



# Utilisation de méthodes d'apprentissage pour l'optimisation du nettoyage de surface par ultrasons

Marc BRUSTOLIN, Cyril MAUGER et Claude INSERRA

Journées de la GI EIF 11 et 12 juillet 2024



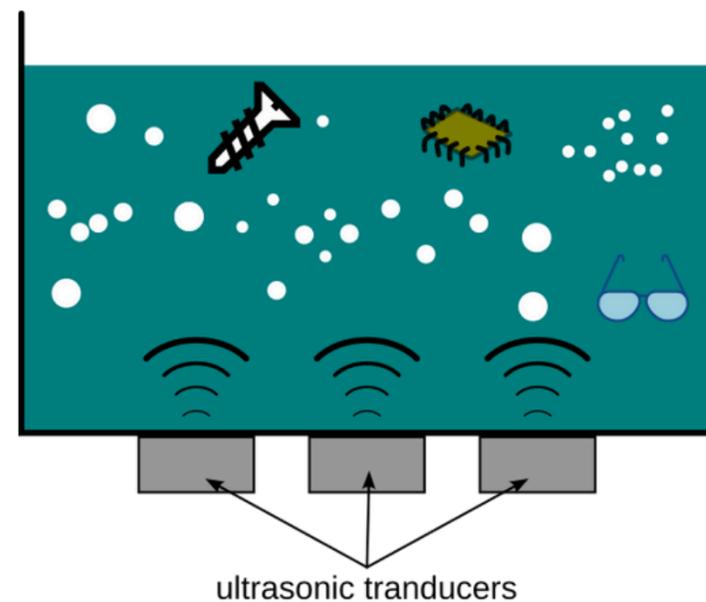
# Contexte : nettoyage de surface par US

Procédé connu et utilisé avec succès depuis longtemps :

- traitement d'objets à géométrie complexe,
- solubilisation des huiles,
- suppression de la rouille,
- désinfecter les surfaces...



Kemet©



Génération de micro-bulles :

- mécanismes violents (cavitation)
- pas souhaitable pour des applications sensibles (micro-processeur, matériau vivant)  
→ **recours à une excitation US modérée (plus d'implosion)**  
→ **micro-écoulements (cisaillement)**

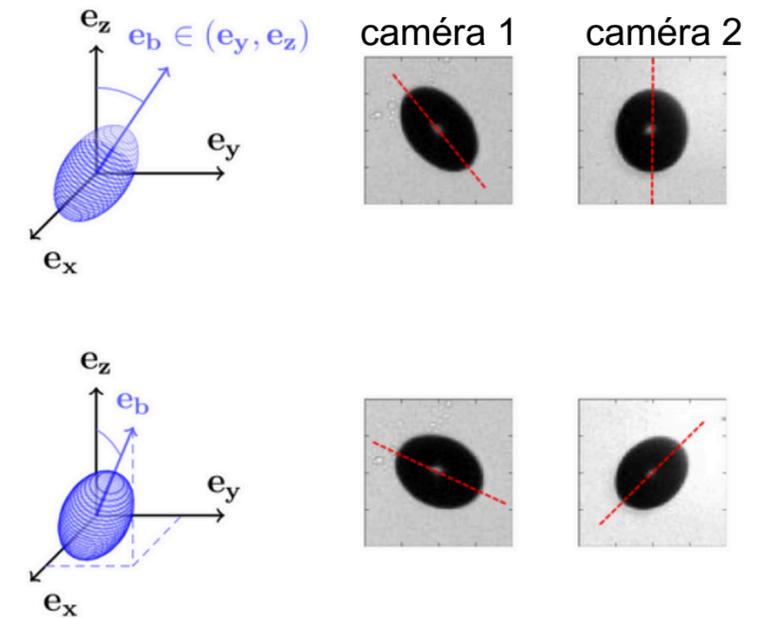
# Prédire les micro-écoulements

Déformation de l'interface des bulles :

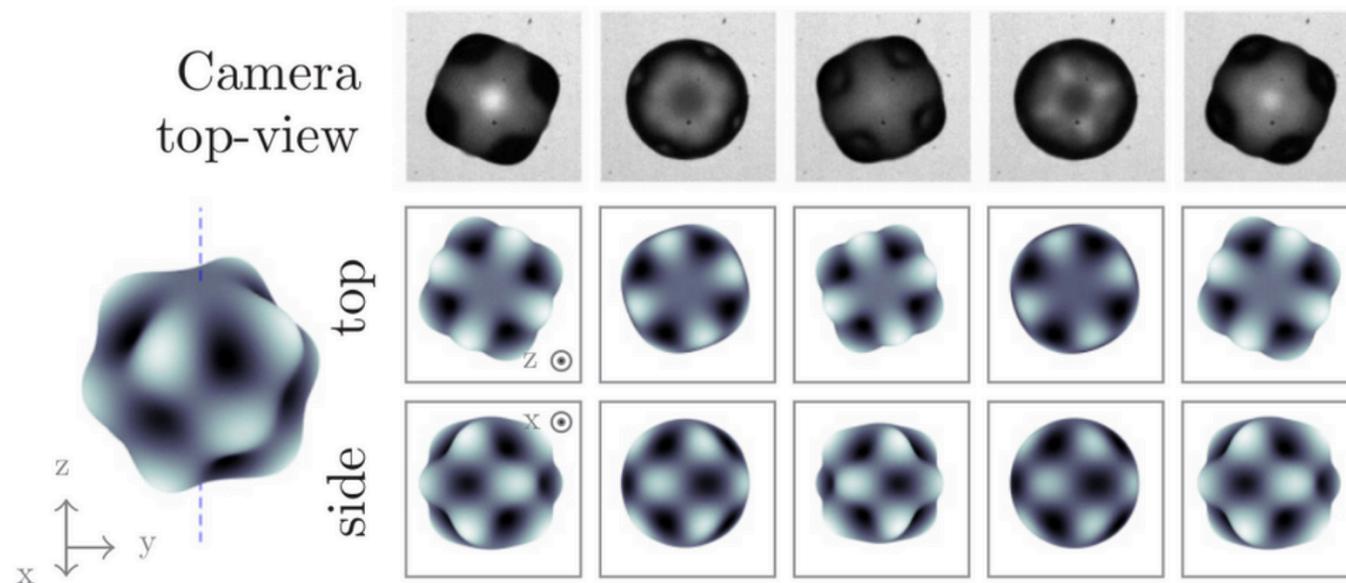
- radiale  $\rightarrow$  **OK** (1 caméra)
- translation  $\rightarrow$  **OK** (2 caméras  $\perp$ )
- modes de surface  $\rightarrow$  **pas OK**

Dépose des bulles sur paroi :

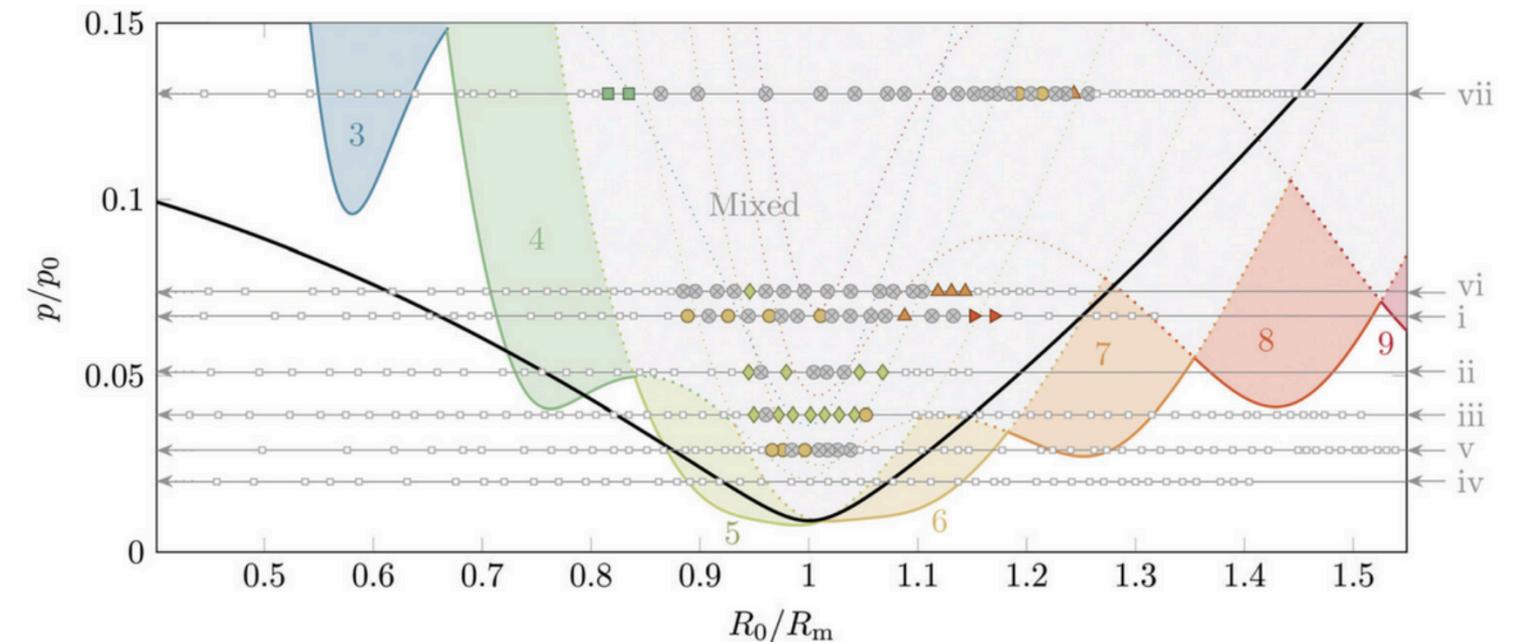
- Brisure de symétrie
- Déformation asymétrique



Guédra et al., Phys. Rev. E **96**, (2017)



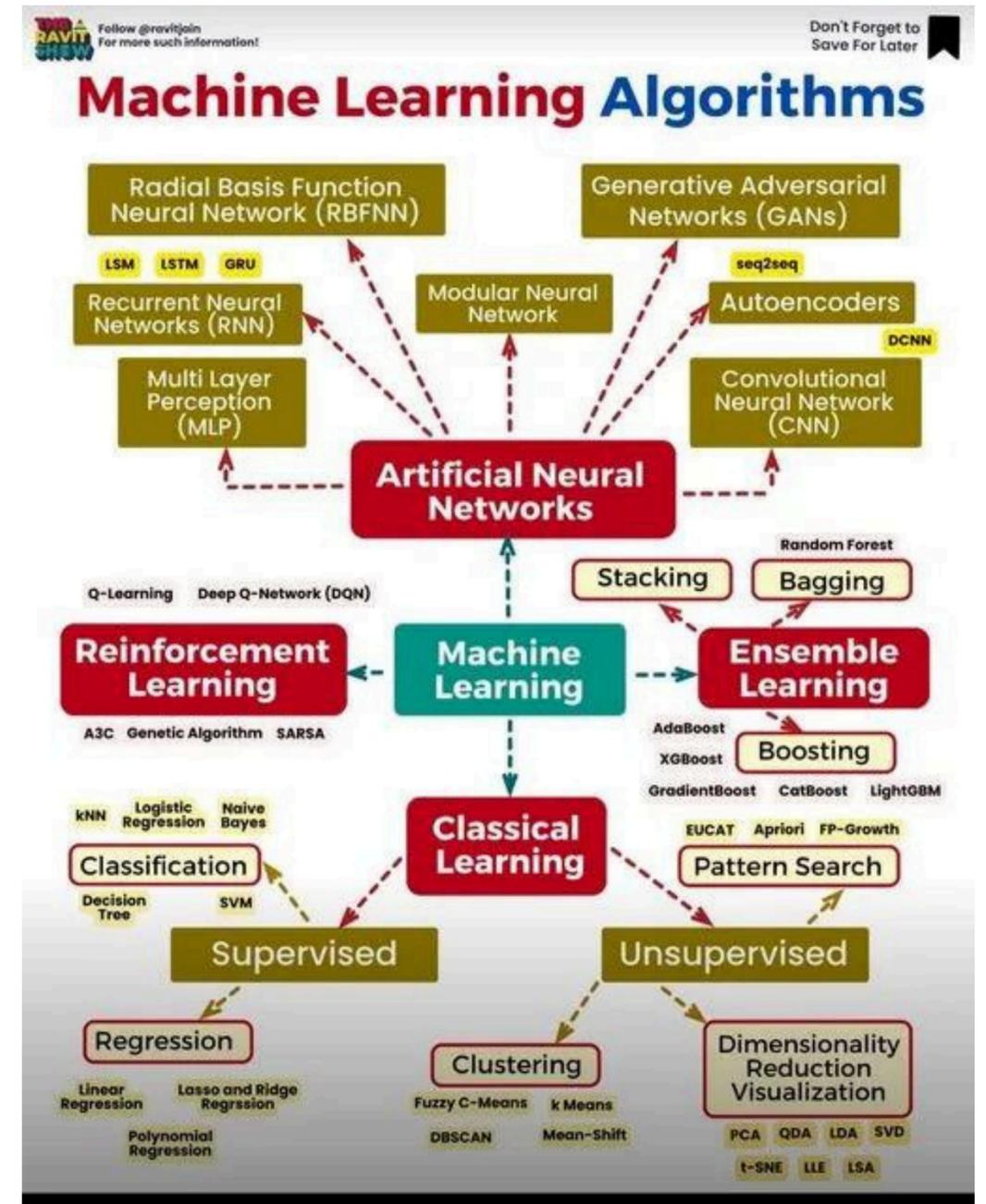
Fauconnier et al., Phys. Rev. E **102**(3), (2020)



Saint-Michel & Garbin, Soft Matter **16**(46), (2020)

# Qu'est-ce que le Machine Learning :

- C'est une branche de l'Intelligence Artificiel.
- S'appuie sur des approches mathématiques et statistiques.
- Apprendre de manière autonome à effectuer une tâche ou à réaliser des prédictions à partir de données.
- Nécessite :
  - Des données pour l'entraînement (dataset) avec :
    - Des données en entrées.
    - Des données à prédire appelées labels (facultatif).
  - Un découpage du dataset en 2 ou 3 partie, set d'entraînement, de test et de validation (facultatif).



# Le machine learning :

	<b>Apprentissage supervisé</b>	<b>Apprentissage non supervisé</b>
<b>Type de données</b>	Données labellisées	Données non labellisées
<b>Type de problèmes</b>	Regression et classification	Association et Clustering
<b>Approche</b>	Étudier les relations sous-jacentes qui lient les données en entrée aux labels	Découvrir les motifs communs au sein des données d'entrée

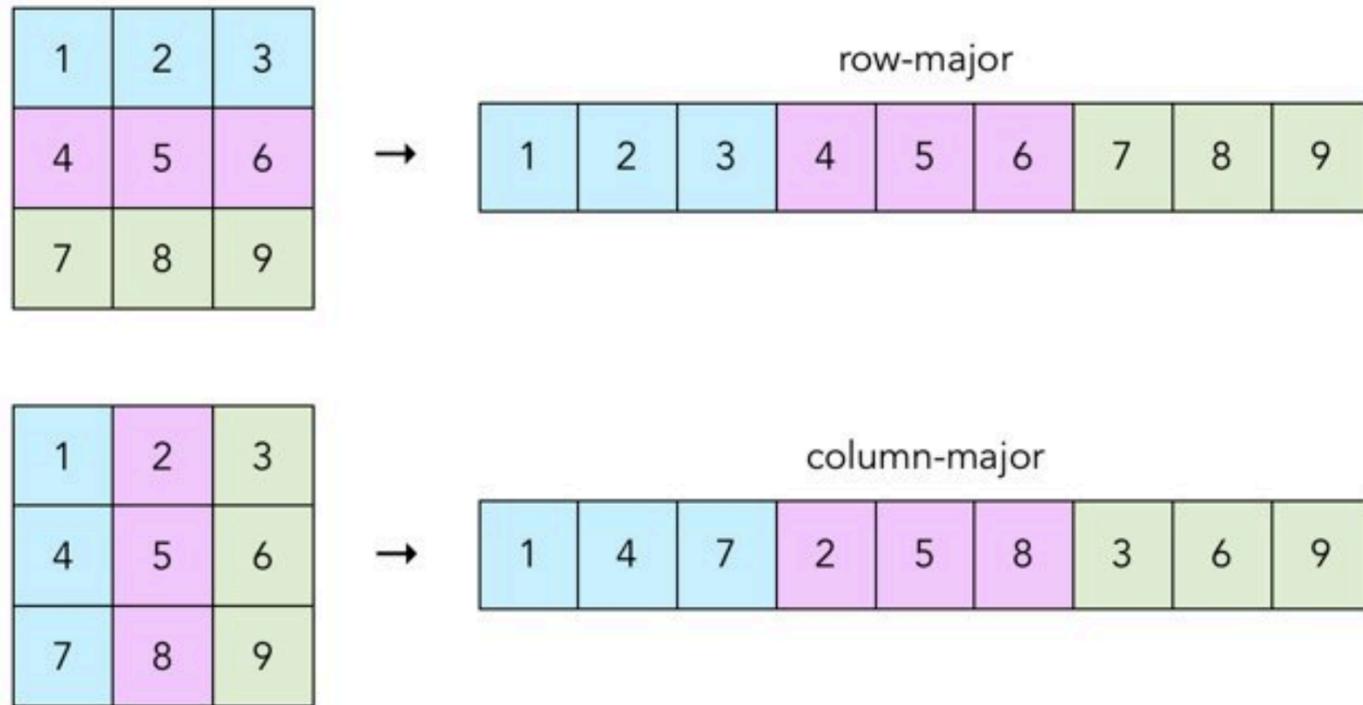
# Découpage du travail :

- Création du dataset.
- Entraînement des algorithmes.
- Commencer simple :  $R(t) = R_0 + a_0 \times \cos(2 \times \pi \times f \times t)$

où  $R_0$  est le rayon d'équilibre de la bulle,  $a_0$  l'amplitude de l'oscillation radiale, et  $f$  la fréquence d'excitation ultrasonore.

- Déformation sphérique de la bulle.
- Prédiction du rayon d'équilibre ( $R_0$ ) et l'amplitude de déformation.
- Ajouter des éléments :
  - La bulle se déforme au cours du temps :  $t=0, t=T/5, t=2T/5, t=3T/5, t=4T/5$ .
  - Bulle non positionnée au centre de l'image.
  - Prédire d'autres paramètres (le mode de la bulle).

# Création du dataset :



Nom du fichier après la génération de l'image :

50R10.0Amp0modX0modY0modL0modM0000.tif

Nom du fichier après la superposition des 5 temps :

SideView\_50R10.0Amp0modX0modY0modL0modM.tif

- Générer les images des bulles.
- Traitement d'image
  - Image en couleur → nuance de gris
  - Détection de contour
  - Combiner les 5 temps en 1 image
- Vectorisation de l'image pour le dataset
- Labellisation des informations pour la prédiction

# Gestion de la dimension de temps

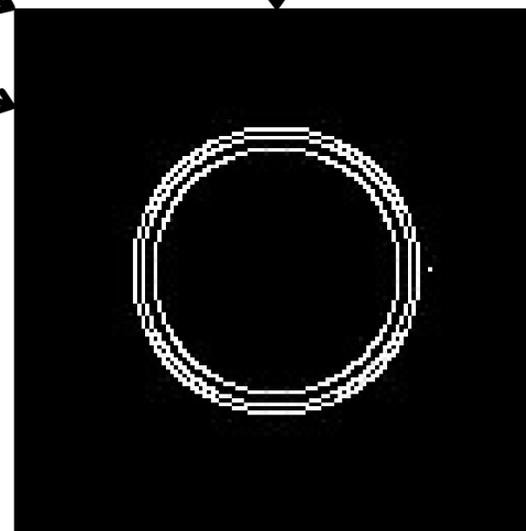
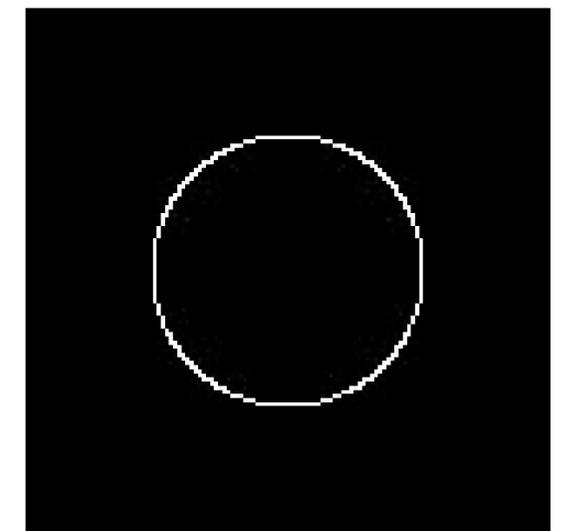
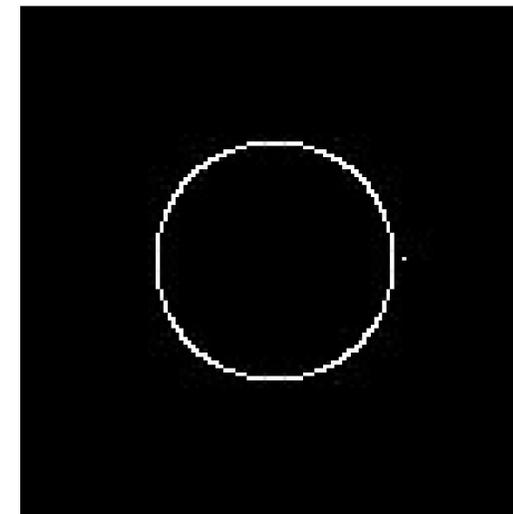
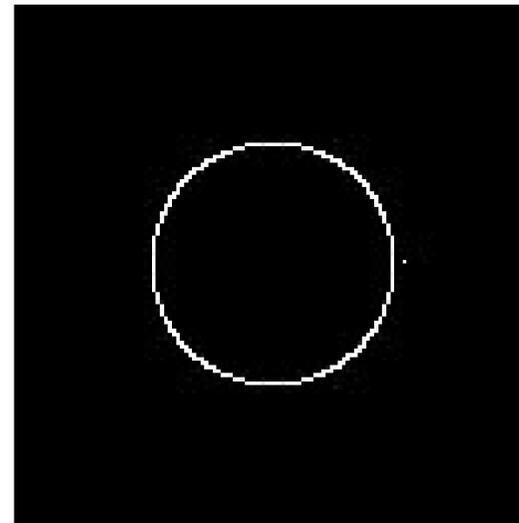
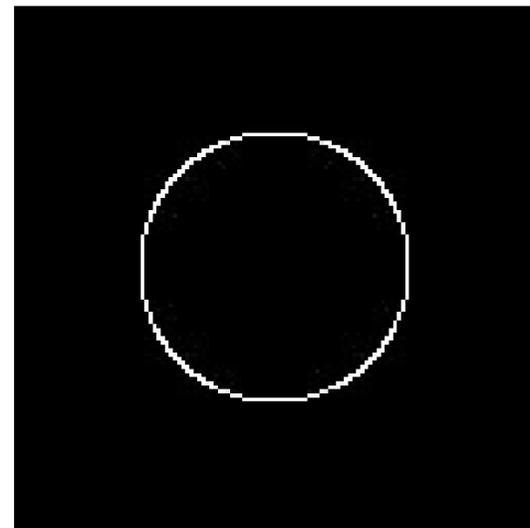
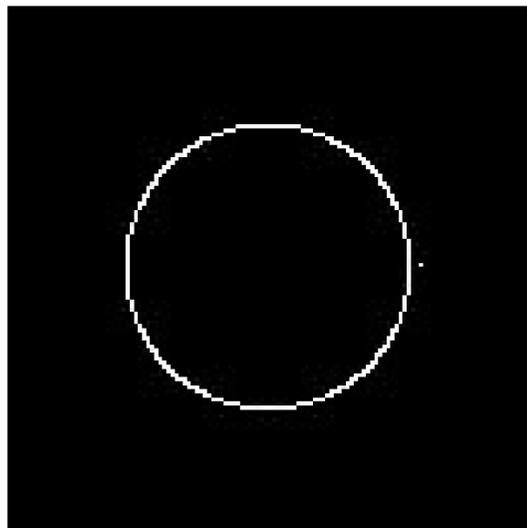
$t = 0$

$t = T/5$

$t = 2T/5$

$t = 3T/5$

$t = 4T/5$

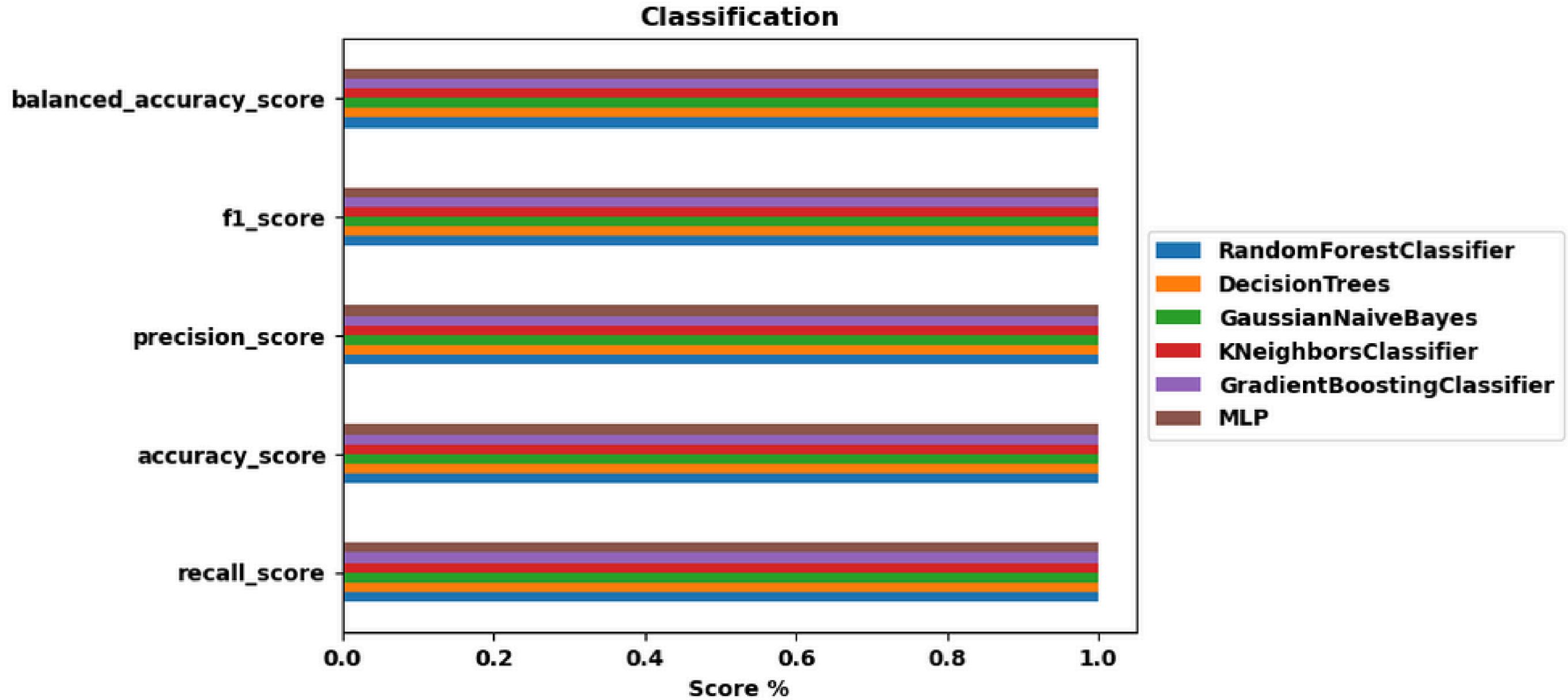


# Création du dataset pour oscillation sphérique :

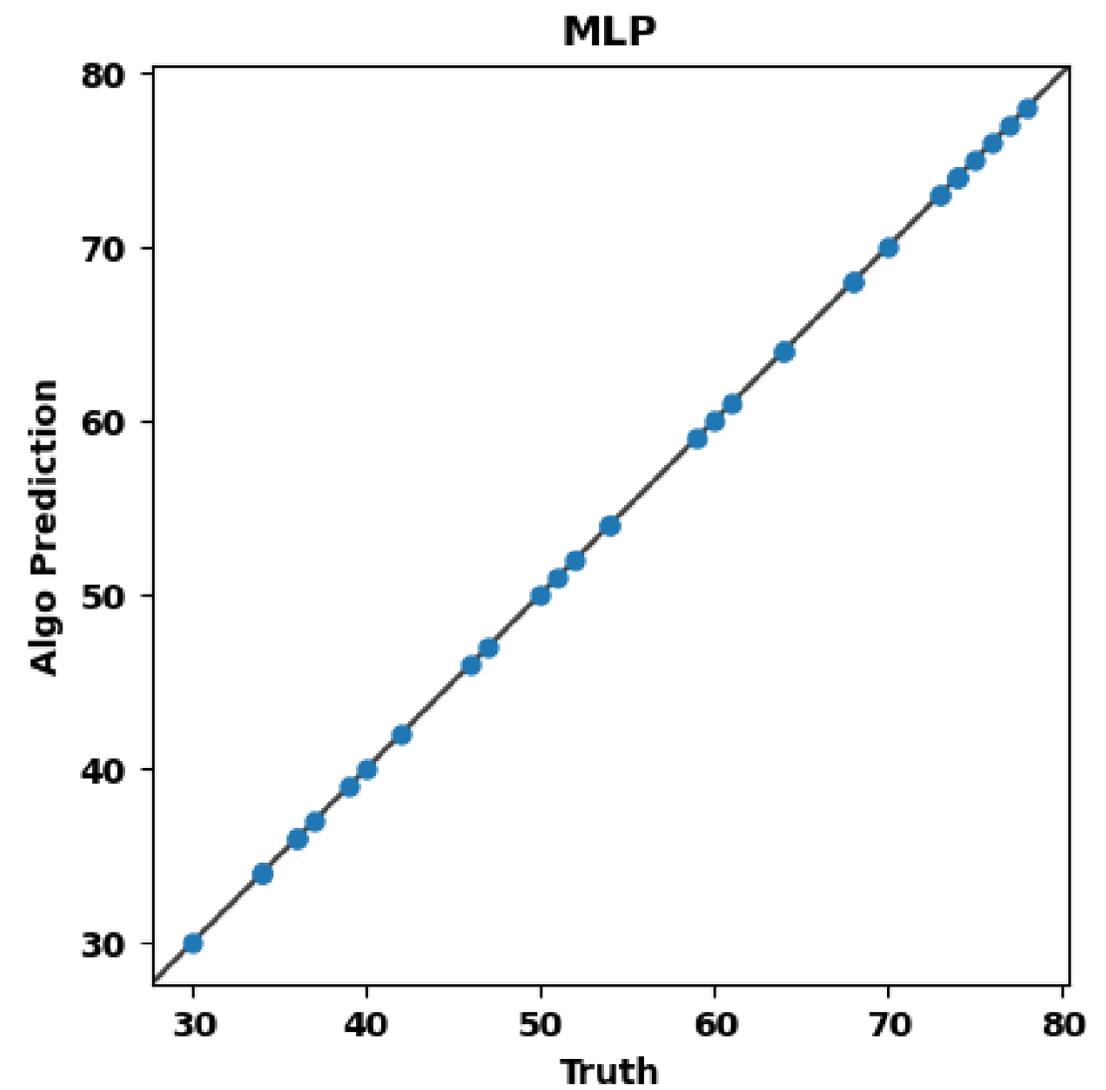
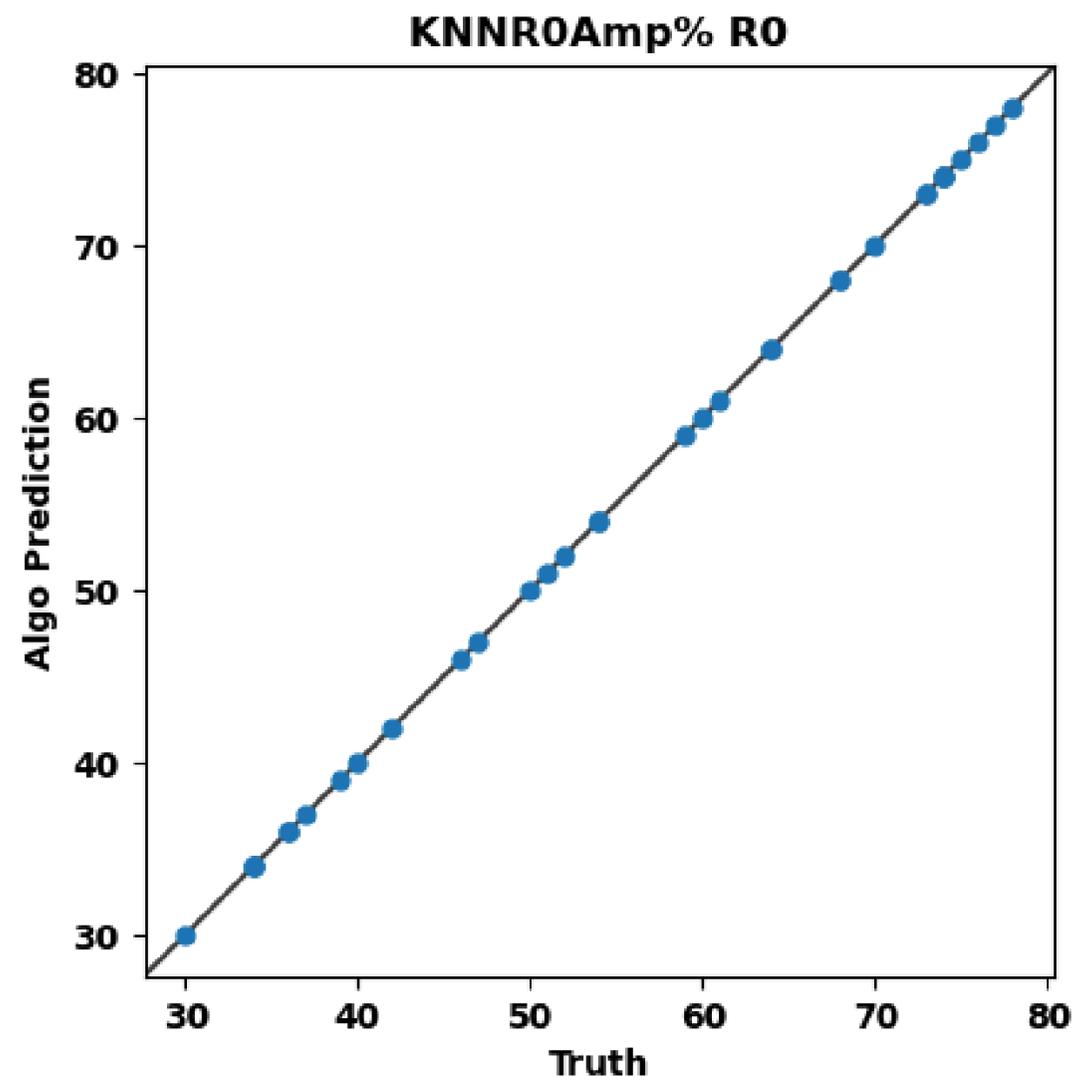
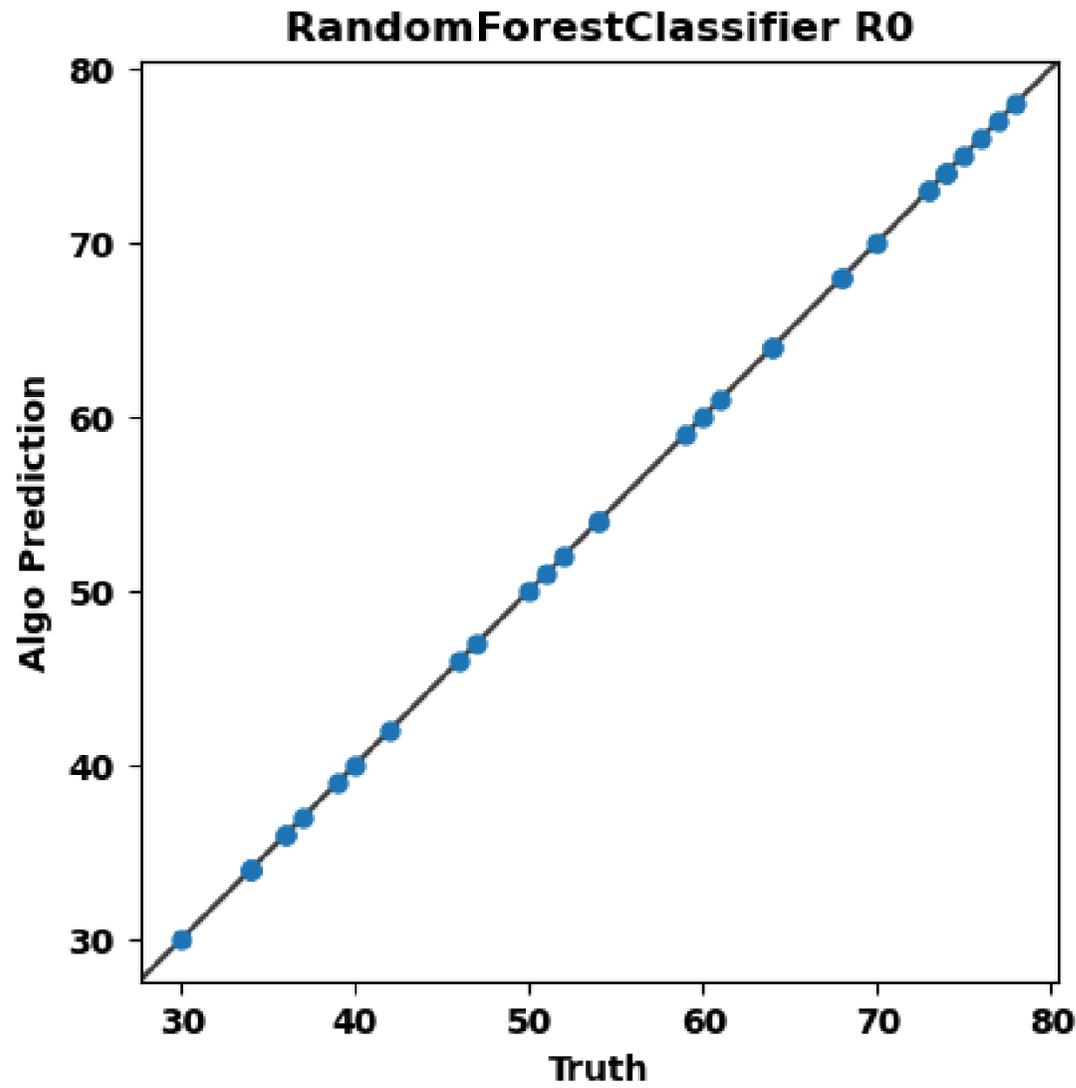
- Données du dataset :
  - Rayon d'équilibre entre 30 et 80 unités
  - Amplitude entre 0 et 10% du rayon d'équilibre.
  - Soit 561 variations.
  - Génération de 3 vues : vue de côté, dessus et vue orthogonal.
- Total de 1683 lignes de données pour l'entraînement et l'évaluation des algorithmes.
- Découpage des différents sets :
  - Entraînement 60% des données.
  - Test 20% des données.
  - Validation 20% des données.

# Résultat de la prédiction pour le rayon initial de la bulle (R0)

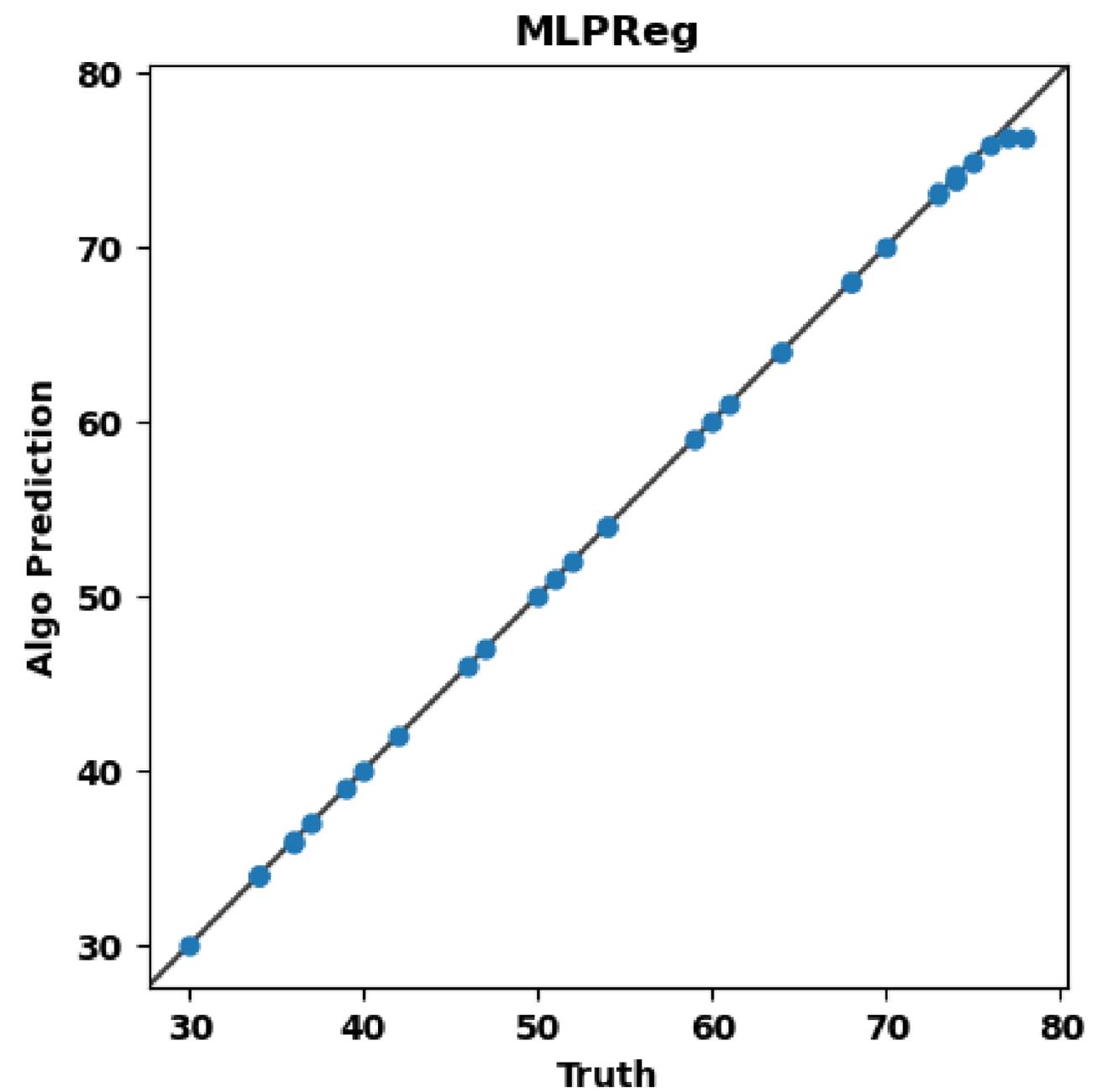
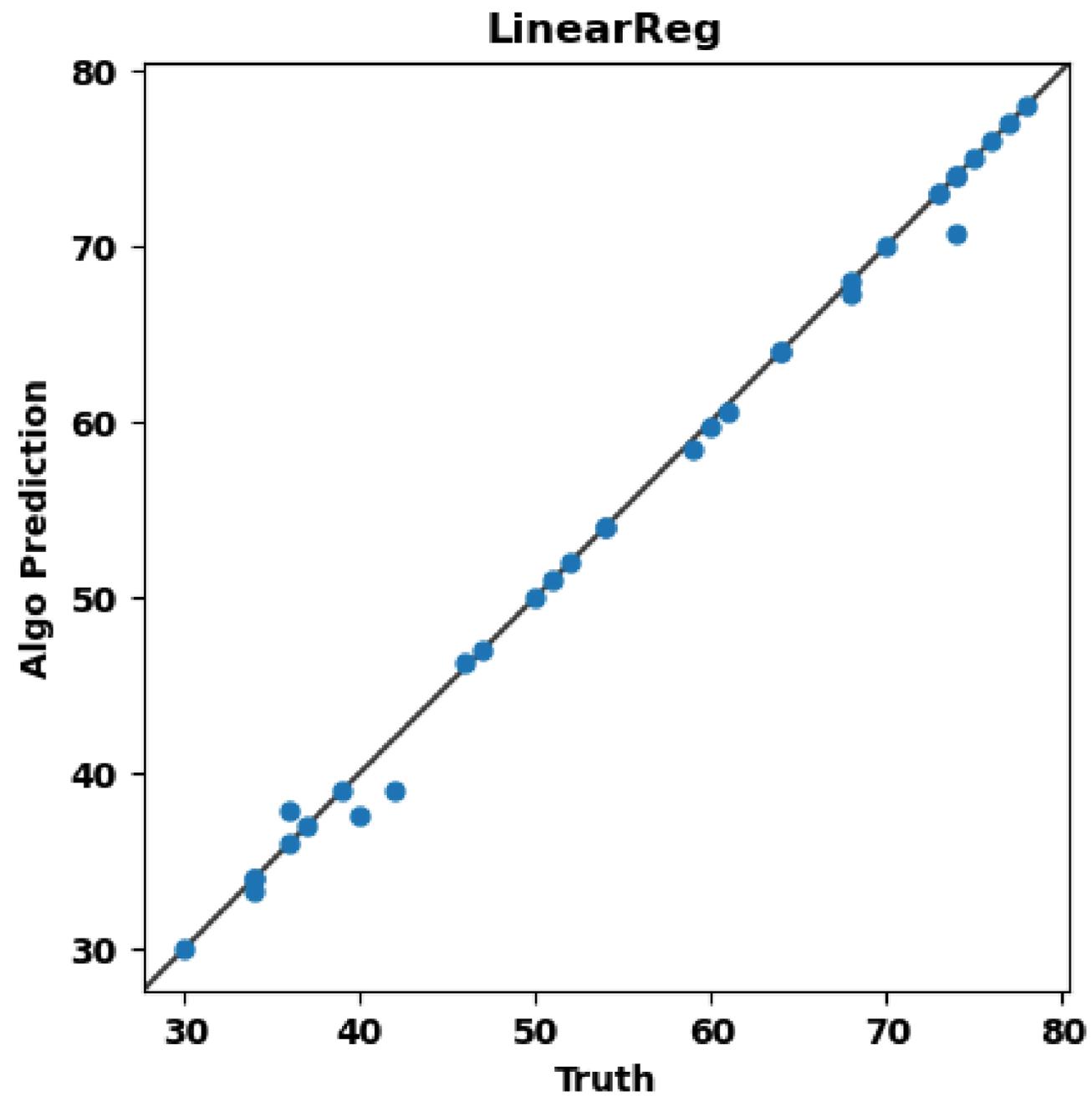
# Classification :



# Classification :

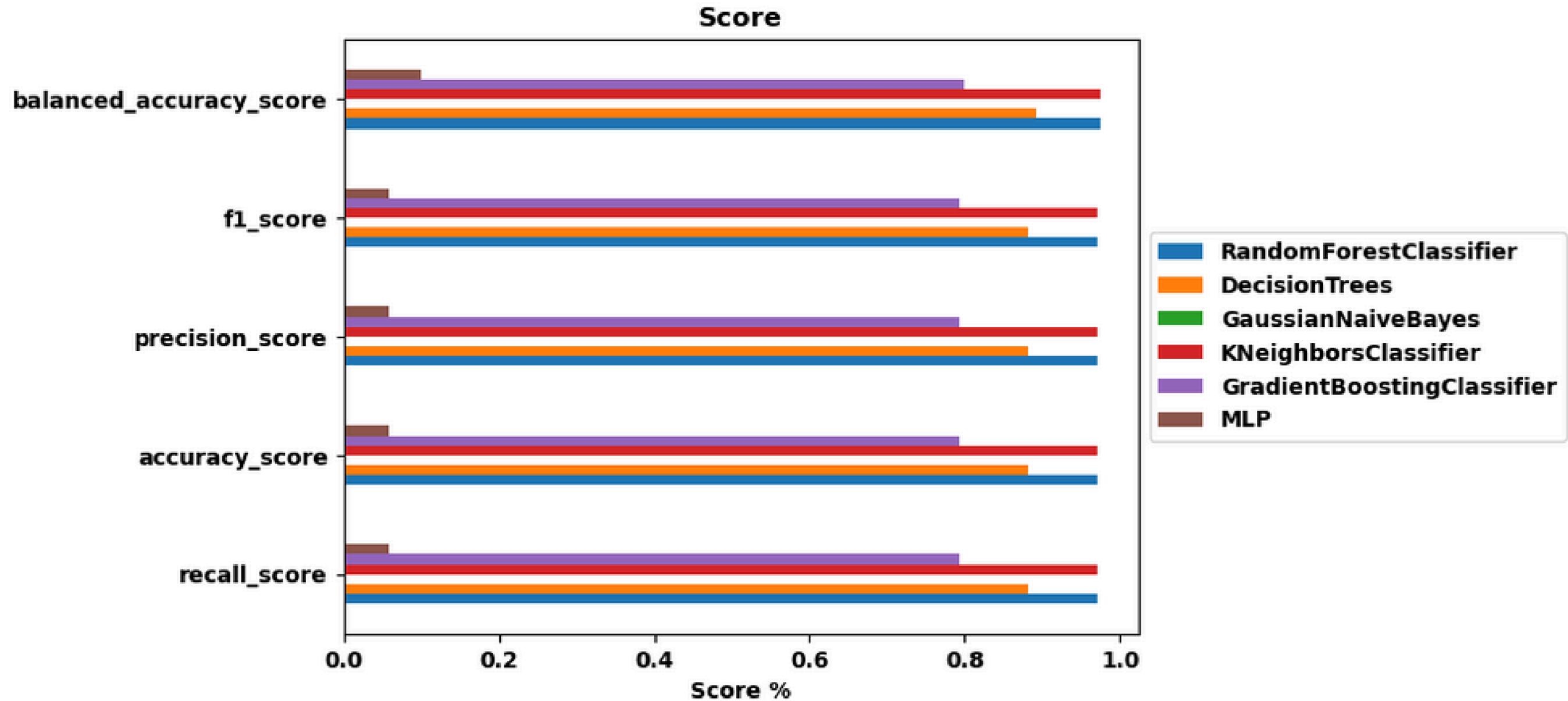


# Régression :



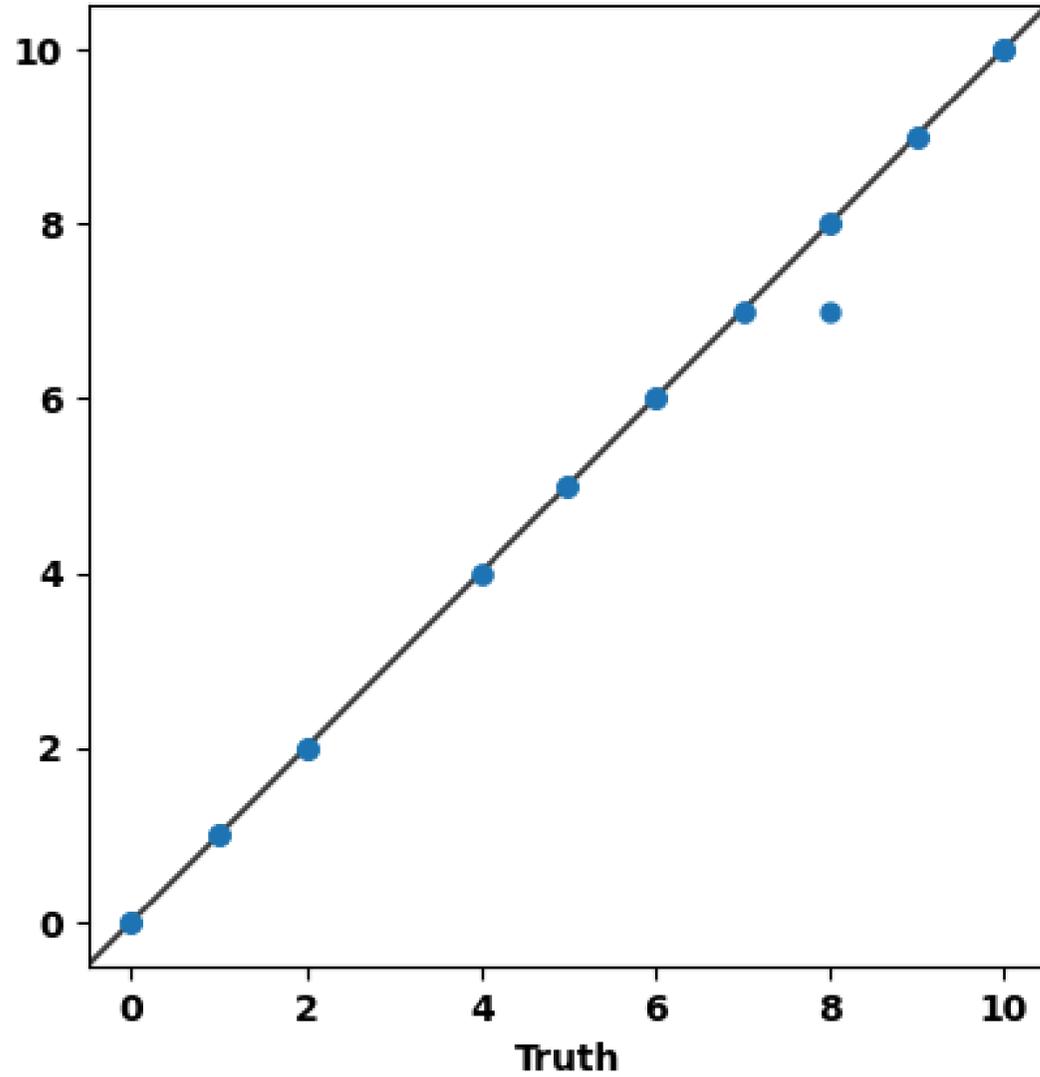
# Résultat de la prédiction pour l'amplitude en pourcentage (Amp%)

# Classification :

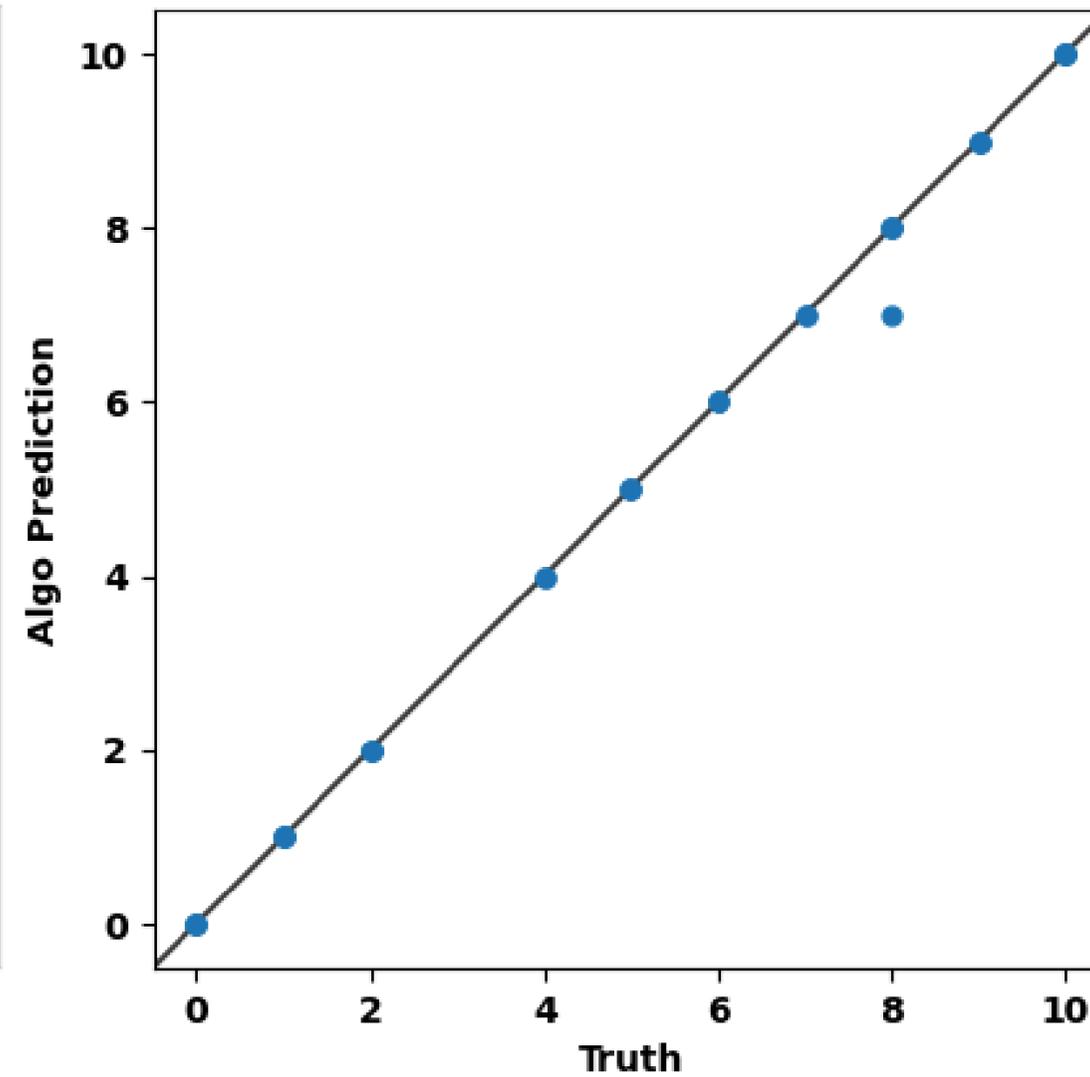


# Classification :

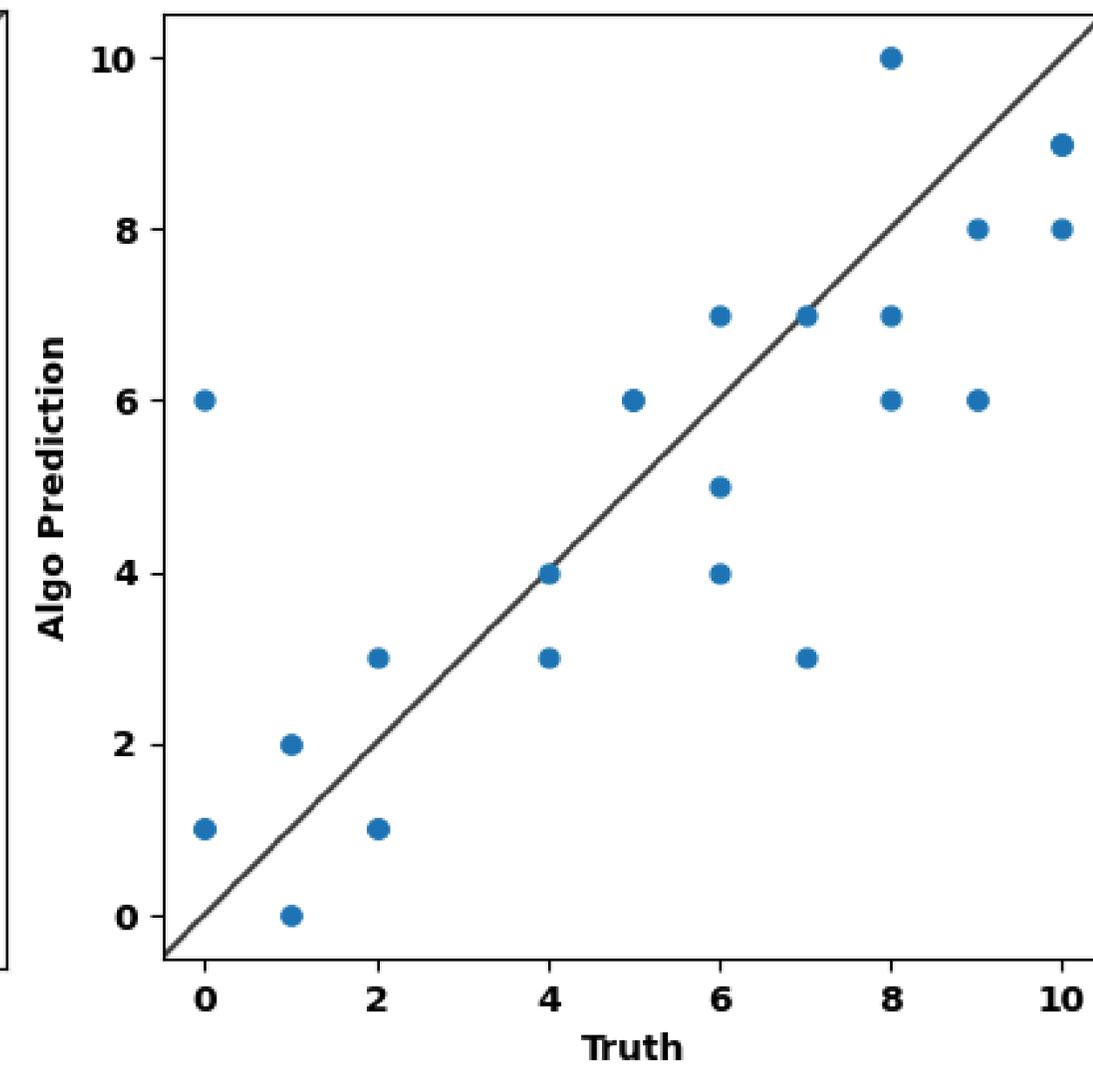
**KNNR0Amp% Amp%**



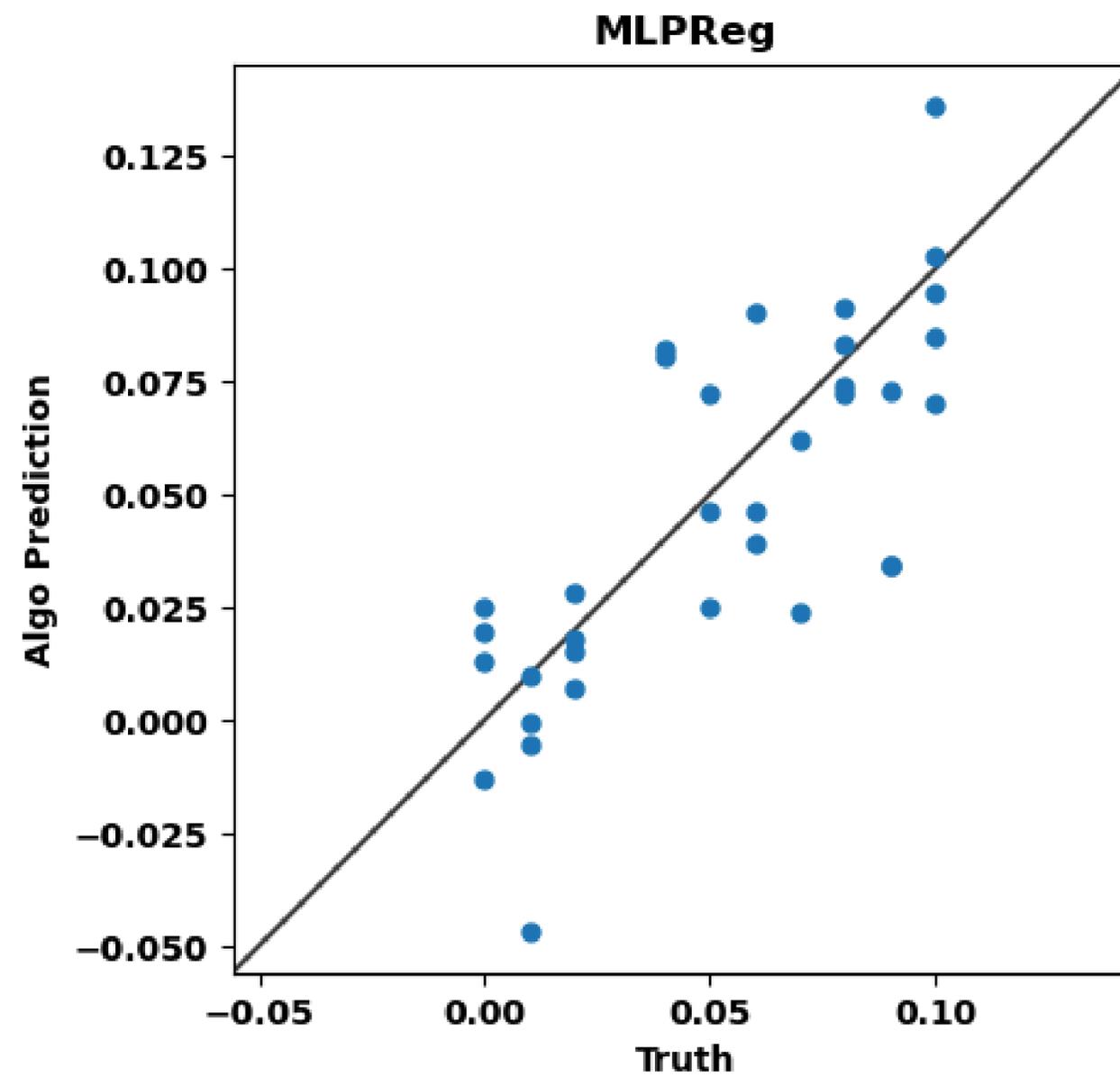
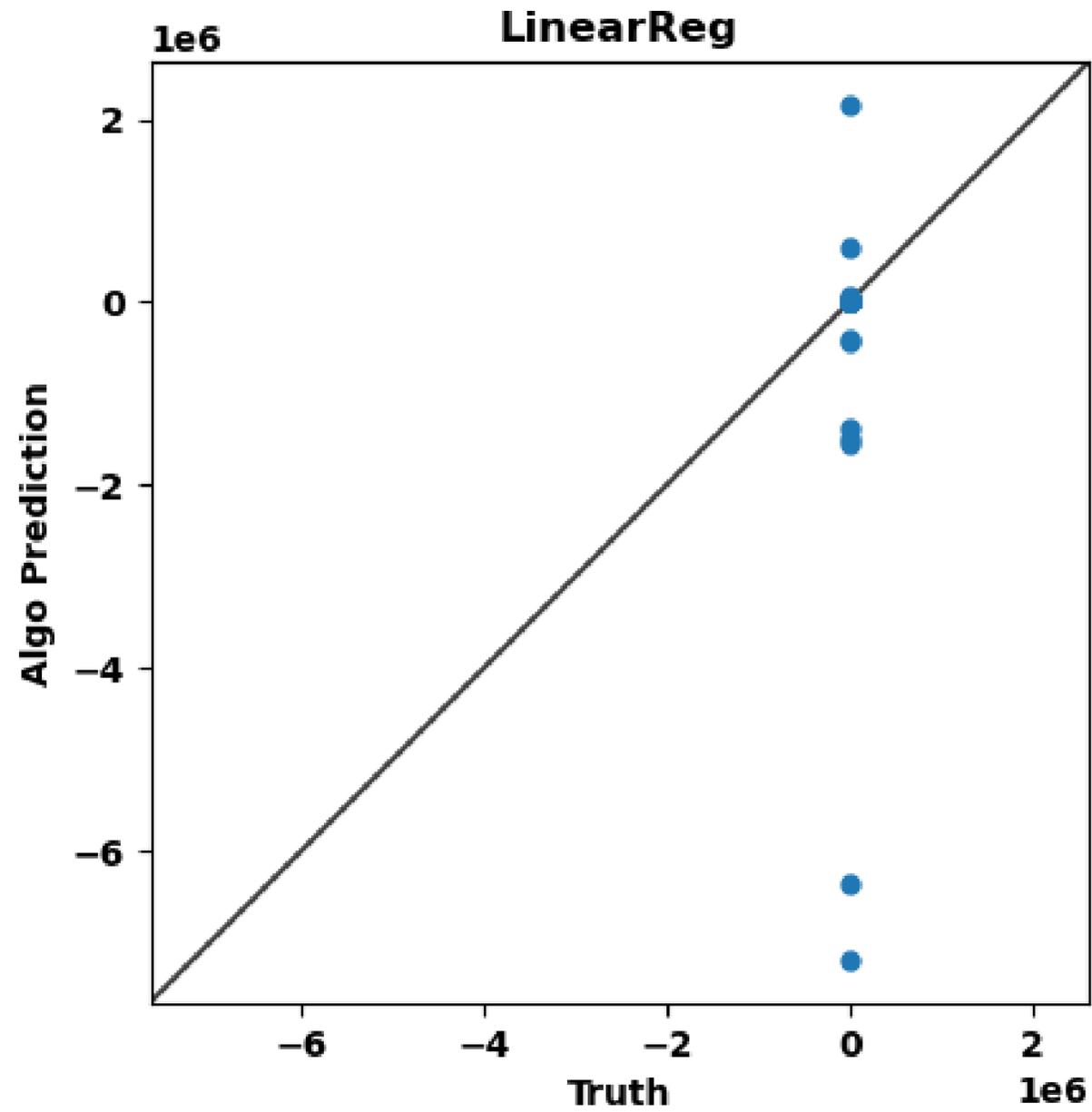
**RandomForestClassifier**



**MLP**



# Régression :



# Conclusion :

- L'approche choisit donne de bons résultats.
- On peut espérer de bons résultats sur des données plus complexes et sur la prédiction d'autres paramètres.
- Les prédictions avec des algorithmes de classification semblent être la meilleure solution pour la prédiction sur l'amplitude.
- Test sur une expérience réelle :
  - Résultat moyen.
- Quelques pistes d'améliorations potentielles pour l'apprentissage :
  - Bruiter les données générées.
  - Création d'un algorithme sur mesure.

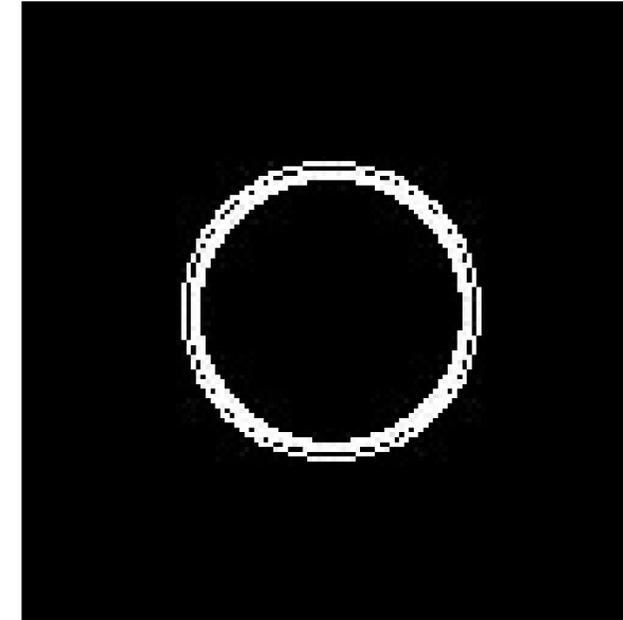
# Pour la suite :

- Cas d'oscillation non-sphérique de l'interface de la bulle :

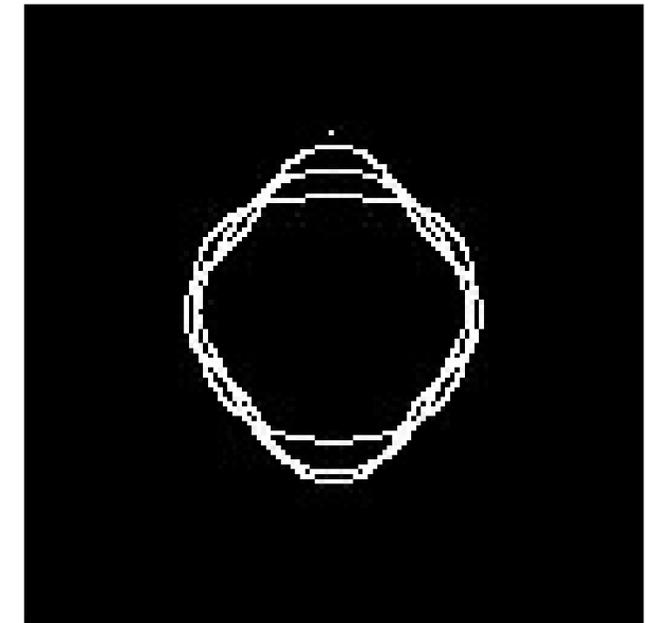
$$R(t) = R_0 + a_n \times P_n(\cos(\theta)) \times \cos(2 \times \pi \times f \times t)$$

où  $a_n$  est l'amplitude du mode de surface, et  $P_n$  est le polynôme de Legendre de degré  $n$ .

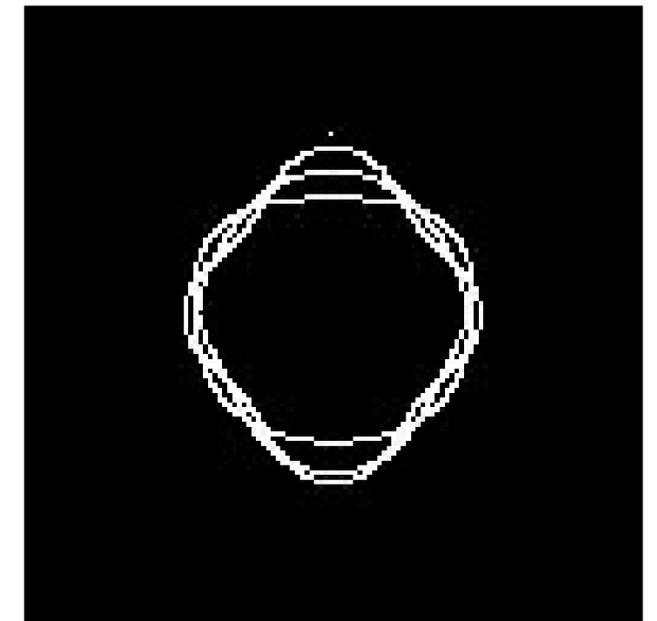
- Rayon d'équilibre entre 30 et 80 unités
- Amplitude entre 0 et 30% du rayon d'équilibre.
- Génération de 3 vues : vue de côté, dessus et vue orthogonal.
- Variations des modes de la bulle entre 0 et 8.
- Soit 42 687 variations.



Vue de dessus



Vue de côté



Vue orthogonal

**Merci de votre attention**  
**Avez-vous des questions ?**