

Synthèse

Introduction

La grippe est une maladie infectieuse et contagieuse provoquée par le virus influenza.

Le mode d'action de ce virus est similaire aux autres virus, c'est-à-dire qu'il va entrer dans la cellule pour y déverser son matériel génétique et ainsi obtenir, via la machinerie de réplication de la cellule hôte, les protéines virales nécessaires au bon fonctionnement du virus.

Pour lutter contre ce virus, on peut choisir d'inhiber une de ces protéines virales afin de perturber le développement du virus et ainsi diminuer sa prolifération.

On s'intéresse ici à la protéine NS1 du virus influenza car c'est elle qui va s'opposer aux défenses antivirales de la cellule. C'est donc une protéine très importante dans le développement du virus influenza.

NS1

La protéine NS1 du virus influenza a deux domaines, un domaine de liaison à l'ARN (le RBD), et un domaine effecteur. Ces deux domaines sont liés par un linker. Le RBD est la zone clé de cette protéine car pour remplir sa fonction, le RBD doit être lié à de l'ARN.

On voit ici les deux chaînes de la protéine NS1, en vert et bleu.

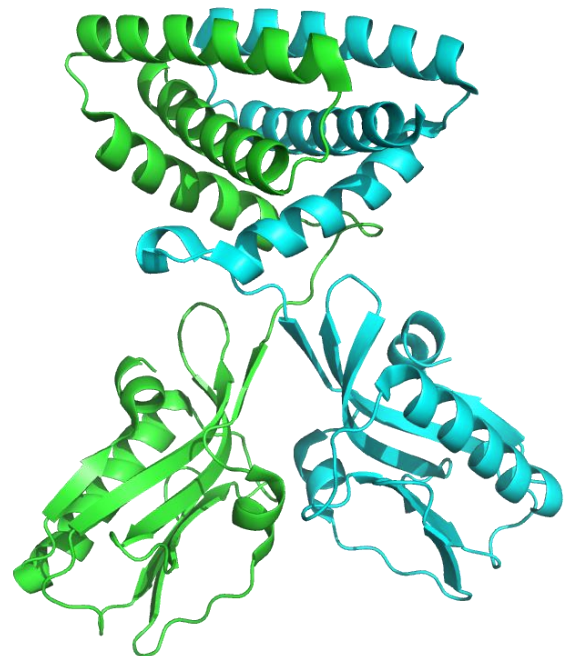
Le RBD correspond à la partie supérieure de la structure.

Le domaine effecteur à la partie inférieure.

Et le linker, le pont entre les deux domaines.

La protéine NS1 agit en faveur du virus en réduisant la réponse du système interféron de la cellule hôte, ce qui affaiblit les défenses de la cellule, et les ARN viraux sont préférentiellement traduits grâce à l'activité de NS1.

Tout cela favorise la réplication virale et donc l'apparition de la maladie.



Objectifs

Notre but à long terme est donc de bloquer la liaison de l'ARN avec le RBD pour ainsi empêcher la protéine NS1 de remplir ses fonctions qui favorisent la prolifération du virus influenza et donc favorisent l'apparition de la maladie.

Notre but à court terme est d'identifier un ligand (molécule médicament) qui pourrait se lier dans la zone d'interaction RBD-ARN avec une bonne affinité et qui pourrait ainsi être utilisé pour inhiber NS1.

Pour ce faire, nous avons choisi d'utiliser le ligand EGCG (qui est utilisé dans la publication Engel, 2013, *Antiviral research*) qui va se fixer sur la protéine NS1.

Nous devons donc réaliser des dockings sur plusieurs conformations de NS1 (issus de la dynamique moléculaire) afin de prédire les régions de NS1 qui vont préférentiellement accueillir le ligand, nous allons retenir les conformations qui accueillent le ligand EGCG dans le RBD avec une énergie d'interaction favorable, enfin, nous allons étudier les propriétés de la zone d'interaction où se lie le ligand, en s'intéressant notamment aux liaisons entre le ligand et les atomes du RBD, ou encore au recouvrement entre les atomes proches du ligand et ceux de la poche où il se loge.

Nous allons avoir besoin de plusieurs outils pour mener à bien ce travail.

Matériels & Méthodes

Voici la liste des outils que nous allons utiliser pour traiter ce problème : Python, Pymol, PockDrug, AutoDock Tools, Vina.

Outils

Python

Python est un outil (langage de programmation) indispensable car il va nous permettre d'automatiser la grande majorité des tâches qui, manuellement, prennent beaucoup de temps et sont surtout très répétitives.

On peut s'en servir pour effectuer un traitement sur une conformation de la protéine NS1 et l'appliquer pour toutes les autres conformations tout en gérant les données obtenues.

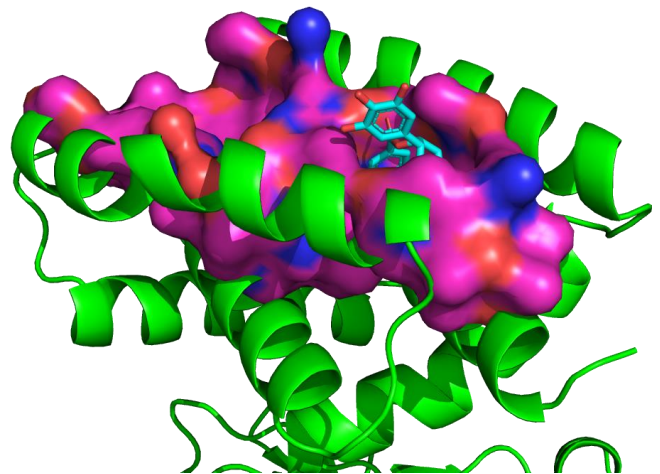
Pymol

Pymol, programme de visualisation de structures de macromolécules 3D, va nous servir à visualiser la protéine ou les différentes conformations de la protéine NS1 (seule ou complexée à son ligand) et à analyser les propriétés structurales de la protéine et d'interactions avec le ligand.

On peut également visualiser les poches disponibles (les cavités) de la protéine où le ligand peut se fixer.

Exemple de visualisation :

Ici on voit la conformation 0040 (en vert) pour laquelle le ligand (en bleu) se fixe dans le RBD dans la poche numéro 0 (en magenta) avec une énergie d'interaction de -10.8 kcal/mol.



On peut utiliser Pymol dans des scripts Python, ce qui est très utile quand on veut automatiser une tâche dans Pymol (comme détecter la position du ligand après un docking).

PockDrug

Chaque protéine a un certain nombre de poches qui sont des cavités où un ligand peut se loger.

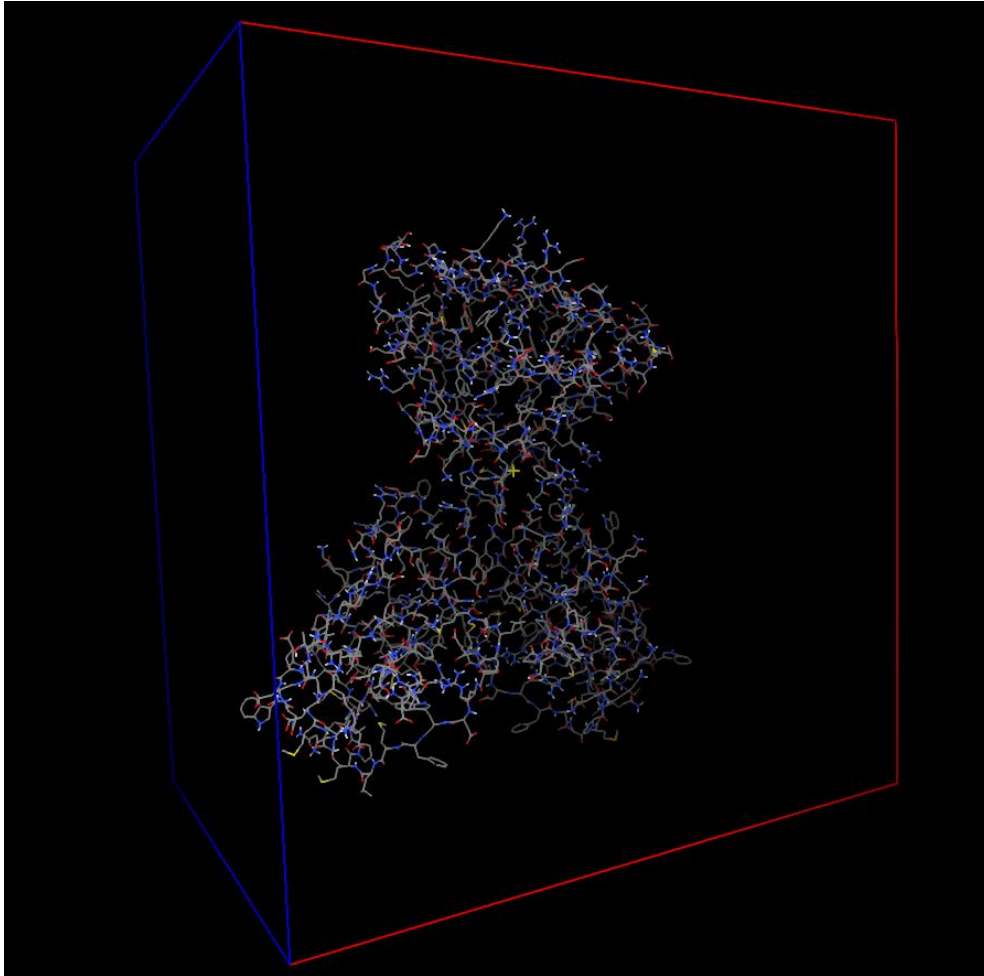
PockDrug peut détecter ces poches à l'aide du programme d'estimation de poches fpocket et nous en donner des caractéristiques (calcul de descripteurs de la géométrie de la poche ou des descripteurs des propriétés physicochimiques) PockDrug est un outil de prédiction de la Druggabilité, calculé pour chaque poche, qui correspond à une valeur de « probabilité » pour une poche à pouvoir accueillir un ligand avec des propriétés de type médicament (molécule drug-like).

ADT

Pour effectuer un docking entre un récepteur et un ligand, nous devons les préparer, c'est-à-dire que nous devons ajouter certaines caractéristiques sur le récepteur et le ligand pour que Vina puisse correctement les utiliser lors des dockings, par exemple, ajouter les charges Gasteiger, ou les hydrogènes polaires pour simuler les interactions entre les atomes.

Pour cela, on utilise AutoDock Tools pour ajouter ces caractéristiques indispensables au docking sur les protéines/ligands pour que tout se passe correctement.

A l'aide d'ADT, on a aussi la possibilité de cibler la zone de docking sur une partie de la protéine. Pour notre cas, nous avons choisi d'effectuer un docking en aveugle et de regarder où se fixe le ligand, pour cela on définit une zone de docking (Grid Box) qui enveloppe toute la protéine, ainsi, le ligand pourra explorer toute la surface de la protéine et se fixer dans certaines régions de la protéine (les poches disponibles) avec une certaine affinité (calcul d'un score ou d'une énergie d'interaction pour chaque pose).



Ici on voit la grid box qui contient la protéine, on réalise ici un docking en aveugle, le ligand va devoir explorer toute la surface de la protéine afin de se loger dans une poche adéquate.

Vina

Avec Vina, on effectue le docking à proprement parler. Ce logiciel prend plusieurs paramètres comme la position de la Grid Box (soit la zone de docking), le récepteur, le ligand...

Vina nous donne, en fin de docking, des logs qui correspondent aux résultats de docking.

Pour chaque position que le ligand aura adoptée, une énergie d'interaction sera associée.

Exemple pour le docking avec la conformation 0002 :

```
#####
# If you used AutoDock Vina in your work, please cite:      #
#                                                            #
# O. Trott, A. J. Olson,                                     #
# AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking #
# with a new scoring function, efficient optimization and    #
# multithreading, Journal of Computational Chemistry 31 (2010) #
# 455-461                                                      #
#                                                            #
# DOI 10.1002/jcc.21334                                       #
#                                                            #
# Please see http://vina.scripps.edu for more information.    #
#####

WARNING: The search space volume > 27000 Angstrom^3 (See FAQ)
Output will be ligand_out.pdbqt
Detected 8 CPUs
Reading input ... done.
Setting up the scoring function ... done.
Analyzing the binding site ... done.
Using random seed: 430232060
Performing search ...
0%   10   20   30   40   50   60   70   80   90  100%
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
*****
done.
Refining results ... done.

mode |   affinity | dist from best mode
     | (kcal/mol) | rmsd l.b. | rmsd u.b.
-----+-----+-----+-----
   1 |      -7.8 |    0.000 |    0.000
   2 |      -7.8 |   24.334 |   26.968
   3 |      -7.7 |   23.544 |   26.380
   4 |      -7.5 |    1.422 |    4.184
   5 |      -7.5 |   23.744 |   26.319
   6 |      -7.5 |    1.624 |    2.535
   7 |      -7.5 |   24.462 |   27.418
   8 |      -7.4 |   11.857 |   14.542
   9 |      -7.4 |   24.450 |   27.091
Writing output ... done.
```

Materiels

Nous avons à disposition 68 conformations de la protéine NS1. Ces conformations sont l'image de la protéine NS1 à différent moment dans le temps, car NS1 est flexible et est donc constamment en mouvement.

Le ligand qu'on utilise a été téléchargé via la base de données ZINC (référence : ZINC3870412 EGCG).

Protocole

PockDrug

Nous devons, dans un premier temps, récupérer la liste des poches disponibles pour les 68 conformations différentes de NS1 obtenues grâce à la dynamique moléculaire qui simule les variations de la structure d'une protéine dans le temps.

Pour cela, on doit charger les 68 conformations sur le site PockDrug et télécharger le dossier crée par ce dernier qui contient les poches possibles pour chaque conformation.

Analyse de PockDrug pour la conformation 0002 :

Pockets ▲	Vol. Hull* ⚙	Hydroph. Kyte* ⚙	Polar Res.* ⚙	Aromatic Res.* ⚙	Otyr atom ⚙	Nb. Res.* ⚙	Drugg Prob* ⚙	Standard Deviation ⚙
P 10	379.0	0.33	0.45	0.09	0.0	11.0	0.85	0.01
P 11°	379.56	-1.43	0.67	0.0	0.0	9.0	0.05	0.02
P 12°	462.77	-1.2	0.67	0.11	0.0	9.0	0.13	0.01
P 13°	393.32	0.41	0.44	0.11	0.0	9.0	0.89	0.01
P 14°	456.11	0.98	0.44	0.11	0.0	9.0	0.97	0.0
P 15°	327.56	0.41	0.5	0.13	0.0	8.0	0.89	0.01
P 16°	249.67	-3.98	1.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0
P 3	724.23	-0.01	0.62	0.23	0.0	13.0	0.85	0.06
P 5°	518.4	0.13	0.5	0.2	0.0	10.0	0.86	0.04
P 6°	794.45	-3.17	0.9	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0
P 8°	388.52	-1.31	0.75	0.13	0.0	8.0	0.11	0.01
P 9°	303.58	-0.2	0.44	0.0	0.0	9.0	0.48	0.11

Select pocket to show ▼

Screenshot

Download results

Showing 1 to 12 of 12 entries

Previous 1 Next

Vol. Hull* = Volume Hull; Hydrophob. Kyte* = Hydrophobic Kyte; Polar Res.* = Polar Residues Proportion;
Aromatic Res.* = Aromatic Residues Proportion (F,Y,H,W); Drugg Prob* = Druggability Probability;
Nb. Res.* = Number of pocket residues

On s'aide d'un script Python qui va charger une à une les conformations dans PockDrug, attendre que le site fasse son analyse, puis le script va télécharger le dossier, pour chaque conformation, qui contient les poches.

Docking

Préparation

ADT

Pour réaliser un docking d'un ligand sur une protéine, nous devons préparer les deux acteurs.

On réalise la préparation avec le logiciel AutoDock Tools qui va ajouter certaines caractéristiques sur la protéine ou ligand.

Pour la protéine, on doit : Enlever l'eau, ajouter les hydrogènes polaires et les charges de Gasteiger.

On choisit la zone de docking avec l'option de la Grid Box et on sauvegarde la position de la Box pour pouvoir l'utiliser avec Vina.

Pour le ligand, il faut d'abord passer sur MarvinSketch afin de rendre le ligand, initialement 2D, en 3D. Ensuite, via ADT, on ajoute les charges de Gasteiger et les axes de rotations de la molécule.

Ces caractéristiques sont nécessaires pour que le docking se passe correctement.

Vina

Nous avons précédemment positionné la Grid Box autour de la protéine et on a sauvegarder les coordonnées de la Box.

On va maintenant écrire ces coordonnées dans un fichier texte ainsi que d'autres paramètres comme le nom du récepteur, du ligand, du fichier de sortie crée suite au docking, du fichier log qui va contenir toutes les informations relatives au docking...

Ce fichier texte est un fichier de configuration utilisé par Vina pour réaliser le docking.

Une fois le docking fini, nous avons à disposition un nouveau fichier en format .pdbqt qui contient le ligand docké sur la protéine.

Pymol

On peut visualiser le docking à l'aide de Pymol. On ouvre la protéine (par exemple la conformation 0040), et on ouvre le fichier crée par Vina qui contient le ligand docké (par exemple *output_0040.pdbqt*). On obtient la visualisation montrée plus haut.

On peut ainsi vérifier dans quelle poche le ligand s'est fixé. Il faut le vérifier pour les 68 conformations, pour cela, on s'aide de scripts Python.

Python

Un premier script Python va calculer la distance entre le centre d'inertie du ligand et celui de toutes les poches d'une conformation et retenir la distance la plus faible comme étant la poche qui contient le ligand.

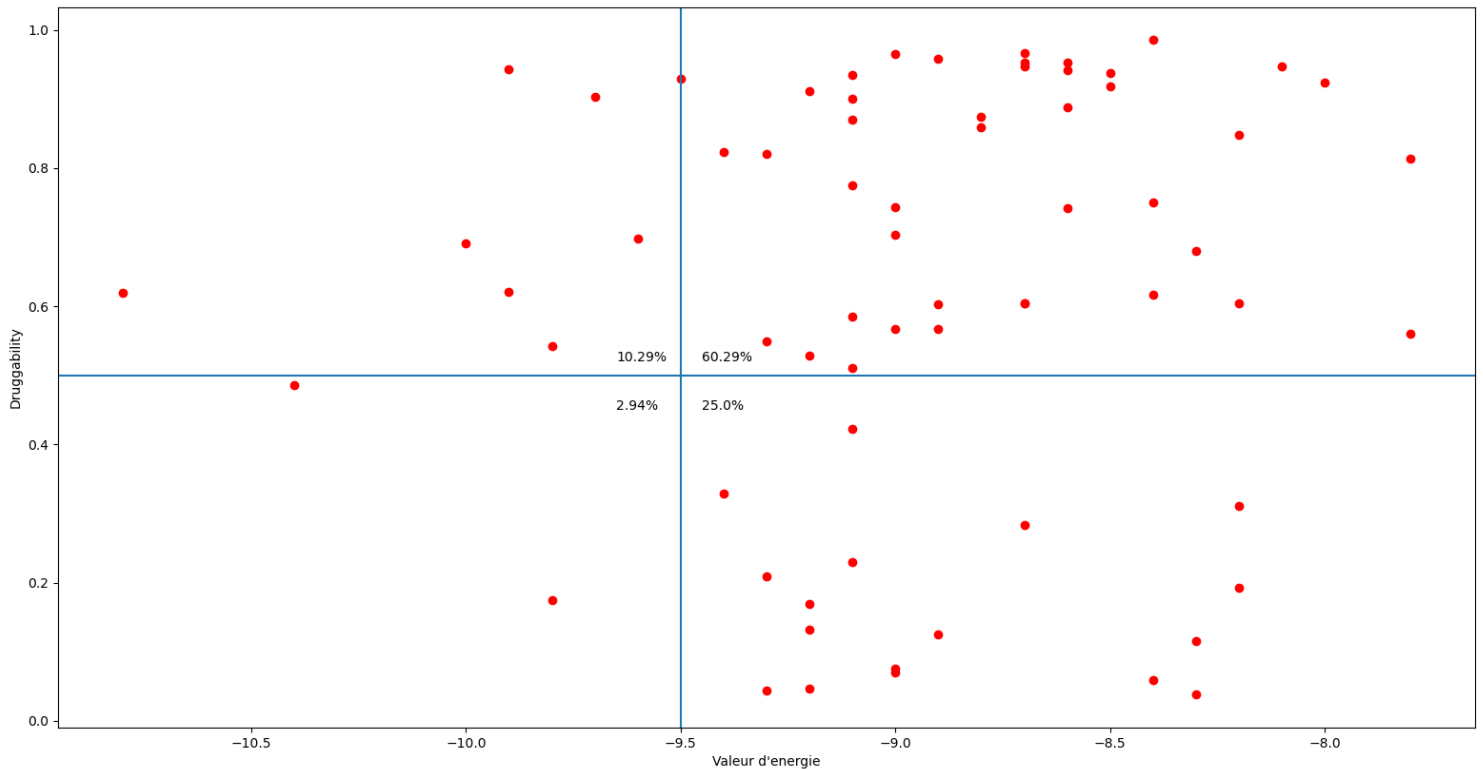
On répète ce processus pour toutes les conformations.

Un deuxième script Python va retenir la valeur d'énergie de la poche qui contient le ligand (valeur donnée par Vina suite au docking) et la druggabilité de cette poche (valeur donnée par PockDrug).

Nous avons donc pour une conformation : le nom de la poche qui contient le ligand, l'énergie et la druggabilité de cette poche.

On fait de même pour toutes les conformations, et à la fin, nous avons des données que l'on peut représenter sous forme de graphique.

Résultat



Sur ce premier graphique est représenté en ordonné la druggabilité et en abscisse la valeur d'énergie d'une poche. Les points en rouge représentent les poches qui contiennent le ligand.

La zone qui nous intéresse est la partie en haut à gauche car la druggabilité est assez élevée (>0.5) et la valeur d'énergie est basse ce qui est synonyme d'une bonne stabilité entre le ligand et la poche.

Ce graphique nous donne une vision globale des données obtenues avec les dockings.

On va maintenant se focaliser sur le RBD qui est le centre de notre problème. Au lieu de retenir toutes les conformations pour un graphique, nous allons prendre uniquement celles qui ont le ligand fixé dans le RBD.

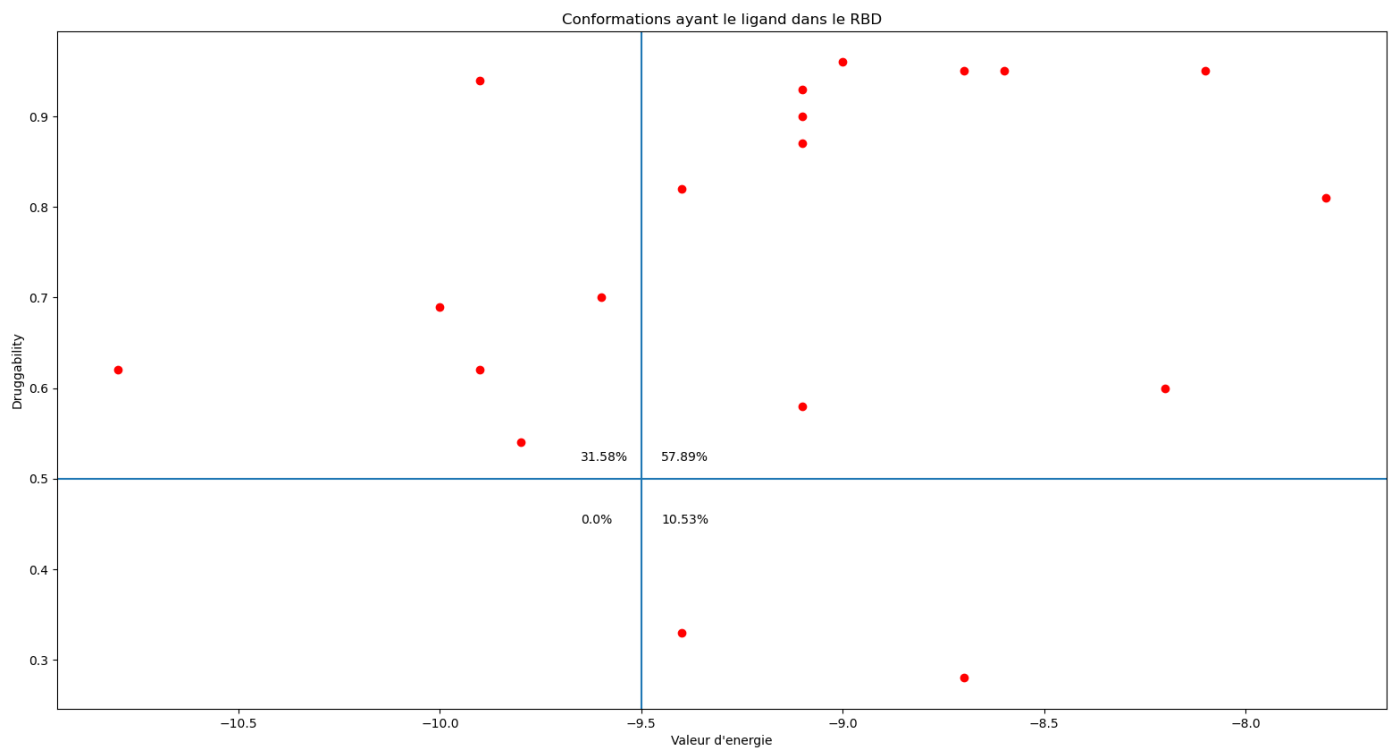
Pour cela, on demande au script Python de retenir les conformations qui ont une distance entre ligand et poche inférieure à 20.

On a comme sortie de script :

Conformation	Distance	Energie
0108	8.028900187123854	-9.6
0029	8.03720211160448	-10.0
0138	8.228623311981774	-9.1
0120	8.913586385710822	-9.9
0116	8.946120768032088	-9.4
0040	9.539624351422187	-10.8
0101	9.839053341386665	-8.1
0140	9.923828334906652	-9.1
0036	10.074803521077287	-9.1
0134	10.765545342080342	-8.6
0015	10.881350078496505	-9.4
0045	10.934097425098905	-8.7
0112	11.498780407549459	-8.7
0139	11.818069011772215	-9.1
0026	11.945243938972196	-9.8
0035	11.949122712863211	-7.8
0030	13.007174140287411	-9.9
0019	14.793329457994222	-9.0
0018	15.120948954746998	-8.2

Nombre de conformations ayant le ligand proche du résidu 38 : 19

Ces 19 conformations ont le ligand proche du résidu 38. On réalise alors un graphique avec ces conformations :



Ici également, la partie qui nous intéresse est la partie en haut à gauche car on a une bonne druggabilité et une bonne valeur d'énergie.

Les conformations qui se trouvent en haut à gauche sont :

PARTIE EN HAUT A GAUCHE			
Energie	Druggability	Conformation	Poche
-10.8	0.62	0040	pocket0
-10.0	0.69	0029	pocket0
-9.9	0.62	0030	pocket0
-9.9	0.94	0120	pocket0
-9.8	0.54	0026	pocket0
-9.6	0.7	0108	pocket0
Nombre de conformations : 6			

Donc pour traiter notre problème de départ, il faudrait se focaliser sur ces conformations car le ligand se trouve dans le RBD suite à un docking en aveugle.

Recouvrement

Pour les conformations ayant le ligand dans le RBD, on calcule le pourcentage de recouvrement entre les atomes proches du ligand et les atomes de la poche afin d'avoir une idée de l'espace que prend le ligand dans la poche.

Conformation	Poche	Recouvrement
0019	pocket0	13.04 %
0015	pocket0	9.0 %
0108	pocket0	19.79 %
0029	pocket0	12.89 %
0138	pocket0	16.07 %
0120	pocket0	17.45 %
0116	pocket0	20.12 %
0040	pocket0	19.7 %
0101	pocket0	15.75 %
0140	pocket0	15.05 %
0036	pocket0	19.59 %
0134	pocket1	16.88 %
0045	pocket12	20.0 %
0112	pocket0	17.98 %
0139	pocket0	23.13 %
0026	pocket0	15.08 %
0035	pocket0	11.27 %
0030	pocket0	17.44 %
0018	pocket0	16.3 %

Conclusion

On a une liste de conformations qui ont le ligand dans le RBD suite à un docking en aveugle, cela veut dire que nous pouvons inhiber NS1 lorsqu'elle adopte une des conformations de la liste.

Dans les résultats, nous avons détecté les poches où le ligand se fixait, pour détecter ces poches, nous avons calculé la distance entre le centre d'inertie de toutes les poches et le ligand, la poche avec la distance la plus faible avec le ligand était considéré comme la poche contenant le ligand.

Cependant, les calculs n'étaient pas fiables à 100% car il y a des cas où la distance entre ligand et poche est la plus faible mais cela ne veut pas tout le temps dire que le ligand se trouve dans cette poche. Elle peut se trouver dans la poche A mais être plus proche du centre d'inertie de la poche B que de la A, donc le script nous dira que le ligand se trouve dans la poche B.

Le script n'a donc pas une précision de 100%, mais plutôt de 90%.

Un critère à ajouter serait de vérifier les séquences, c'est-à-dire vérifier si les résidus qui se trouvent autour du ligand sont aussi dans la poche détecté par le script, mais sur Pymol, la fonction align donne des résultats parfois peu compréhensibles, donc on ne peut pas vraiment faire confiance à cette fonction qui peut donner un gros score d'alignement pour une poche A alors que celle-ci ne contient pas de résidus proche du ligand, et donner un score plus faible à une poche B alors que celle-ci contient des résidus qui sont proches du ligand et donc on devrait obtenir le meilleur alignement.

Cela est peut-être dû à un manque de compréhension de ce fait exactement la fonction align.

Bibliographie

Marc, D. (2012). NS1 des virus influenza: une protéine très «influyente». *Virologie*, 16(2), 95-106.

Carrillo, Berenice, et al. "The influenza A virus protein NS1 displays structural polymorphism." *Journal of virology* 88.8 (2014): 4113-4122.

Engel, Daniel A. "The influenza virus NS1 protein as a therapeutic target." *Antiviral research* 99.3 (2013): 409-416.

Trott, O., & Olson, A. J. (2010). AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *Journal of computational chemistry*, 31(2), 455-461.

Module Python pour automatiser les tâches web : <https://selenium-python.readthedocs.io/index.html>

AutoDock Tools : <http://autodock.scripps.edu/downloads>

Vina : <http://vina.scripps.edu/download.html>

Tutoriel Vina et ADT : <http://vina.scripps.edu/tutorial.html>

MarvinSketch : <https://chemaxon.com/products/marvin>

Annexes

Liste des scripts (à copier-coller dans un éditeur de texte)

Les scripts pythons sont à mettre dans un même dossier car plusieurs scripts travaillent ensembles.

Fichier texte qui contient les paramètres de dockings à utiliser avec le script Bash

```
ligand = ligand.pdbqt
```

```
center_x = 36.713  
center_y = 58.773  
center_z = 43.622
```

```
size_x = 60  
size_y = 90  
size_z = 86
```

Réaliser tous les dockings avec Vina

Ce que fait le script :

- C'est un script bash qui va lancer les dockings avec Vina pour toutes les conformations et créer un dossier pour chaque docking/conformations.

```
for f in conf/*;  
do  
  
    b=`basename $f .pdbqt`  
    echo Processing ligand $b  
    mkdir -p ./result/$b  
  
    ./vina --config dock.txt --receptor $f --out ./result/$b/out_$b.pdbqt -  
-log ./result/$b/log_$b.txt  
  
done;
```

Télécharger les poches sur PockDrug pour toutes les conformations

Ce que fait le script :

- Va sur PockDrug
- Charge une conformation
- Ouvre d'autres onglets pour charger d'autres conformations
- Après avoir chargé un certain nombre X (qu'on peut choisir afin d'éviter une surcharge d'onglets), le script va retourner sur le premier onglet, et si l'analyse par PockDrug est terminée, il procède au téléchargement du dossier contenant les poches pour la conformation en cours (l'onglet actuel) et ferme l'onglet puis passe à l'onglet suivant pour télécharger les autres dossiers.
On peut spécifier le dossier cible pour le téléchargement.
- Une fois qu'on a téléchargé X dossiers, le script charge les X prochaines conformations et procède de la même manière.
Afin de ne pas avoir à charger les 68 conformations, on peut en charger par tranche de 10 et afin d'éviter la surcharge, les onglets sont progressivement fermés.

Comment l'utiliser :

- Les seuls paramètres à modifier par l'utilisateur sont dans l'encadré délimité par des « #### »
Principalement des chemins d'accès à des **dossiers**, mais aussi le nombre total **d'onglets** qu'on souhaite ouvrir, et la valeur de la **tranche**
Il faut également spécifier le chemin d'accès au **driver** (qui dépend du navigateur utilisé) donnée par **Selenium** (le module utilisé pour automatiser les tâches des navigateurs)

```
from selenium import webdriver
from selenium.webdriver.common.keys import Keys
import time
import os

#CHEMINS
#####

#DOSSIER CIBLE POUR LES TELECHARGEMENTS
download_dir = '/home/ragou/Bureau/NS1/conf/pockdrug'

#DOSSIER CONTENANT LES CONFORMATIONS A TESTER
conformation = '/home/ragou/Bureau/NS1/conf/PDB_NS1'

#CHEMIN QUI MENE AU WEBDRIVER DE VOTRE NAVIGATEUR
driver = "/home/ragou/Bureau/NS1/chromedriver"

#####

#PARAMETRES
#####
```

```

#NOMBRE DE FICHIER QUI VONT S'OUVRIR AU TOTAL
onglet_total = 68

#TELECHARGEMENT PAR TRANCHE DE
tranche = 10

#####

onglet_ouvert = 0
indice_depart = 0
nb_fichier_ouvert = 0

dossier = os.listdir(conformation)

filename = []

downname = "pocket_PPE.zip"

#OPTIONS POUR DEFINIR LE DOSSIER CIBLE DES TELECHARGEMENT
chrome_options = webdriver.ChromeOptions()
chrome_options.add_experimental_option("prefs",
{"download.default_directory": download_dir })

#OUVRE UNE PAGE CHROME
navigateur = webdriver.Chrome(chrome_options = chrome_options,
executable_path = driver)
navigateur.maximize_window()

#ALLER SUR LE SITE
navigateur.get("http://pockdrug.rpbs.univ-paris-diderot.fr/cgi-
bin/index.py?page=Druggability")

#POUR METTRE LES CONFORMATIONS SUR POCKDRUG
for fichier in dossier:

    nb_fichier_ouvert +=1
    onglet_ouvert += 1

    #SI ON A ATTEINT LE NOMBRE DE FICHIER OUVERT VOULU (onglet) ON STOP
    if nb_fichier_ouvert > onglet_total:
        navigateur.close()
        nb_fichier_ouvert -= 1
        break

    print("Conformation ouverte : {}".format(fichier))

    filename.append(fichier)

```

```

upload = '{}/{'}.format(conformation,fichier)

#CHOISIR LA 2E SECTION
navigateur.find_element_by_xpath('/html/body/div[2]/div/div[1]/div[2]/form/fieldset[2]/div/label/font/b/input').click()

#COCHER "UPLOAD YOUR PDB FILE"
navigateur.find_element_by_id("Radio1").click()

#UPLOAD LE FICHIER
navigateur.find_element_by_xpath('/html/body/div[2]/div/div[1]/div[2]/form/div[2]/div/fieldset[1]/div/div[1]/a/input').send_keys(upload)

#SUBMIT
navigateur.find_element_by_xpath("/html/body/div[2]/div/div[2]/center/input[1]").click()

#OUVRIR UN NOUVEL ONGLET
navigateur.execute_script("window.open('http://pockdrug.rpbs.univ-paris-diderot.fr/cgi-bin/index.py?page=Druggability')")

if onglet_ouvert == tranche or nb_fichier_ouvert == onglet_total:
    print("\n\n")

    #TELECHARGE LES POCHES DES CONFORMATIONS OUVERTS DANS POCKDRUG
    for i in range(indice_depart,indice_depart + onglet_ouvert):

        navigateur.switch_to.window(navigateur.window_handles[0])
        time.sleep(1)

        navigateur.find_element_by_xpath('//*[@id="PPE-desc"]/div[2]/form/div/input').click()
        navigateur.close()

        time.sleep(2)

        os.rename("{}{}/{}".format(download_dir,downname),"{}{}/{}.zip".format(download_dir,os.path.splitext(filename[i])[0]))

        print("Avancee : {}".format(nb_fichier_ouvert))
        indice_depart += onglet_ouvert
        onglet_ouvert = 0

#ON SWITCH SUR LE NOUVEL ONGLET POUR POUVOIR AGIR DESSUS
navigateur.switch_to.window(navigateur.window_handles[onglet_ouvert])

print("\nNombre de fichiers telecharges au total : {}".format(nb_fichier_ouvert))

```


Détecter les poches qui ont le ligand

Ce que fait le script :

- Charge la conformation mis en argument de la fonction detect_distance
- Charge le résultat de docking lié à cette conformation, soit le ligand docké
- Récupère la position du ligand
- Récupère la position d'une première poche
- Calcul la distance entre le ligand et la poche
- Si elle est inférieure à un certain seuil, on retient cette poche et cette distance devient le nouveau seuil afin de réduire progressivement ce seuil pour trouver la poche avec la distance la plus faible
- On charge les autres poches et on fait de même

Comment l'utiliser :

- Il suffit de spécifier le chemin vers le dossier contenant les résultats de docking (**path_dock**) et le dossier contenant les poches téléchargées via PockDrug (**path_poche**)

```
from pymol import cmd
from math import sqrt
import os

#FONCTION POUR DETECTER LA POCHE QUI CONTIENT LE LIGAND

#CONFORMATION : CONFORMATION POUR LAQUELLE IL FAUT DETECTER LA POCHE QUI
CONTIENT LE LIGAND
#PATH_DOCK : CHEMIN QUI MENE AU DOSSIER QUI CONTIENT LES RESULTATS DE
DOCKINGS
#PATH_POCHE : CHEMIN QUI MENE AU DOSSIER QUI CONTIENT LES POCHES POUR LA
CONFORMATION

def detect_distance(conformation ,path_dock,path_poche):

    #DOSSIER QUI CONTIENT LES POCHES
    dossier_poche = os.listdir(path_poche)

    #DOSSIER QUI CONTIENT LES RESULTATS DE DOCKING
    dossier_dock = os.listdir(path_dock)

    #DOSSIER QUI CONTIENT LES CONFORMATIONS
    dossier_conf = os.listdir("{}/{}/{}".format(path_poche,conformation))

    #ON CHARGE DANS PYMOL LA CONFORMATION ET LE LIGAND
    cmd.load("{}/{}/{}/{}.pdbqt".format(path_dock,conformation,conformation)
,"conf")
    cmd.load("{}/{}/{}/out_{}.pdbqt".format(path_dock,conformation,conformation)
,"lig")

    #ON SE FOCALISE SUR LA PREMIERE POSE DU LIGAND
    cmd.create("obj","lig",1)
    cmd.center("obj")
```

```

#ON SAUVEGARDE LA POSITION DU CENTRE D'INERTIE DU LIGAND
poz_lig = cmd.get_position()

#VALEUR DE REFERENCE POUR LA DISTANCE QUI CHANGE AU FUR ET A MESURE
D_ref = 100
pock = ''

#POUR TOUTES LES POCHE DE LA CONFORMATION
for i in range(len(dossier_conf) - 1):

    #ON CHARGE LA POCHE DANS PYMOL
    nom = "pocket{}".format(i)

    cmd.load('{}_{}/{}_atm.pdb'.format(path_poche,conformation,nom),nom)
    cmd.center(nom)

    #ON SAUVEGARDE LA POSITION DU CENTRE D'INERTIE DE LA POCHE
    poz_pock = cmd.get_position()

    #ON CALCULE LA DISTANCE ENTRE LE CENTRE D'INERTIE DE LA POCHE ET DU
    LIGAND
    D = sqrt((poz_lig[0]-poz_pock[0])**2 +(poz_lig[1]-
    poz_pock[1])**2 +(poz_lig[2]-poz_pock[2])**2)

    #ON RETIENT LES POCHE QUI ONT UNE DISTANCE PAR RAPPORT AU LIGAND
    INFÉRIEUR A UNE DISTANCE REFERENCE
    if(D < D_ref):

        #ON ACTUALISE LA DISTANCE DE REFERENCE A LA DISTANCE LA PLUS
        FAIBLE

        D_ref = D
        pock = nom

    cmd.delete(nom)

    cmd.delete("conf")
    cmd.delete("lig")
    print("La meilleure poche : {} pour le docking
    {}".format(pock,conformation))

    return {conformation:pock}

path_dock = "C:/Users/Radja/Desktop/NS1/Vina/result"
path_poche = "C:/Users/Radja/Desktop/NS1/conformation/pockdrug"
dossier_dock = os.listdir(path_dock)
i = 0

for conformation in dossier_dock:

    detect_distance(conformation,path_dock,path_poche)

```

Détecter les conformations qui ont le ligand proche du résidu 38

Ce que fait le script :

- Charge une conformation
- Charge le résultat de docking associé à cette conformation, soit le ligand
- Récupère la position du ligand
- Récupère la position du résidu 38 qui se trouve dans le RBD
- On retient toutes les conformations qui ont une distance entre le ligand et le résidu 38 inférieure à un certain seuil, nous avons choisi 20 pour ce script car toutes les conformations qui ont une distance ligand-résidu38 en dessous de 20 ont le ligand dans le RBD.

Comment l'utiliser :

- Il suffit de spécifier le chemin vers le dossier contenant les résultats de docking (**path_dock**)

```
from pymol import cmd
from math import sqrt
import os

#FONCTION POUR DETECTER LES CONFORMATIONS QUI ONT LE LIGAND PROCHE DU
RESIDU 38 (= DANS LE RBD)
def detect_res38(path_dock,distance,pic = 0):

    dossier_dock = os.listdir(path_dock)
    ok = {}

    for conformation in dossier_dock:

        cmd.load("{}/{}/{}.pdbqt".format(path_dock,conformation,conformation)
,"conf")

        cmd.load("{}/{}/out_{}.pdbqt".format(path_dock,conformation,conformat
ion),"lig")

        cmd.create("obj","lig",1)

        cmd.center("obj")
        poz_lig = cmd.get_position()

        cmd.select("r38","res 38")
        cmd.center("r38")

        poz_38 = cmd.get_position()

        D = sqrt((poz_lig[0]-poz_38[0])**2 +(poz_lig[1]-poz_38[1])**2
+(poz_lig[2]-poz_38[2])**2)
```

```

if(D < distance):

    if(pic == 1):
        cmd.show("surface","r38")
        cmd.set_view ("\
            -0.298310757,      0.680330575,      -0.669443905,\
              0.016840594,      0.705018342,      0.708981633,\
              0.954314768,      0.200224459,      -0.221768484,\
            -0.000218070,      -0.000902027,      -86.197776794,\
            40.384254456,      78.192932129,      43.972404480,\
            -5.481759548,      177.321334839,      -20.000000000" )
        cmd.png(conformation,width = 1700, height = 750)
        ok.update({conformation:D})

    cmd.delete("conf")
    cmd.delete("lig")

ok = sorted(ok.items(),key= lambda t:t[1])

return ok

path_dock = "C:/Users/Radja/Desktop/NS1/Vina/result"

dossier_dock = os.listdir(path_dock)

ok = detect_res38(path_dock,20)

print("\nConformation \t Distance \t\t\t Energie\n")
for conf, dis in ok:
    nrj = energie.valeur_energie(path_dock,conf,"1")
    print(conf,"\t\t",dis,"\t\t",nrj)

print("\nNombre de conformations ayant le ligand proche du résidu 38 :
",len(ok))

```

Récupérer les valeurs d'énergie et de Druggabilité pour une poche et réalisation des graphiques

Ce que fait le script :

- La fonction `valeur_energie` va récupérer la valeur d'énergie d'une poche (celle qui correspond à la pose 1) dans le fichier log qui provient de Vina suite au docking. Dans ce fichier texte, nous avons plusieurs poses qui correspondent à différentes positions du ligand après docking classées selon la valeur d'énergie (la pose 1 étant la meilleure, la valeur d'énergie est la plus basse)
- La fonction `valeur_drug` va récupérer la valeur de druggabilité d'une poche dans le fichier texte fourni par PockDrug qui résume les différentes caractéristiques des poches avec notamment la valeur de druggabilité de celle-ci.
- Pour toutes les conformations, on récupère le nom de la poche qui contient le ligand à l'aide de la fonction qui calcule les distances ligand-poche, puis on lance les deux fonctions pour récupérer l'énergie et la druggabilité de cette poche
- Puis, quelques lignes de codes pour la mise en forme des données obtenues (calcul de pourcentages, affichage...)
- Enfin, le graphique à l'aide du module **matplotlib**

Comment l'utiliser :

- Il suffit de spécifier le chemin vers le dossier contenant les résultats de docking (**path_dock**) et le dossier contenant les poches téléchargées via PockDrug (**path_poche**)

```
import os
import detect
import matplotlib.pyplot as plt
import res38

#FONCTION POUR RECUPERER LA VALEUR D'ENERGIE D'UNE POCHE
def valeur_energie(path_dock,conformation,pose):

    with
open("{} / {} / log_{}.txt".format(path_dock,conformation,conformation)) as
fich:
    for ligne in fich:
        if(ligne[:4] =='    {}'.format(pose)):
            mot = ligne.split(" ")

            if(mot[11] != ""):
                return (float(mot[11]))
            else:
                return (float(mot[12]))

#FONCTION POUR RECUPERER LA VALEUR DE DRUGGABILITE D'UNE POCHE
def valeur_drug(path_poche,conformation,poche):
    nom = "{}_atm".format(poche)

    with open("{} / {} / pocket_PPE.txt".format(path_poche,conformation)) as
fich:
        for ligne in fich:
            mot = ligne.split("\t")
```

```

        if(mot[0] == nom):

            return (float(mot[-2]))

path_dock = "C:/Users/Radja/Desktop/NS1/Vina/result"
path_poche = "C:/Users/Radja/Desktop/NS1/conformation/pockdrug"

dossier_poche = os.listdir(path_poche)
dossier_dock = os.listdir(path_dock)


dico = {}
pose = "1"

energie = []
drug = []
conf_list = []
poche_list= []


#POUR LES CONFORMATIONS AYANT LE LIGAND PROCHE DU RESIDU 38
"""
proche_res38 = res38.detect_res38(path_dock,20)

for conf, dis in proche_res38:
    dico.update(detect.detect_distance(conf,path_dock,path_poche))
"""

#POUR TOUTES LES CONFORMATIONS
for conf in dossier_dock:
    dico.update(detect.detect_distance(conf,path_dock,path_poche))


#ON SAUVEGARDE LES VALEURS D'ENERGIE ET DE DRUGGABILITE
for conformation,poche in dico.items():
    conf_list.append(conformation)
    poche_list.append(poche)
    energie.append(valeur_energie(path_dock,conformation,pose))
    drug.append(round(valeur_drug(path_poche,conformation,poche),2))

energie,drug,conf_list,poche_list =
zip(*sorted(zip(energie,drug,conf_list,poche_list)))

taille = len(energie)


plt.plot(energie,drug,'ro')
plt.ylabel("Druggability")
plt.xlabel("Valeur d'energie")
plt.axvline(-9.5)

```

```

plt.axhline(0.5)

list_HG = []
list_BG = []
list_HD = []
list_BD = []
HG = 0
HD = 0
BG = 0
BD = 0

#COMPTAGE DES POINTS ROUGES DU GRAPHIQUE SELON LA ZONE (HG : HAUT_GAUCHE ...)
for e,d,con,po in zip(energie,drug,conf_list,poche_list):
    if(e < -9.5 and d > 0.5):

        list_HG.append((e,d,con,po))
        HG +=1

    if(e < -9.5 and d < 0.5):
        list_BG.append((e,d,con,po))
        BG +=1

    if(e > -9.5 and d > 0.5):
        list_HD.append((e,d,con,po))
        HD +=1

    if(e > -9.5 and d < 0.5):
        list_BD.append((e,d,con,po))
        BD +=1

#CALCUL DE POURCENTAGE POUR CHAQUE ZONE

PHG = round(HG/taille * 100,2)
PHD = round(HD/taille * 100,2)
PBG = round(BG/taille * 100,2)
PBD = round(BD/taille * 100,2)

#MISE EN FORME DES DONNEES SELON LA ZONE

print("\nPARTIE EN HAUT A GAUCHE\n")
print("Energie\t\t Druggability\t\t Conformation\t Poche")

for e,d,c,p in list_HG:

    print(e, '\t\t', d, '\t\t\t', c, '\t\t', p)
print("\nNombre de conformations : ",len(list_HG))

print("\nPARTIE EN HAUT A DROITE\n")
print("Energie\t\t Druggability\t\t Conformation\t Poche")

for e,d,c,p in list_HD:

    print(e, '\t\t', d, '\t\t\t', c, '\t\t', p)
print("\nNombre de conformations : ",len(list_HD))

print("\nPARTIE EN BAS A GAUCHE\n")

```

```

print("Energie\t\t Druggability\t\t Conformation\t Poche")

for e,d,c,p in list_BG:

    print(e, '\t\t', d, '\t\t\t', c, '\t\t', p)
print("\nNombre de conformations : ", len(list_BG))


print("\nPARTIE EN BAS A DROITE\n")
print("Energie\t\t Druggability\t\t Conformation\t Poche")

for e,d,c,p in list_BD:

    print(e, '\t\t', d, '\t\t\t', c, '\t\t', p)
print("\nNombre de conformations : ", len(list_BD))


#GRAPHIQUE

plt.annotate("{}%".format(PHG), xy=(-9.65, 0.52))
plt.annotate("{}%".format(PHD), xy=(-9.45, 0.52))
plt.annotate("{}%".format(PBG), xy=(-9.65, 0.45))
plt.annotate("{}%".format(PBD), xy=(-9.45, 0.45))

#plt.title("Conformations ayant le ligand dans le RBD")
plt.show()

```