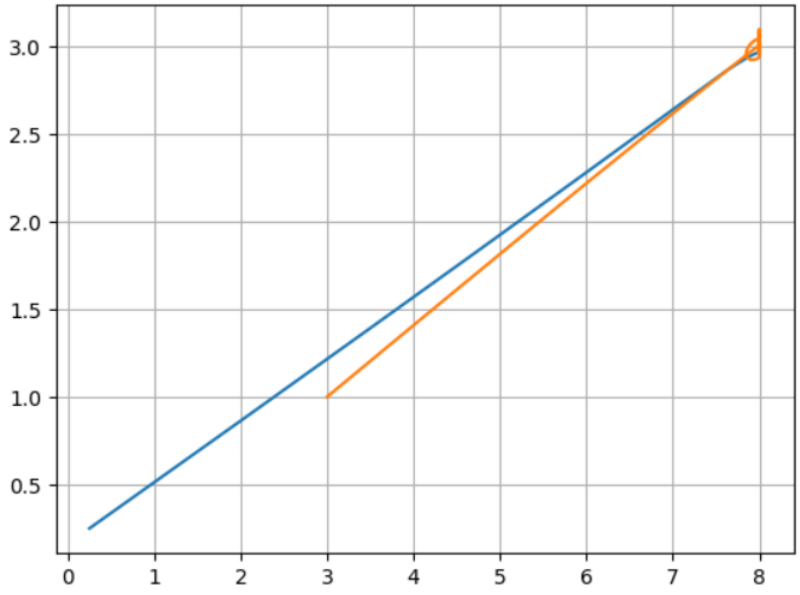

Figure – $\vec{v_i^0} = (0{,}0)$

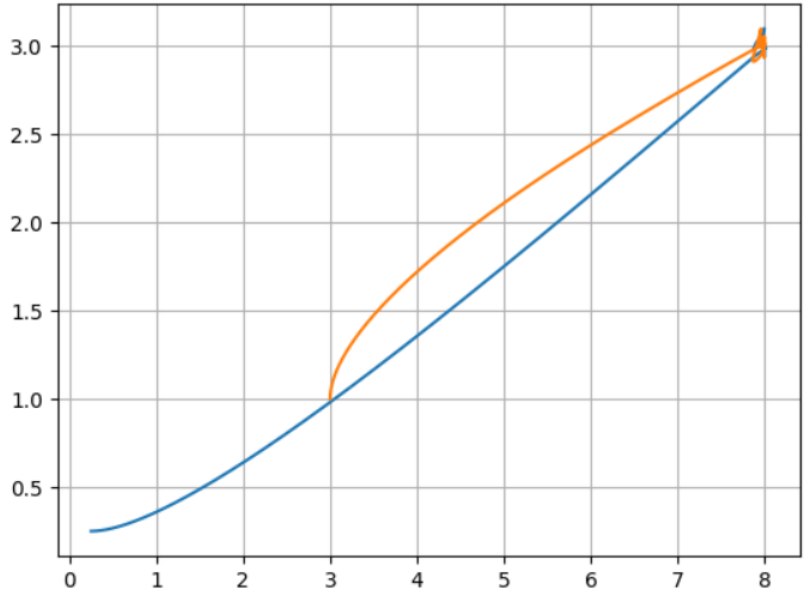

Figure – $\vec{v_1^0} = (1,\ 0)\ ;\ \vec{v_2^0} = (0,\ 0.5)$

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

$$\text{Pour B} = 0.5,\ \beta_{vis} = 0.4,\ \beta_{rep} = \beta_{att} = 3$$

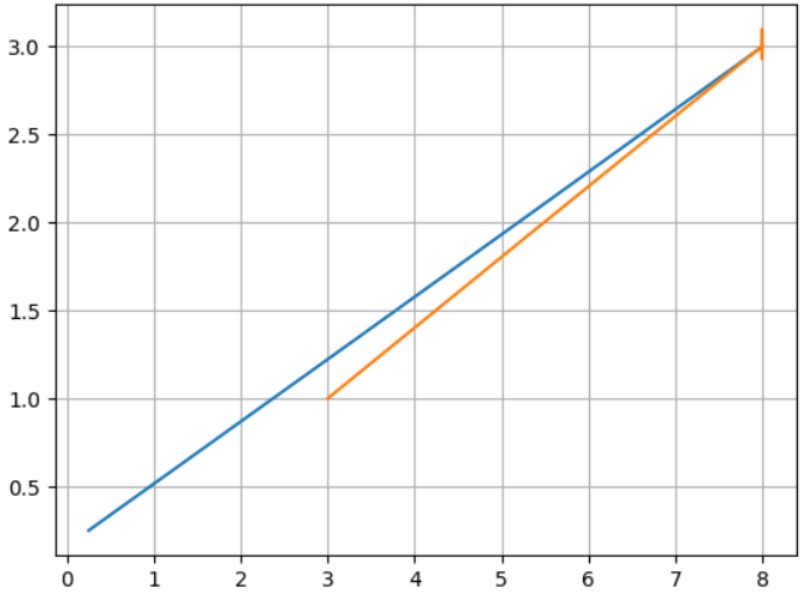

Figure – $\vec{v_i^0} = (0{,}0)$

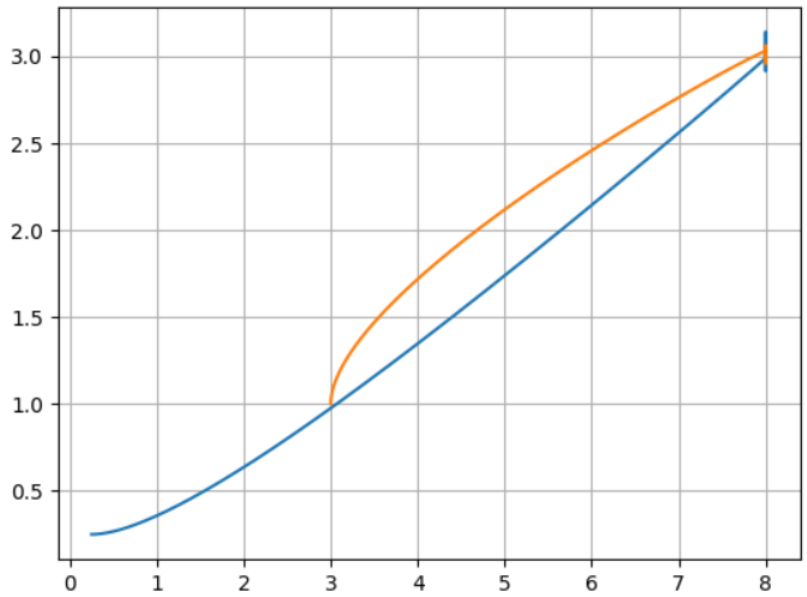

Figure – $\vec{v_1^0} = (1,\ 0)\ ;\ \vec{v_2^0} = (0,\ 0.5)$

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

$$\text{Pour B} = 0.5,\ \beta_{vis} = 0.4,\ \beta_{rep} = \beta_{att} = 70$$

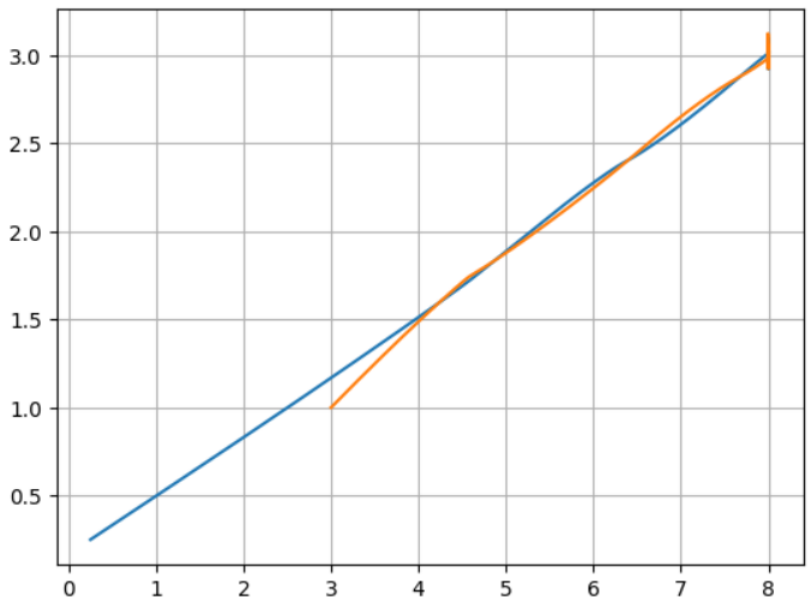

Figure – $\vec{v_i^0} = (0{,}0)$

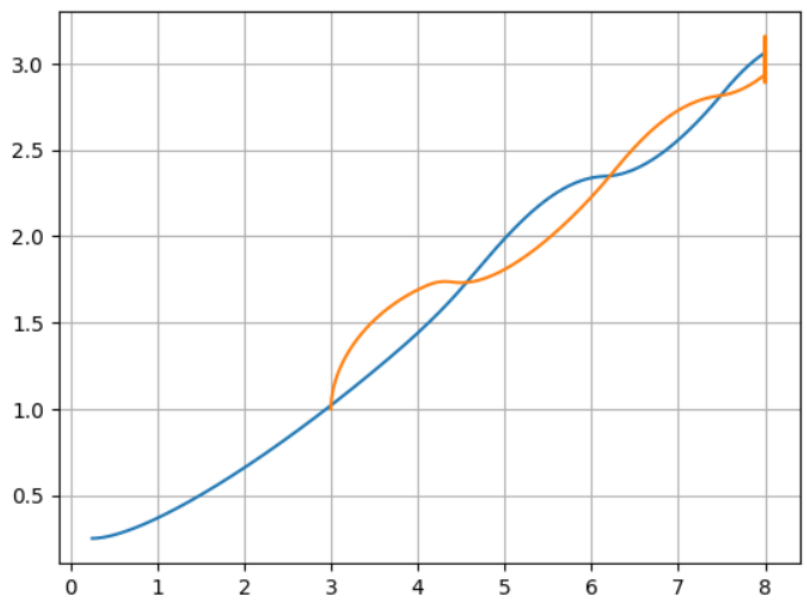

Figure – $\vec{v_1^0} = (1,\ 0)\ ;\ \vec{v_2^0} = (0,\ 0.5)$

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

Remarques :

- Trajectoires non rectilignes (avec et sans vitesses initiales).
- Lorsque $\beta_{att} \approx \beta_{rep}$, l'effet des termes additionnels devient perceptible si $\beta_{rep} \gg 1$.
- Lorsque $\beta_{att} \gg \beta_{rep}$, les piétons se rejoignent d'autant plus rapidement que β_{att} est grand (évacuation d'une famille par exemple).
- Lorsque $\beta_{att} \ll \beta_{rep}$, les piétons se repoussent fortement ce qui apparaît clairement au voisinage de la porte.

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

Remarques :

- Trajectoires non rectilignes (avec et sans vitesses initiales).
- Lorsque $\beta_{att} \approx \beta_{rep}$, l'effet des termes additionnels devient perceptible si $\beta_{rep} \gg 1$.
- Lorsque $\beta_{att} \gg \beta_{rep}$, les piétons se rejoignent d'autant plus rapidement que β_{att} est grand (évacuation d'une famille par exemple).
- Lorsque $\beta_{att} \ll \beta_{rep}$, les piétons se repoussent fortement ce qui apparaît clairement au voisinage de la porte.

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

Remarques :

- Trajectoires non rectilignes (avec et sans vitesses initiales).
- Lorsque $\beta_{att} \approx \beta_{rep}$, l'effet des termes additionnels devient perceptible si $\beta_{rep} \gg 1$.
- Lorsque $\beta_{att} \gg \beta_{rep}$, les piétons se rejoignent d'autant plus rapidement que β_{att} est grand (évacuation d'une famille par exemple).
- Lorsque $\beta_{att} \ll \beta_{rep}$, les piétons se repoussent fortement ce qui apparaît clairement au voisinage de la porte.

Simulation et Comparaison

Cas de deux piétons : *PFD Modifié* :

Remarques :

- Trajectoires non rectilignes (avec et sans vitesses initiales).
- Lorsque $\beta_{att} \approx \beta_{rep}$, l'effet des termes additionnels devient perceptible si $\beta_{rep} \gg 1$.
- Lorsque $\beta_{att} \gg \beta_{rep}$, les piétons se rejoignent d'autant plus rapidement que β_{att} est grand (évacuation d'une famille par exemple).
- Lorsque $\beta_{att} \ll \beta_{rep}$, les piétons se repoussent fortement ce qui apparaît clairement au voisinage de la porte.

Simulation et Comparaison

Cas de n piétons : *Calculs :*

PFD Initial :

$$\begin{cases} v_x^i(k+1) = \frac{v_i^0 dt}{\tau_i} x_i^0(k) + (1 - \frac{dt}{\tau_i}) v_x^i(k) + \frac{dt}{m} \sum_{j \neq i} exp(-\frac{d_{ij}}{B}) x_{ij}(k) \\ v_y^i(k+1) = \frac{v_i^0 dt}{\tau_i} y_i^0(k) + (1 - \frac{dt}{\tau_i}) v_y^i(k) + \frac{dt}{m} \sum_{j \neq i} exp(-\frac{d_{ij}}{B}) y_{ij}(k) \end{cases}$$

Simulation et Comparaison

Cas de n piétons : *Calculs :*

PFD Modifié :

$$\begin{cases} v_x^i(k+1) = \frac{v_i^0 dt}{\tau_i} x_i^0(k) + (1 - \frac{dt}{\tau_i}) v_x^i(k) + \frac{dt}{m} \sum_{j \neq i} exp(-\frac{d_{ij}}{B}) x_{ij}(k) + T_x^i \\ v_y^i(k+1) = \frac{v_i^0 dt}{\tau_i} y_i^0(k) + (1 - \frac{dt}{\tau_i}) v_y^i(k) + \frac{dt}{m} \sum_{j \neq i} exp(-\frac{d_{ij}}{B}) y_{ij}(k) + T_y^i \end{cases}$$

Avec

$$\begin{cases} T_x^i = \frac{dt}{m} (\sum_{j \neq i} \delta_{rep} \beta_{rep} x_{ij}(k) - \beta_{vis} \alpha_i(k) v_x^i(k) + \delta_{att} \beta_{att} x_{ici}(k)) \\ T_y^i = \frac{dt}{m} (\sum_{j \neq i} \delta_{rep} \beta_{rep} y_{ij}(k) - \beta_{vis} \alpha_i(k) v_y^i(k) + \delta_{att} \beta_{att} y_{ici}(k)) \end{cases}$$

Simulation et Comparaison

Cas de n piétons : *Exemple 1 :*

$$\text{n} = 7,\ \beta_{vis} = 0.4,\ \beta_{rep} = \text{B} = 0.5,\ \beta_{att} = 50 \text{ et } v_{init} = 0$$

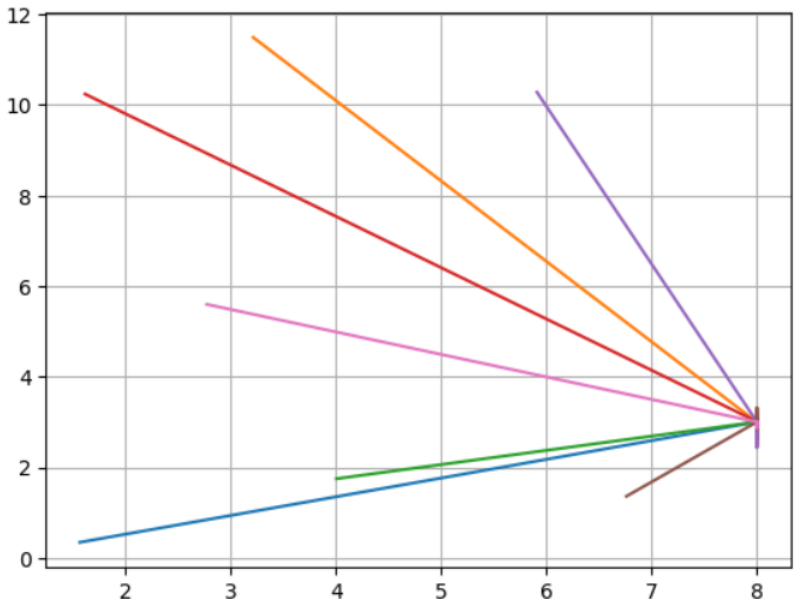

Figure – PFD Initial

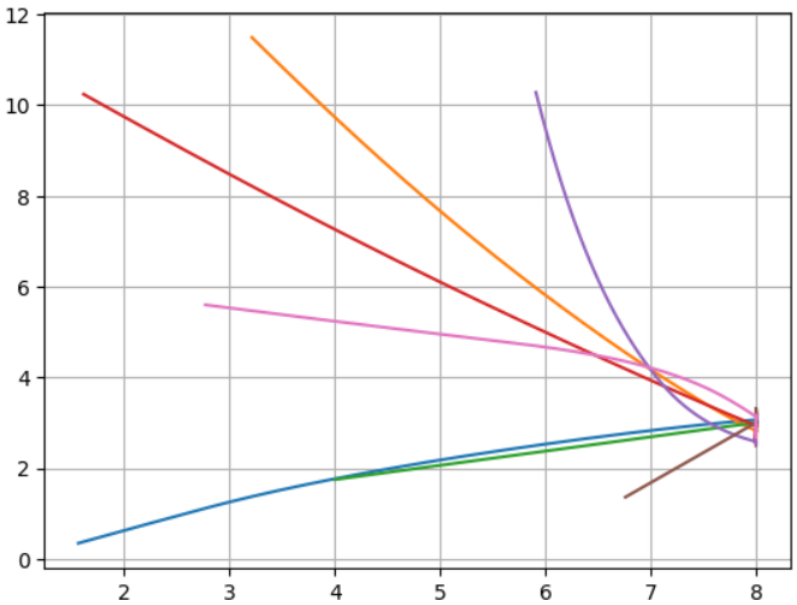

Figure – PFD Modifié

Simulation et Comparaison

Cas de n piétons : *Exemple 2 :*

$$\text{n} = 15,\ \text{B} = 0.5,\ \beta_{vis} = 0.4,\ \beta_{rep} = 15,\ \beta_{att} = 100 \text{ et } v_{init} = 0$$

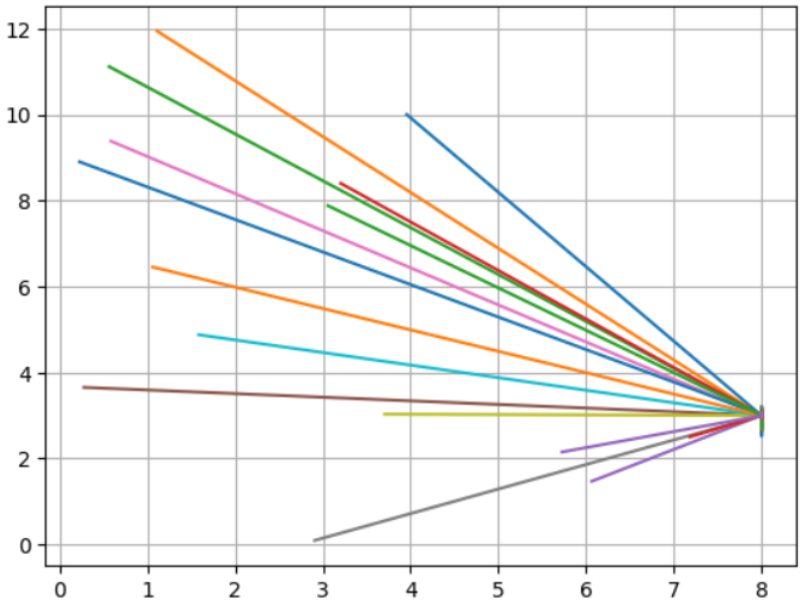

Figure – PFD Initial

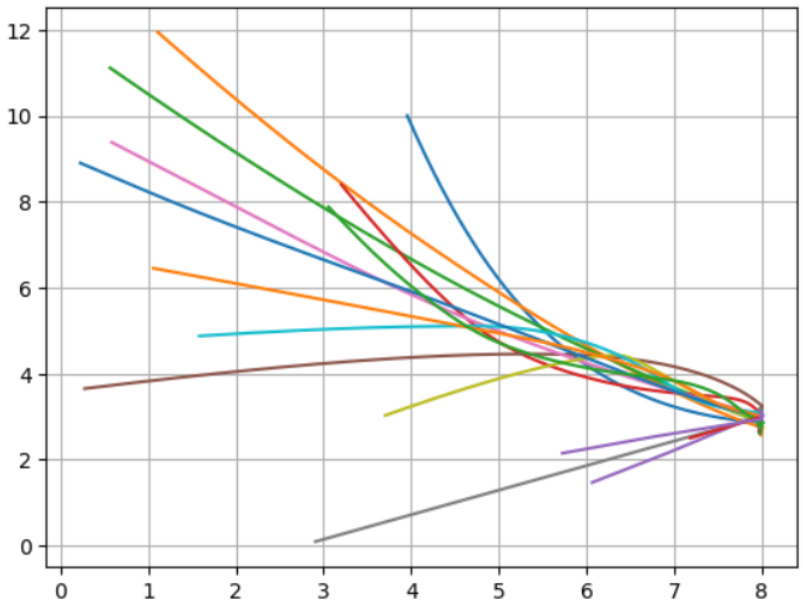

Figure – PFD Modifié

Simulation et Comparaison

Cas de n piétons :

Remarques :

1. *PFD Initial :*
   - Piétons insoucieux les uns des autres.
   - Effets de répulsions faibles et observables au voisinage de la porte uniquement.
2. *PFD Modifié :*
   - Les piétons cherchent à atteindre la porte ensemble.
   - Effets de réplusions plus visibles (surtout avec v_{init} non nulle et au voisinage de la porte).

Simulation et Comparaison

Cas de n piétons :

Remarques :

1. *PFD Initial :*
   - Piétons insoucieux les uns des autres.
   - Effets de répulsions faibles et observables au voisinage de la porte uniquement.
2. *PFD Modifié :*
   - Les piétons cherchent à atteindre la porte ensemble.
   - Effets de réplusions plus visibles (surtout avec v_{init} non nulle et au voisinage de la porte).

Simulation et Comparaison

Cas de n piétons :

Remarques :

1. *PFD Initial :*
   - Piétons insoucieux les uns des autres.
   - Effets de répulsions faibles et observables au voisinage de la porte uniquement.
2. *PFD Modifié :*
   - Les piétons cherchent à atteindre la porte ensemble.
   - Effets de réplusions plus visibles (surtout avec v_{init} non nulle et au voisinage de la porte).

Simulation et Comparaison

Cas de n piétons :

Remarques :

1. *PFD Initial :*
   - Piétons insoucieux les uns des autres.
   - Effets de répulsions faibles et observables au voisinage de la porte uniquement.
2. *PFD Modifié :*
   - Les piétons cherchent à atteindre la porte ensemble.
   - Effets de réplusions plus visibles (surtout avec v_{init} non nulle et au voisinage de la porte).

Conclusion

Népal 2012 (source : Euronews)

Conclusion

- Les trajectoires des piétons s'apparentent à celles obtenues par l'expression du PFD modifié.
- La plupart des piétons se cherchent plutôt que de vouloir avancer seuls.
- Le modèle modifié rapproche visiblement plus de la réalité et il serait encore plus réaliste si à chaque piéton i étaient associés des paramètres d'attraction et de répulsion propres dépendant de i et de chaque autre j.

Conclusion

- Les trajectoires des piétons s'apparentent à celles obtenues par l'expression du PFD modifié.
- La plupart des piétons se cherchent plutôt que de vouloir avancer seuls.
- Le modèle modifié rapproche visiblement plus de la réalité et il serait encore plus réaliste si à chaque piéton i étaient associés des paramètres d'attraction et de répulsion propres dépendant de i et de chaque autre j.

Conclusion

- Les trajectoires des piétons s'apparentent à celles obtenues par l'expression du PFD modifié.
- La plupart des piétons se cherchent plutôt que de vouloir avancer seuls.
- Le modèle modifié rapproche visiblement plus de la réalité et il serait encore plus réaliste si à chaque piéton i étaient associés des paramètres d'attraction et de répulsion propres dépendant de i et de chaque autre j.

Annexe

Force de répulsion

```
from matplotlib import pyplot as plt
import numpy as np
def F_i_o(r,Bi):
    f=np.exp(-r/Bi)
    return f

lesx = np.linspace(0, 2)
B=[0.5, 0.3, 0.15]
for i in B:
    lesy=[]
    for r in lesx:
        lesy += [F_i_o(r, i)]
    plt.plot(lesx, lesy, label=f'{i}')
plt.grid()
plt.title('Force de répulsion')
plt.xlabel('di_o')
plt.ylabel('F_i_o')
plt.legend()
plt.show()
```

Figure – Force de répulsion

Annexe

Coordonnées de vecteurs en cartésiennes

```
#Coordonnées des vecteurs en cartésiennes
def vect(A,B):
    (x,y)=A
    (a,b)=B
    if (a,b)==(x,y):
      return (0,0)
    else:
      k=(a-x)/((a-x)**2+(b-y)**2)**(1/2)
      l=(b-y)/((a-x)**2+(b-y)**2)**(1/2)
      return (k,l)
```

Figure – Fonction calculant les coordonnées de vecteurs

Annexe

Simulation : n Piétons

```
def dist(A,B):
  (a,b)=A
  (c,d)=B
  return ((a-c)**2+(b-d)**2)**(1/2)


def test_int(P, Po):
  return P[0] <= Po[0]


def test_porte(P, Po):
  return abs(P[1]-Po[1]) < 1E-4
```

Figure – Calcul de distance et test d'appartenance à la pièce

Annexe

Simulation : n Piétons / PFD Initial

```
def pfd_initial(d, N, B, n, X, Y, VX, VY):
  dt = d/N
  X1 = [X]
  Y1 = [Y]
  VX1 = [VX]
  VY1 = [VY]
  for k in range(N):
    Xk = []
    Yk = []
    VXk = []
    VYk = []
    for i in range(n):
      if test_porte((X1[-1][i], Y1[-1][i]), porte):
        Xk.append(porte[0])
        Yk.append(porte[1])
        VXk.append(0)
        VYk.append(0)
      else:
        T1X = (dt*v_0/tau)*(vect((X1[-1][i], Y1[-1][i]), porte)[0])
        T1Y = (dt*v_0/tau)*(vect((X1[-1][i], Y1[-1][i]), porte)[1])
```

Figure – Algorithme du PFD initial pour n piétons

Annexe

Simulation : n Piétons / PFD Initial

```
        T2X = VX1[-1][i]*(1-dt/tau)
        T2Y = VY1[-1][i]*(1-dt/tau)
        T3X = 0
        T3Y = 0
        check = 1 if test_int((X1[-1][i], Y1[-1][i]), porte) else 0
        for j in range(n):
          if test_int((X1[-1][j], Y1[-1][j]), porte) and not test_porte((X1[-1][j], Y1[-1][j]), porte):
            P = (X1[-1][i], Y1[-1][i])
            Q = (X1[-1][j], Y1[-1][j])
            T3X += check * np.exp(-dist(P, Q)/B)*(vect(P, Q)[0])
            T3Y += np.exp(-dist(P, Q)/B)*(vect(P, Q)[1])
        T3X *= (dt/m)
        T3Y *= (dt/m)
        VXk.append(check *(T1X + T2X + T3X))
        VYk.append(T1Y + T2Y + T3Y)
        Xk.append(check *(dt*VXk[-1] + X1[-1][i]) + (1-check)*porte[0])
        Yk.append(dt*VYk[-1] + Y1[-1][i])
    X1.append(Xk)
    Y1.append(Yk)
    VX1.append(VXk)
    VY1.append(VYk)
  return X1, Y1
```

Figure – Suite de l'algorithme

Annexe

Simulation : n Piétons / PFD Initial

```
def trace(d, N, B, n, X, Y, VX, VY):
  PX, PY = pfd_initial(d, N, B, n, X, Y, VX, VY)
  print(PX)
  for i in range(n):
    new_X = []
    new_Y = []
    for k in range(N):
      new_X.append(PX[k][i])
      new_Y.append(PY[k][i])
    plt.plot(new_X, new_Y)
  plt.grid()
  plt.show()
```

Figure – Traçage des trajectoires

Annexe

Simulation : n Piétons / PFD Modifié

```
def barycentre(X, Y):
  x = 0
  y = 0
  n = len(X)
  for i in range(n):
    x += X[i]
    y += Y[i]
  return x/n, y/n


def prd_scl(P, Q):
  return P[0]*Q[0] + P[1]*Q[1]
```

Figure – Barycentre et produit scalaire

Annexe

Simulation : n Piétons / PFD Modifié

```
#attraction ssi distance à la porte < distance à ci
def pfd_modifie(d, N, B, Bv, Ba, Br, n, X, Y, VX, VY):
  dt = d/N
  X1 = [X]
  Y1 = [Y]
  VX1 = [VX]
  VY1 = [VY]
  for k in range(N):
    Xk = []
    Yk = []
    VXk = []
    VYk = []
    for i in range(n):
      if test_porte((X1[-1][i], Y1[-1][i]), porte):
        Xk.append(porte[0])
        Yk.append(porte[1])
        VXk.append(0)
        VYk.append(0)
      else:
        T1X = VX1[-1][i]*(1-dt/tau)
        T1Y = VY1[-1][i]*(1-dt/tau)
        Pi = (X1[-1][i], Y1[-1][i])
        ci = barycentre(X1[-1][:i] + X1[-1][i+1:], Y1[-1][:i] + Y1[-1][i+1:])
```

Figure – Algorithme du PFD modifié pour n piétons

Annexe

Simulation : n Piétons / PFD Modifié

```
if  ci == porte or ci == Pi:
  alpha_i = 0
else:
  cos_alpha_i = prd_scl(vect(Pi, ci), vect(Pi, porte)) if prd_scl(vect(Pi, ci), vect(Pi, porte))<1 else 1
  alpha_i=np.arccos(cos_alpha_i)
T1X += -VX1[-1][i]*(dt*Bv*alpha_i/m)
T1Y += -VY1[-1][i]*(dt*Bv*alpha_i/m)
T2X = (dt*v_0/tau)*(vect(Pi, porte)[0])
T2Y = (dt*v_0/tau)*(vect(Pi, porte)[1])
T3X = 0
T3Y = 0
check = 1 if test_int(Pi, porte) else 0
for j in range(n):
  Q = (X1[-1][j], Y1[-1][j])
  if test_int(Q, porte) and not test_porte(Q, porte):
    T3X += check * np.exp(-dist(Pi, Q)/B)*(vect(Pi, Q)[0])
    T3Y += np.exp(-dist(Pi, Q)/B)*(vect(Pi, Q)[1])
  if dist(Pi, Q) < B:
    T3X += Br*vect(Pi, Q)[0]
    T3Y += Br*vect(Pi, Q)[1]
T3X *= (dt/m)
T3Y *= (dt/m)
T4X = 0
T4Y = 0
```

Figure – Suite de l'algorithme

Annexe

Simulation : n Piétons / PFD Modifié

```
        if dist(Pi, porte) > dist(Pi, ci):
          T4X += dt*Ba*vect(Pi, ci)[0]/m
          T4Y += dt*Ba*vect(Pi, ci)[1]/m
        VXk.append(check *(T1X + T2X + T3X + T4X))
        VYk.append(T1Y + T2Y + T3Y + T4Y)
        Xk.append(check *(dt*VXk[-1] + X1[-1][i]) + (1-check)*porte[0])
        Yk.append(dt*VYk[-1] + Y1[-1][i])
    X1.append(Xk)
    Y1.append(Yk)
    VX1.append(VXk)
    VY1.append(VYk)
  return X1, Y1


def trace2(d, N, B, Bv, Ba, Br, n, X, Y, VX, VY):
  PX, PY = pfd_modifie(d, N, B, Bv, Ba, Br, n, X, Y, VX, VY)
  for i in range(n):
    new_X = []
    new_Y = []
    for k in range(N):
      new_X.append(PX[k][i])
      new_Y.append(PY[k][i])
    plt.plot(new_X, new_Y)
  plt.grid()
  plt.show()
```

Figure – Suite et algorithme de traçage des trajectoires

Annexe

Simulation : n Piétons

```
def tracage_aleatoire(d, N, B, Bv, Ba, Br, n):
  X = []
  Y = []
  VX = [0 for i in range(n)]
  VY = [0 for i in range(n)]
  while len(X)<n:
    a = random.randint(1, N)
    b = random.random()
    if 0<a*b<8:
      X.append(a*b)
  while len(Y)<n:
    a = random.randint(1, N)
    b = random.random()
    if 0<a*b<12:
      Y.append(a*b)
  trace(d, N, B, n, X, Y, VX, VY)
  trace2(d, N, B, Bv, Ba, Br, n, X, Y, VX, VY)
```

Figure – Traçage des trajectoires avec positions initiales aléatoires