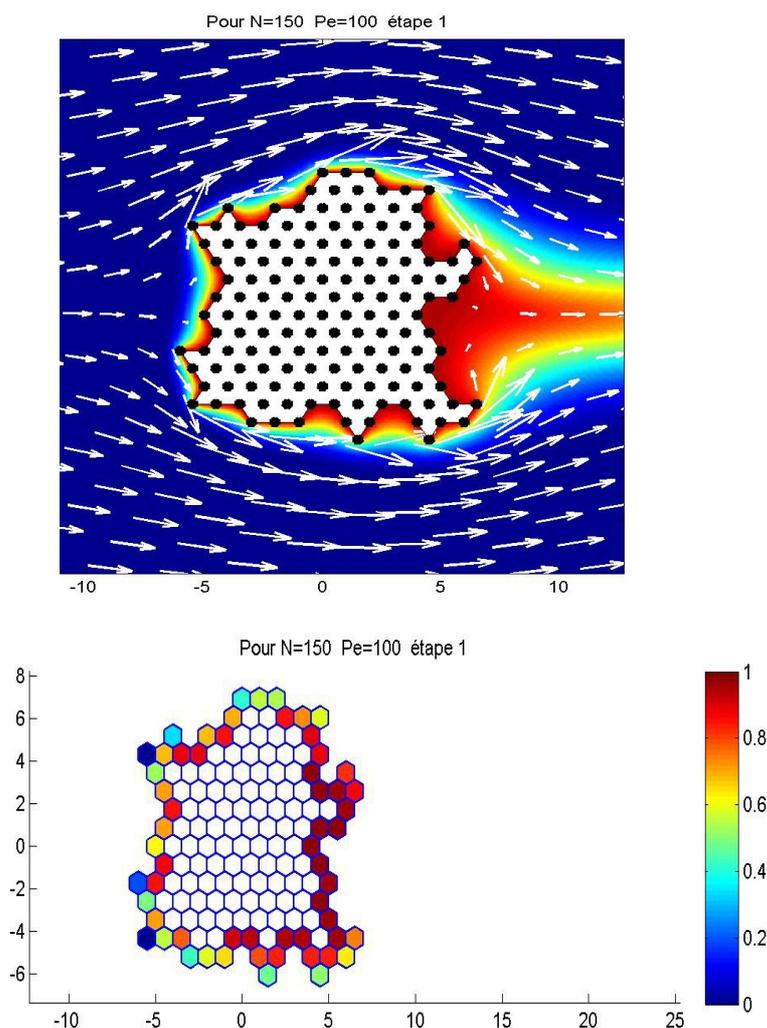


5. RÉSULTATS

5.1 Tendances générales

Nous avons réalisé les simulations en considérant les deux types de polygones présentés dans la section 1.2.3. En effet, l'article de Aaron Waters, François Blanchette, Arnold D. Kim montrait l'utilisation du premier modèle avec le polygone passant par les centres des hexagones. Il nous est toutefois paru plus naturel de considérer le polygone du second modèle traçant le contour de la horde (suivant les sommets des hexagones). Nous avons remarqué que ce second modèle n'aboutissait à aucune conclusion significative. En effet, la horde de manchots adopte une forme hexagonale assez rapidement. Nous distinguons deux cas différents, parfois la horde continue à avancer en conservant la même forme, et parfois elle reste bloquée (avec toujours le même manchot qui se déplace entre les deux mêmes positions). Ce phénomène ne reflète pas du tout la réalité, d'autant plus que même en faisant varier la force du vent, les résultats restent inchangés.

Nous choisissons alors de réaliser toutes les simulations avec le modèle n°1 comme l'ont fait les chercheurs. Pour interpréter les résultats, nous avons utilisé deux types de représentations. Une première figure nous permet de visualiser la répartition du vent et de la température autour de la horde à chaque étape. Une seconde figure nous permet de visualiser l'évolution des manchots sur la banquise ainsi que le taux de perte de chaleur associé à chaque individu frontalier. Nous avons utilisé un code couleur s'échelonnant entre le rouge et le bleu afin de montrer les manchots qui ont chaud et ceux qui ont froid.



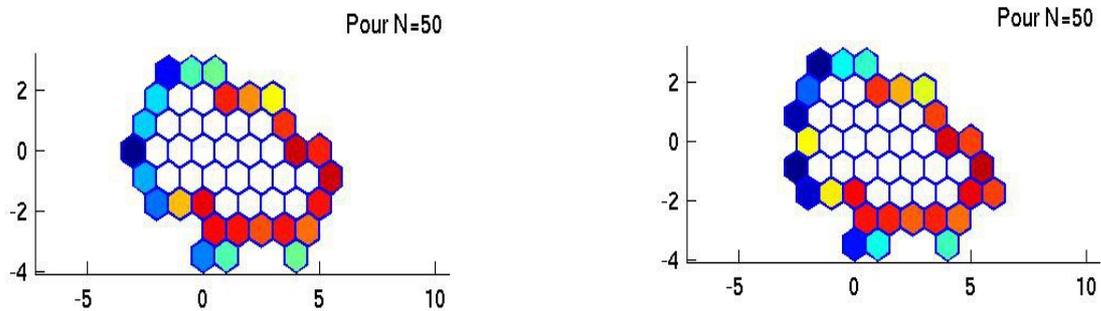
5.1.1 Les déplacements prioritaires.

On va ici mettre en lumière les déplacements prioritaires observés, c'est à dire, grâce aux simulations faites, quels manchots sont les plus susceptibles de bouger ? Et à quels endroits ?

Dans nos simulations, on a supposé que le vent venait de gauche, ainsi, le manchot le plus susceptible de partir est situé parmi les manchots du côté gauche de la frontière. En effet, en analysant la première figure de la partie 5.1, on constate clairement que les zones situées à droite de la horde sont beaucoup plus chaudes que les autres.

De plus, nous constatons qu'un deuxième paramètre rentre en compte, c'est celui du nombre de voisins. En effet, au moins un manchot a de voisins, au plus il ressent le froid.

Sur la figure ci-dessous est représentée la valeur du Heatloss pour chacun des manchots frontaliers à l'aide du code couleur. On peut remarquer le déplacement du manchot qui avait le plus grand Heatloss (bleu foncé) vers l'emplacement ayant pour voisin deux manchots de Heatloss faible (rouge foncé).

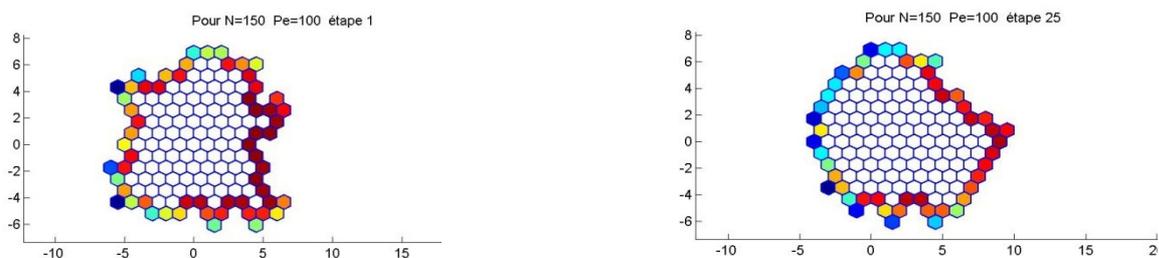


On remarque clairement que le manchot qui s'est déplacé est celui qui était le plus situé à gauche, il ne possédait d'ailleurs que trois voisins. Les deux voisins qui l'ont accueilli sont les plus à droite.

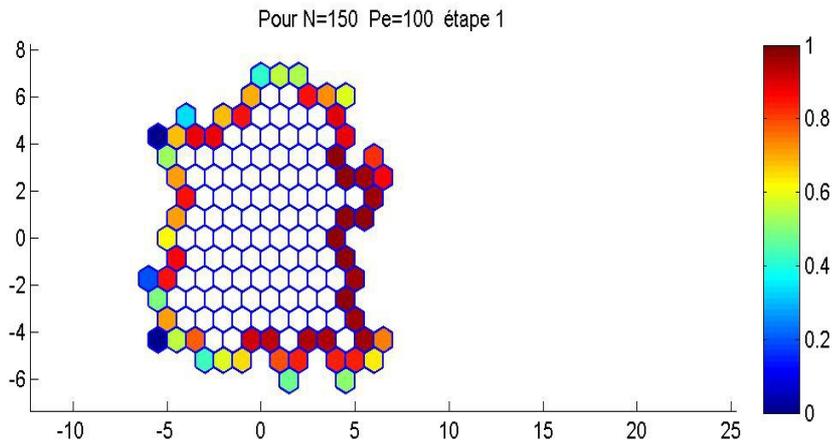
5.1.2 Évolution de la forme et de la position de la horde

Avec les constatations faites ci-dessus, et se faisant à répétitions, la horde a alors tendance à s'affiner, à s'allonger. En effet, basons-nous sur l'exemple suivant pour constater les résultats. Il s'agit d'une simulation réalisée avec 150 manchots, un nombre de Péclet de 100, et un rayon maximal de 3.

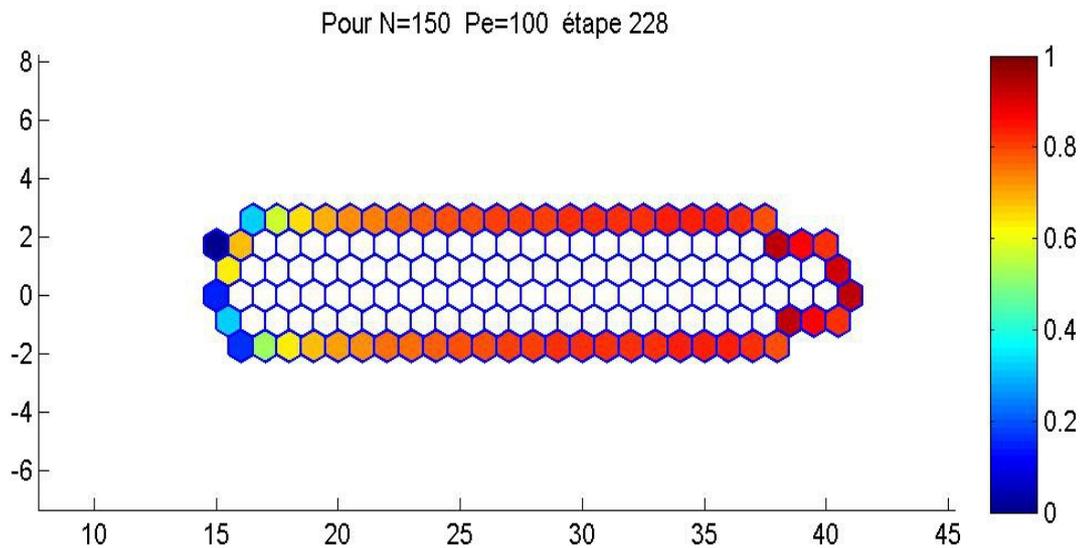
Nous constatons dans un premier temps que la horde cherche à se régulariser. Comme nous le voyons sur les deux figures ci-dessous, la frontière de la horde est plus régulière au bout de 25 étapes et n'a pas avancé.



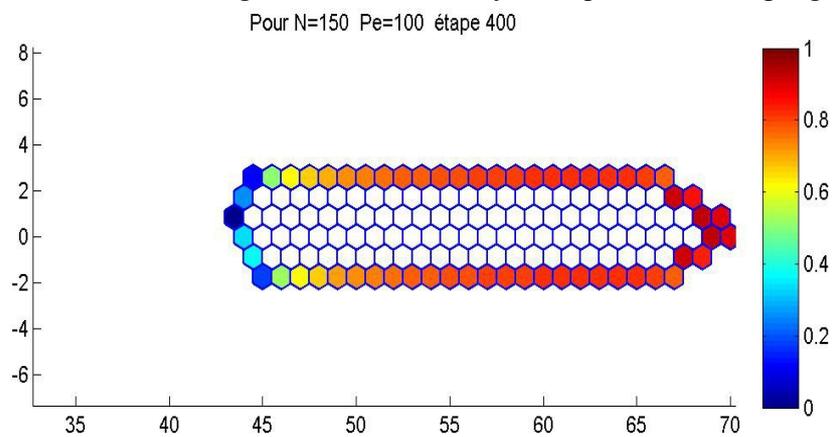
Nous voyons de même dans les graphiques ci-dessous le phénomène d'allongement de la horde :
 Étape 1 :



Étape 228 :



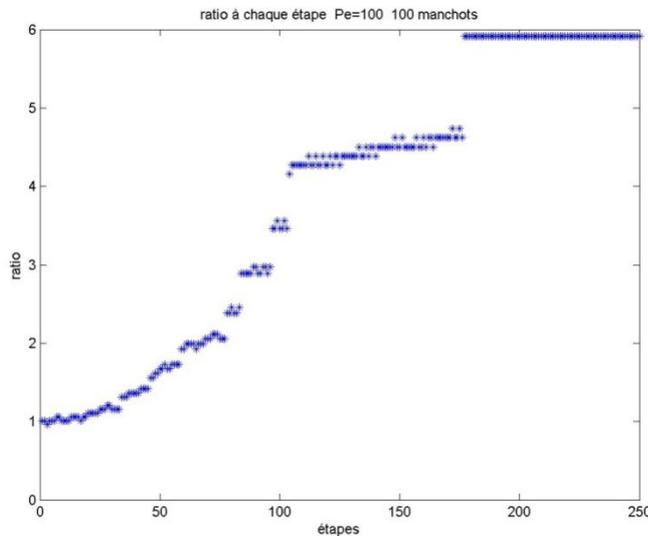
Dans un second temps, comme les manchots situés sur la gauche de la horde ont tendance à aller vers la droite, on peut alors observer que la horde se déplace globalement vers la droite avec le temps (en se référant aux axes). Mais même une fois la forme allongée, au fur et à mesure du temps, la horde continue d'avancer. Sur la figure ci-dessous, on y voit que la horde a progressé encore à la 400e étape.



Afin de quantifier l’allongement au cours du temps, nous avons défini la grandeur suivante :

$$Ratio = \frac{\text{largeur de la horde}}{\text{hauteur de la horde}}$$

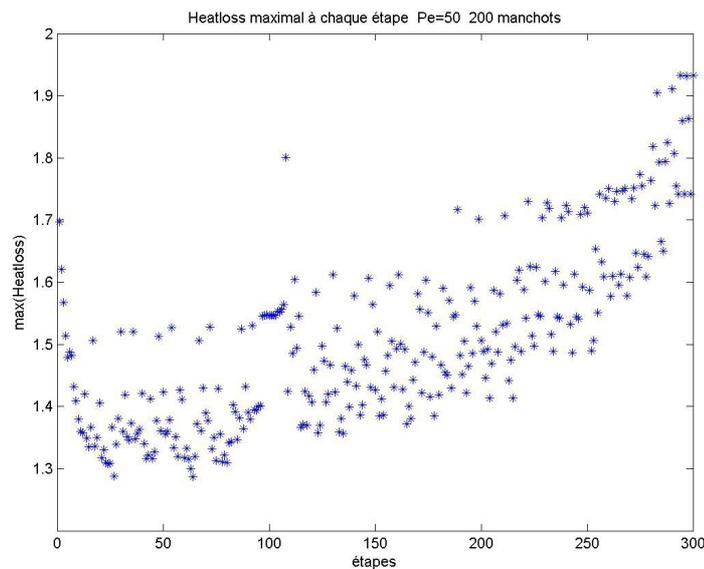
Voici pour une simulation un graphique représentant l’évolution de ce ratio en fonction des étapes.



On remarque que l’allongement augmente au cours du temps pour ensuite se stabiliser. Ce graphe nous montre notre résultat cité plus haut expliquant que la horde cherche tout d’abord à adopter une forme régulière. En effet, le ratio n’augmente pas beaucoup en début de simulation, mais par la suite, le ratio augmente plus franchement. Nous notons l’existence de paliers qui peuvent s’expliquer ainsi : Imaginons que la horde ait plus d’étages que le nombre auquel elle doit se stabiliser. Il va alors falloir retirer un étage d’hexagones, mais les manchots s’en iront un par un et cela prend un certain nombre d’étapes. Voilà pourquoi le ratio

peut rester constant pendant un cours instant pour ensuite augmenter brutalement. En effet, le calcul du ratio se fait à l’aide des coordonnées des manchots les plus excentrés. Alors, même s’il ne reste qu’un manchot sur une ligne donnée, le ratio est calculé de la même manière que si la ligne était complète.

Sur le graphique suivant, nous avons représenté l’évolution du Heatloss maximal obtenu à chaque étape pour une simulation donnée.



Nous constatons que le Heatloss maximal tend à augmenter au cours du temps. Cela est dû au fait que la horde est plus allongée et que souvent le manchot se trouvant le plus à gauche ne possède plus beaucoup de voisins au bout d'un certain temps de simulation.

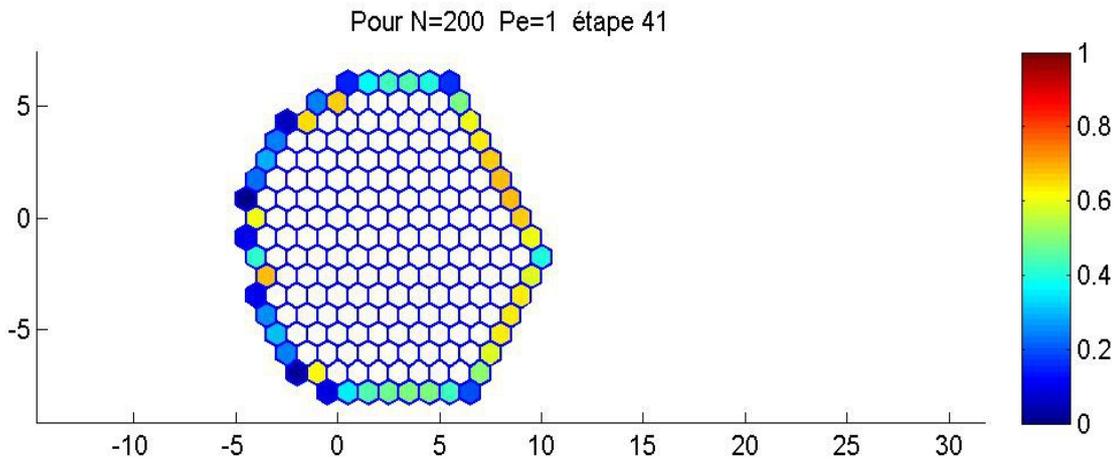
Nous nous sommes intéressés de la même manière à la valeur du Heatloss moyen obtenu à chaque étape au sein de la horde. Nous n'avons remarqué aucune tendance explicite car ce taux était trop fluctuant. On peut alors en conclure que la stratégie individuelle de chaque manchot ne permet pas à la horde de réduire son exposition au vent de manière globale.

5.2 Influence des paramètres sur les résultats

Nous nous sommes demandés si les phénomènes mis en évidence précédemment dépendaient de certains paramètres. Nous avons alors réalisé plusieurs simulations en modifiant les paramètres suivants :

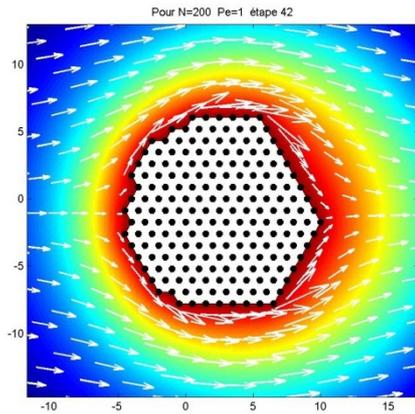
- Nombre de manchots
- Constante de Péclet
- Rayon maximal du domaine de résolution (r_{max})

Nous avons alors constaté que pour une valeur de la constante de Péclet très faible (autrement dit un vent faible). Il n'y avait pas d'avancée de la horde. On arrive à un état d'équilibre qui est le même que celui constaté avec le modèle numéro 2 (voir partie 6.2).



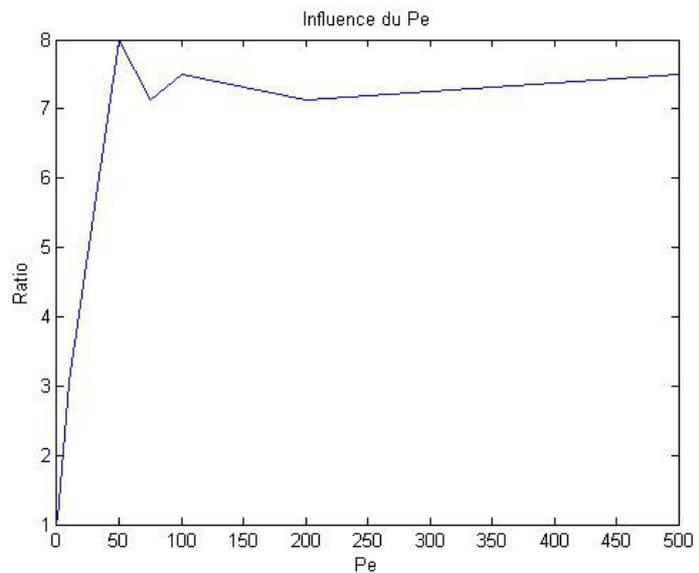
Nous constatons dans ce cas que le ratio est égal à 1.

Dans cette situation, un manchot part de sa place pour y revenir à l'étape d'après. En regardant de plus près à la figure suivante, on remarque bien qu'une valeur de la constante de Péclet faible implique que la chaleur se distribue plus largement et de manière plus symétrique entre le côté gauche et le côté droit. Ce phénomène s'explique par une force du vent qui est alors faible.

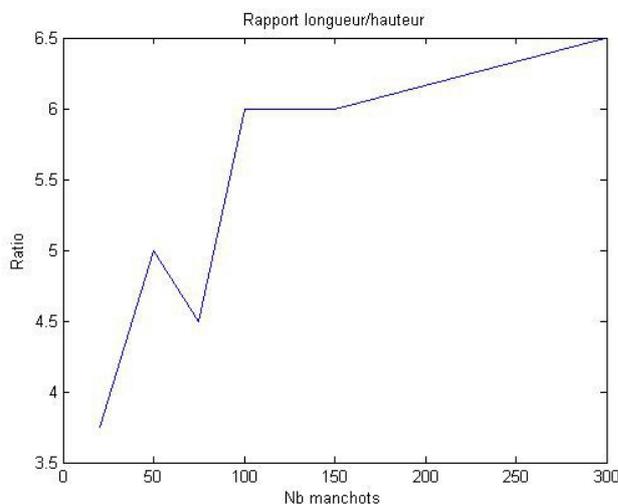


En ce sens, nous avons cherché à déterminer la valeur minimale de la constante de Péclet pour laquelle la horde commence à se déplacer. Nous avons commencé à observer des déplacements à partir de $Pe=8$ pour une horde de 100 manchots.

C'est alors que nous avons étudié l'impact que la constante de Péclet pouvait avoir sur nos simulations. Nous avons donc pris différentes valeurs de la constante et effectué plusieurs simulations pour un même nombre de manchots. Et nous avons pu en tirer le graphe suivant :



Le graphe (obtenu avec des simulations à 200 manchots) nous montre bien qu'à vent faible la horde ne s'affine pas significativement et garde à peu près son ratio d'origine. Mais qu'avec un Péclet plus fort ($Pe > 50$), le vent se fait sentir et alors le ratio est plus élevée. La horde devient alors plus allongée. On remarque qu'à partir d'une certaine valeur de la constante (environ 100), le ratio reste quasiment le même.



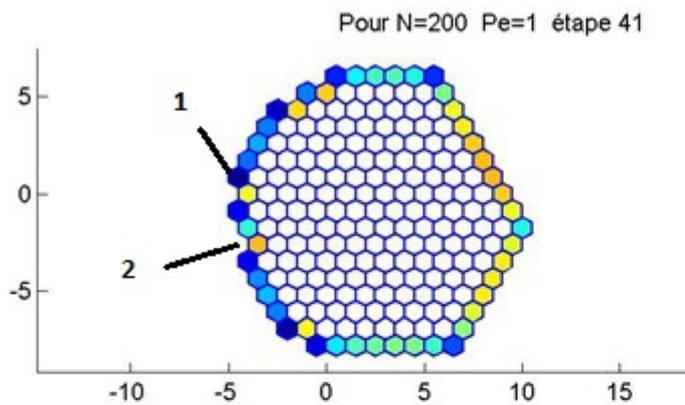
Outre la constante de Péclet, nous nous sommes demandé quel impact avait le nombre de manchots sur nos résultats, de la même façon, nous avons fixé les autres paramètres et fait de multiples simulations en changeant le nombre de manchots pour obtenir le graphe ci-contre.

Le graphe nous montre que le nombre de manchots a tendance à faire augmenter le ratio, même si il a l'air de se stabiliser lorsque le nombre de manchots devient grand.

Pour ce qui est du choix du r_{max} , nous avons testé différentes valeurs. Nous remarquons que lorsque ce nombre dépasse 3, les résultats restent inchangés. Par contre, il ne faut pas prendre une valeur trop petite car le changement de température en bordure de horde serait trop brutal. Nous choisissons alors de le prendre égal à 3. En effet, ayant le choix, nous préférons la valeur la plus petite possible car, à nombre de nœuds de calculs égal, elle offre une discrétisation plus fine.

5.3 Explications des résultats obtenus avec le second modèle

Tout d'abord, rappelons que dans un premier temps la horde cherche à adopter une forme régulière. Le problème dans ce modèle est que lorsque la forme est devenue régulière, elle ressemble à un grand hexagone. Alors, tous les manchots situés sur un même côté de l'hexagone sont confrontés exactement aux mêmes conditions climatiques. Sauf pour les manchots situés aux sommets de l'hexagone ou ceux situés sur un côté qui n'est pas parfaitement lisse. En effet, ceux-là possèdent moins de voisins que les autres et sont donc plus exposés au froid. La figure ci-dessous présente un exemple de situation pour laquelle la horde ne se déplace plus.



Le manchot numéroté 1 sur la figure ci-contre est celui qui a le plus froid. Il se déplace alors vers la position numérotée 2 qui est la plus chaude. Le problème est qu'après ce déplacement, ce même manchot redevient celui ayant le plus froid et la position qu'il avait quitté devient la position la plus chaude. Il va alors regagner sa position d'origine.

Nous arrivons alors à une situation de blocage où le même déplacement aura lieu en boucle.