

Projet Fil Rouge

Analyse de données pour la prédiction des valeurs nutritionnelles des fourrages pour ruminants par machine learning et Large Language Models

Auteur : Raphaël RUBRICE, Raphaël GENIN, Aristide LAURONT, Matéo PETITET

```
In [1]: import numpy as np
import pandas as pd
import seaborn as sns
import iterools
from copy import deepcopy
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.stats import friedmanchiisquare
from scikit_posthocs import posthoc_nemenyi_friedman

def warn(*args, **kwargs):
    pass
import warnings
warnings.warn = warn
```

```
In [2]: fourrage = pd.read_excel("../INRA2018_TablesFourrages_etude_prediction_20241121.xlsx", engine="openpyxl", header=0)
```

```
In [3]: fourrage.head()
```

```
Out[3]:
```

No	Etat	Code INRA	Libellé 0	Libellé 1	Libellé 2	Libellé 3	Libellé 4	MS	UFL	...	GlyDI	AlaDI	TyrDI	C14:0	C16:0
0	1	1 FV0010	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES, PLAINE (NORMANDIE)	1er cycle	15-25 avril, déprimage, ST = 172°C	NaN	15.5	1.07	...	6.94	6.87	4.13	1.0	15.68
1	2	1 FV0020	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES, PLAINE (NORMANDIE)	1er cycle	1-10 mai, pâturage, ST = 298°C	NaN	16.6	1.02	...	6.93	6.88	4.14	1.0	16.36
2	3	1 FV0030	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES, PLAINE (NORMANDIE)	1er cycle	15-25 mai, début épiaison, ST = 470°C	NaN	17.2	0.94	...	6.80	6.87	4.10	1.0	17.46
3	4	1 FV0040	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES, PLAINE (NORMANDIE)	1er cycle	1-10 juin, épiaison, ST = 685°C	NaN	20.2	0.84	...	6.81	6.88	4.11	1.0	18.22
4	5	1 FV0050	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES, PLAINE (NORMANDIE)	1er cycle	15-25 juin, floraison, ST = 903°C	NaN	19.2	0.74	...	6.81	6.89	4.12	1.0	18.79

5 rows × 100 columns

Arrangement des colonnes

Arrangement de libellé 1 en 3 sous colonnes (création de deux sous colonnes)

```
In [4]: fourrage[["Libellé 1", "Libellé 1-2"]] = fourrage["Libellé 1"].str.split(",", n=1, expand=True)
```

```
In [5]: cols = fourrage.columns.tolist()
print(cols)
cols.insert(cols.index('Libellé 1') + 1, cols.pop(cols.index('Libellé 1-2')))
fourrage = fourrage[cols]
```

```
[No', 'Etat', 'Code INRA', 'Libellé 0', 'Libellé 1', 'Libellé 2', 'Libellé 3', 'Libellé 4', 'MS', 'UFL', 'UFV', 'PDIA', 'PDI', 'BPR', 'LysDI', 'MetDI', 'HisDI', 'NIref', 'UEM', 'UEL', 'UEB', 'M0', 'MM', 'dM0', 'MAT', 'dMA', 'CB', 'dCB', 'NDF', 'dNDF', 'ADF', 'dADF', 'AG', 'EE', 'P', 'Pabs', 'Ca', 'Caabs', 'Mg', 'BE', 'EB', 'dE', 'EM', 'DT_N', 'DT6_N', 'dr_N', 'S', 'Na', 'K', 'Cl', 'BACA', 'Cu', 'Zn', 'Mn', 'Co', 'Se', 'I', 'VitA', 'VitD', 'VitE', 'LysBP', 'HisBP', 'ArgBP', 'ThrBP', 'ValBP', 'MetBP', 'IleBP', 'LeuBP', 'PheBP', 'AspBP', 'SerBP', 'GluBP', 'ProBP', 'GlyBP', 'AlaBP', 'TyrBP', 'CysTrpBP', 'LysDI.1', 'HisDI.1', 'ArgDI', 'ThrDI', 'ValDI', 'MetDI.1', 'IleDI', 'LeuDI', 'PheDI', 'AspDI', 'SerDI', 'GluDI', 'ProDI', 'GlyDI', 'AlaDI', 'TyrDI', 'C14:0', 'C16:0', 'C16:1', 'C18:0', 'C18:1', 'C18:2', 'C18:3', 'Libellé 1-2']
```

```
In [6]: fourrage.head()
```

Out[6]:

No	Etat	Code INRA	Libellé 0	Libellé 1	Libellé 1-2	Libellé 2	Libellé 3	Libellé 4	MS	...	GlyDI	AlaDI	TyrDI	C14:
0	1	1 FV0010	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	1er cycle	15-25 avril, déprimage, ST = 172°C	NaN	15.5	...	6.94	6.87	4.13	1.
1	2	1 FV0020	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	1er cycle	1-10 mai, pâture, ST = 298°C	NaN	16.6	...	6.93	6.88	4.14	1.
2	3	1 FV0030	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	1er cycle	15-25 mai, début épiaison, ST = 470°C	NaN	17.2	...	6.80	6.87	4.10	1.
3	4	1 FV0040	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	1er cycle	1-10 juin, épiaison, ST = 685°C	NaN	20.2	...	6.81	6.88	4.11	1.
4	5	1 FV0050	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	1er cycle	15-25 juin, floraison, ST = 903°C	NaN	19.2	...	6.81	6.89	4.12	1.

5 rows × 101 columns

```
In [7]: fourrage[['Libellé 1-2', 'Libellé 1-3']] = fourrage["Libellé 1-2"].str.split(", ", n=1, expand=True)
```

```
In [8]: cols = fourrage.columns.tolist()
print(cols)
cols.insert(cols.index('Libellé 1-2') + 1, cols.pop(cols.index('Libellé 1-3')))
fourrage = fourrage[cols]
```

```
['No', 'Etat', 'Code INRA', 'Libellé 0', 'Libellé 1', 'Libellé 1-2', 'Libellé 2', 'Libellé 3', 'Libellé 4', 'MS', 'UFL', 'UFV', 'PDIA', 'PDI', 'BPR', 'LysDI', 'MetDI', 'HisDI', 'NIref', 'UEM', 'UEL', 'UEB', 'MO', 'MM', 'dMO', 'MAT', 'dMA', 'CB', 'dCB', 'NDF', 'dNDF', 'ADF', 'dADF', 'AG', 'EE', 'P', 'Pabs', 'Ca', 'Caabs', 'Mg', 'BE', 'EB', 'dE', 'EM', 'DT_N', 'DT6_N', 'dr_N', 'S', 'Na', 'K', 'Cl', 'BACA', 'Cu', 'Zn', 'Mn', 'Co', 'Se', 'I', 'VitA', 'VitD', 'VitE', 'LysBP', 'HisBP', 'ArgBP', 'ThrBP', 'ValBP', 'MetBP', 'IleBP', 'LeuBP', 'PheBP', 'AspBP', 'SerBP', 'GluBP', 'ProBP', 'GlyBP', 'AlaBP', 'TyrBP', 'CysTrpBP', 'LysDI.1', 'HisDI.1', 'ArgDI', 'ThrDI', 'ValDI', 'MetDI.1', 'IleDI', 'LeuDI', 'PheDI', 'AspDI', 'SerDI', 'GluDI', 'ProDI', 'GlyDI', 'AlaDI', 'TyrDI', 'C14:0', 'C16:0', 'C16:1', 'C18:0', 'C18:1', 'C18:2', 'C18:3', 'Libellé 1-3']
```

Arrangement de libellé 2 : split en 3 colonnes

```
In [9]: fourrage[['Libellé 2', 'Libellé 2-1']] = fourrage["Libellé 2"].str.split(", ", n=1, expand=True)
```

```
In [10]: cols = fourrage.columns.tolist()
print(cols)
cols.insert(cols.index('Libellé 2') + 1, cols.pop(cols.index('Libellé 2-1')))
fourrage = fourrage[cols]
```

```
['No', 'Etat', 'Code INRA', 'Libellé 0', 'Libellé 1', 'Libellé 1-2', 'Libellé 1-3', 'Libellé 2', 'Libellé 3', 'Libellé 4', 'MS', 'UFL', 'UFV', 'PDIA', 'PDI', 'BPR', 'LysDI', 'MetDI', 'HisDI', 'NIref', 'UEM', 'UEL', 'UEB', 'MO', 'MM', 'dMO', 'MAT', 'dMA', 'CB', 'dCB', 'NDF', 'dNDF', 'ADF', 'dADF', 'AG', 'EE', 'P', 'Pabs', 'Ca', 'Caabs', 'Mg', 'BE', 'EB', 'dE', 'EM', 'DT_N', 'DT6_N', 'dr_N', 'S', 'Na', 'K', 'Cl', 'BACA', 'Cu', 'Zn', 'Mn', 'Co', 'Se', 'I', 'VitA', 'VitD', 'VitE', 'LysBP', 'HisBP', 'ArgBP', 'ThrBP', 'ValBP', 'MetBP', 'IleBP', 'LeuBP', 'PheBP', 'AspBP', 'SerBP', 'GluBP', 'ProBP', 'GlyBP', 'AlaBP', 'TyrBP', 'CysTrpBP', 'LysDI.1', 'HisDI.1', 'ArgDI', 'ThrDI', 'ValDI', 'MetDI.1', 'IleDI', 'LeuDI', 'PheDI', 'AspDI', 'SerDI', 'GluDI', 'ProDI', 'GlyDI', 'AlaDI', 'TyrDI', 'C14:0', 'C16:0', 'C16:1', 'C18:0', 'C18:1', 'C18:2', 'C18:3', 'Libellé 2-1']
```

```
In [11]: fourrage['Libellé 2-1'].str.contains(',', na=False).any()
```

Out[11]: True

```
In [12]: fourrage[['Libellé 2-1', 'Libellé 2-2']] = fourrage["Libellé 2-1"].str.split(", ", n=1, expand=True)
```

```
In [13]: cols = fourrage.columns.tolist()
print(cols)
cols.insert(cols.index('Libellé 2-1') + 1, cols.pop(cols.index('Libellé 2-2')))
fourrage = fourrage[cols]
```

```
['No', 'Etat', 'Code INRA', 'Libellé 0', 'Libellé 1', 'Libellé 1-2', 'Libellé 1-3', 'Libellé 2', 'Libellé 2-1', 'Libellé 3', 'Libellé 4', 'MS', 'UFL', 'UFV', 'PDIA', 'PDI', 'BPR', 'LysDI', 'MetDI', 'HisDI', 'NIref', 'UEM', 'UEL', 'UEB', 'MO', 'MM', 'dMO', 'MAT', 'dMA', 'CB', 'NDF', 'dNDF', 'ADF', 'dADF', 'AG', 'EE', 'P', 'Pabs', 'Ca', 'Caabs', 'Mg', 'BE', 'EB', 'dE', 'EM', 'DT_N', 'DT6_N', 'dr_N', 'S', 'Na', 'K', 'Cl', 'BACA', 'Cu', 'Zn', 'Mn', 'Co', 'Se', 'I', 'VitA', 'VitD', 'VitE', 'LysBP', 'HisBP', 'ArgBP', 'ThrBP', 'ValBP', 'MetBP', 'IleBP', 'LeuBP', 'PheBP', 'AspBP', 'SerBP', 'GluBP', 'ProBP', 'GlyBP', 'AlaBP', 'TyrBP', 'CysTrpBP', 'LysDI.1', 'HisDI.1', 'ArgDI', 'ThrDI', 'ValDI', 'MetDI.1', 'IleDI', 'PheDI', 'AspDI', 'SerDI', 'GluDI', 'ProDI', 'GlyDI', 'AlaDI', 'TyrDI', 'C14:0', 'C16:0', 'C16:1', 'C18:0', 'C18:1', 'C18:2', 'C18:3', 'Libellé 2-2']
```

```
In [14]: fourrage['Libellé 2-1'].str.contains(',', na=False).any()
```

```
Out[14]: False
```

Arrangement de libellé 3 : division en 3 colonnes

```
In [15]: fourrage['Libellé 3'].str.contains(',', na=False).any()
```

```
Out[15]: True
```

```
In [16]: fourrage[['Libellé 3', 'Libellé 3-1']] = fourrage["Libellé 3"].str.split(",", n=1, expand=True)
```

```
In [17]: cols = fourrage.columns.tolist()
print(cols)
cols.insert(cols.index('Libellé 3') + 1, cols.pop(cols.index('Libellé 3-1')))
fourrage = fourrage[cols]
```

```
['No', 'Etat', 'Code INRA', 'Libellé 0', 'Libellé 1', 'Libellé 1-2', 'Libellé 1-3', 'Libellé 2', 'Libellé 2-1', 'Libellé 2-2', 'Libellé 3', 'Libellé 4', 'MS', 'UFL', 'UFV', 'PDIA', 'PDI', 'BPR', 'LysDI', 'MetDI', 'HisDI', 'NIref', 'UEM', 'UEL', 'UEB', 'MO', 'MM', 'dMO', 'MAT', 'dMA', 'CB', 'NDF', 'dNDF', 'ADF', 'dADF', 'AG', 'EE', 'P', 'Pabs', 'Ca', 'Caabs', 'Mg', 'BE', 'EB', 'dE', 'EM', 'DT_N', 'DT6_N', 'dr_N', 'Na', 'K', 'Cl', 'BACA', 'Cu', 'Zn', 'Mn', 'Co', 'Se', 'I', 'VitA', 'VitD', 'VitE', 'LysBP', 'HisBP', 'ArgBP', 'ThrBP', 'ValBP', 'MetBP', 'IleBP', 'LeuBP', 'PheBP', 'AspBP', 'SerBP', 'GluBP', 'ProBP', 'GlyBP', 'AlaBP', 'TyrBP', 'CysTrpBP', 'LysDI.1', 'HisDI.1', 'ArgDI', 'ThrDI', 'ValDI', 'MetDI.1', 'IleDI', 'LeuDI', 'PheDI', 'AspDI', 'SerDI', 'GluDI', 'ProDI', 'GlyDI', 'AlaDI', 'TyrDI', 'C14:0', 'C16:0', 'C16:1', 'C18:0', 'C18:1', 'C18:2', 'C18:3', 'Libellé 3-1']
```

```
In [18]: fourrage['Libellé 3-1'].str.contains(',', na=False).any()
```

```
Out[18]: True
```

```
In [19]: fourrage[['Libellé 3-1', 'Libellé 3-2']] = fourrage["Libellé 3-1"].str.split(",", n=1, expand=True)
```

```
In [20]: cols = fourrage.columns.tolist()
print(cols)
cols.insert(cols.index('Libellé 3-1') + 1, cols.pop(cols.index('Libellé 3-2')))
fourrage = fourrage[cols]
```

```
['No', 'Etat', 'Code INRA', 'Libellé 0', 'Libellé 1', 'Libellé 1-2', 'Libellé 1-3', 'Libellé 2', 'Libellé 2-1', 'Libellé 2-2', 'Libellé 3', 'Libellé 3-1', 'Libellé 4', 'MS', 'UFL', 'UFV', 'PDIA', 'PDI', 'BPR', 'LysDI', 'MetDI', 'HisDI', 'NIref', 'UEM', 'UEL', 'UEB', 'MO', 'MM', 'dMO', 'MAT', 'dMA', 'CB', 'NDF', 'dNDF', 'ADF', 'dADF', 'AG', 'EE', 'P', 'Pabs', 'Ca', 'Caabs', 'Mg', 'BE', 'EB', 'dE', 'EM', 'DT_N', 'DT6_N', 'dr_N', 'Na', 'K', 'Cl', 'BACA', 'Cu', 'Zn', 'Mn', 'Co', 'Se', 'I', 'VitA', 'VitD', 'VitE', 'LysBP', 'HisBP', 'ArgBP', 'ThrBP', 'ValBP', 'MetBP', 'IleBP', 'LeuBP', 'PheBP', 'AspBP', 'SerBP', 'GluBP', 'ProBP', 'GlyBP', 'AlaBP', 'TyrBP', 'CysTrpBP', 'LysDI.1', 'HisDI.1', 'ArgDI', 'ThrDI', 'ValDI', 'MetDI.1', 'IleDI', 'LeuDI', 'PheDI', 'AspDI', 'SerDI', 'GluDI', 'ProDI', 'GlyDI', 'AlaDI', 'TyrDI', 'C14:0', 'C16:0', 'C16:1', 'C18:0', 'C18:1', 'C18:2', 'C18:3', 'Libellé 3-2']
```

```
In [21]: fourrage['Libellé 3-1'].str.contains(',', na=False).any()
```

```
Out[21]: False
```

Arrangement de libellé 4

```
In [22]: fourrage['Libellé 4'].str.contains(',', na=False).any()
```

```
Out[22]: True
```

```
In [23]: fourrage[['Libellé 4', 'Libellé 4-1']] = fourrage["Libellé 4"].str.split(",", n=1, expand=True)
```

```
In [24]: cols = fourrage.columns.tolist()
print(cols)
cols.insert(cols.index('Libellé 4') + 1, cols.pop(cols.index('Libellé 4-1')))
fourrage = fourrage[cols]
```

```
[ 'No', 'Etat', 'Code INRA', 'Libellé 0', 'Libellé 1', 'Libellé 1-2', 'Libellé 1-3', 'Libellé 2', 'Libellé 2-1', 'Libellé 2-2', 'Libellé 3', 'Libellé 3-1', 'Libellé 3-2', 'Libellé 4', 'MS', 'UFL', 'UFV', 'PDIA', 'PDI', 'BPR', 'LysDI', 'MetDI', 'HisDI', 'NIref', 'UEM', 'UEL', 'UEB', 'MO', 'MM', 'dMO', 'MAT', 'dMA', 'CB', 'dCB', 'NDF', 'dNDF', 'dADF', 'dADDF', 'AG', 'EE', 'P', 'Pabs', 'Ca', 'Caabs', 'Mg', 'BE', 'EB', 'dE', 'EM', 'DT_N', 'DT6_N', 'dr_N', 'S', 'Na', 'K', 'Cl', 'BACA', 'Cu', 'Zn', 'Mn', 'Co', 'Se', 'I', 'VitA', 'VitD', 'VitE', 'LysBP', 'HisBP', 'ArgBP', 'ThrBP', 'ValBP', 'MetBP', 'IleBP', 'LeuBP', 'PheBP', 'AspBP', 'SerBP', 'GluBP', 'ProBP', 'GlyBP', 'AlaBP', 'TyrBP', 'CysTrpBP', 'LysDI.1', 'HisDI.1', 'ArgDI', 'ThrDI', 'ValDI', 'MetDI.1', 'IleDI', 'LeuDI', 'PheDI', 'AspDI', 'SerDI', 'GluDI', 'ProDI', 'GlyDI', 'AlaDI', 'TyrDI', 'C14:0', 'C16:0', 'C16:1', 'C18:0', 'C18:1', 'C18:2', 'C18:3', 'Libellé 4-1']
```

```
In [25]: fourrage['Libellé 4-1'].str.contains(',', na=False).any()
```

```
Out[25]: True
```

```
In [26]: fourrage[["Libellé 4-1", "Libellé 4-2"]] = fourrage["Libellé 4-1"].str.split(", ", n=1, expand=True)
```

```
In [27]: cols = fourrage.columns.tolist()
print(cols)
cols.insert(cols.index('Libellé 4-1') + 1, cols.pop(cols.index('Libellé 4-2')))
fourrage = fourrage[cols]
```

```
[ 'No', 'Etat', 'Code INRA', 'Libellé 1', 'Libellé 1-2', 'Libellé 1-3', 'Libellé 2', 'Libellé 2-1', 'Libellé 2-2', 'Libellé 3', 'Libellé 3-1', 'Libellé 3-2', 'Libellé 4', 'MS', 'UFL', 'UFV', 'PDIA', 'PDI', 'BPR', 'LysDI', 'MetDI', 'HisDI', 'NIref', 'UEM', 'UEL', 'UEB', 'MO', 'MM', 'dMO', 'MAT', 'dMA', 'CB', 'dCB', 'NDF', 'dNDF', 'dADF', 'dADDF', 'AG', 'EE', 'P', 'Pabs', 'Ca', 'Caabs', 'Mg', 'BE', 'EB', 'dE', 'EM', 'DT_N', 'DT6_N', 'dr_N', 'S', 'Na', 'K', 'Cl', 'BACA', 'Cu', 'Zn', 'Mn', 'Co', 'Se', 'I', 'VitA', 'VitD', 'VitE', 'LysBP', 'HisBP', 'ArgBP', 'ThrBP', 'ValBP', 'MetBP', 'IleBP', 'LeuBP', 'PheBP', 'AspBP', 'SerBP', 'GluBP', 'ProBP', 'GlyBP', 'AlaBP', 'TyrBP', 'CysTrpBP', 'LysDI.1', 'HisDI.1', 'ArgDI', 'ThrDI', 'ValDI', 'MetDI.1', 'IleDI', 'LeuDI', 'PheDI', 'AspDI', 'SerDI', 'GluDI', 'ProDI', 'GlyDI', 'AlaDI', 'TyrDI', 'C14:0', 'C16:0', 'C16:1', 'C18:0', 'C18:1', 'C18:2', 'C18:3', 'Libellé 4-2']
```

```
In [28]: fourrage['Libellé 4-1'].str.contains(',', na=False).any()
```

```
Out[28]: False
```

OK : plus de virgule

```
In [29]: var_obj = fourrage.drop(["Code INRA"], axis=1).select_dtypes(include="object")
```

```
In [30]: var_obj
```

	Libellé 0	Libellé 1	Libellé 1-2	Libellé 1-3	Libellé 2	Libellé 2-1	Libellé 2-2	Libellé 3	Libellé 3-1	Libellé 3-2	Libellé 4	Libellé 4-
0	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	None	1er cycle	None	None	15-25 avril	déprimage	ST = 172°C	NaN	Na
1	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	None	1er cycle	None	None	1-10 mai	pâture	ST = 298°C	NaN	Na
2	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	None	1er cycle	None	None	15-25 mai	début épiaison	ST = 470°C	NaN	Na
3	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	None	1er cycle	None	None	1-10 juin	épiaison	ST = 685°C	NaN	Na
4	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	None	1er cycle	None	None	15-25 juin	floraison	ST = 903°C	NaN	Na
...
908	RACINES ET TUBERCULES	Rutabagas		None	None	NaN	NaN	NaN	Rutabagas	None	None	NaN
909	RACINES ET TUBERCULES	Topinambour		None	None	NaN	NaN	NaN	Topinambour	None	None	NaN
910	RACINES ET TUBERCULES	Feuilles et collets de betteraves		None	None	NaN	NaN	NaN	Feuilles et collets de betteraves propres	None	None	NaN
911	RACINES ET TUBERCULES	Feuilles et collets de betteraves		None	None	NaN	NaN	NaN	Feuilles et collets de betteraves sales	None	None	NaN
912	RACINES ET TUBERCULES	Pulpes de betteraves		None	None	NaN	NaN	NaN	Pulpes de betteraves surpressées ensilées	None	None	NaN

913 rows × 13 columns

```
In [31]: for col in var_obj.columns:
```

```
print('\n\n')
print(var_obj[col].value_counts())
```

Libellé 0

ENSILAGES	307
FOURRAGES VERTS	294
FOINS	279
PAILLES, FOURRAGES LIGNIFIÉS	21
RACINES ET TUBERCULES	12

Name: count, dtype: int64

Libellé 1

GRAMINÉES FOURRAGÈRES	502
PRAIRIES PERMANENTES	147
LÉGUMINEUSES FOURRAGÈRES	147
CÉRÉALES PLANTES ENTIÈRES	44
PROTÉAGINEUX	17
CRUCIFÈRES	12
COMPOSÉES	11
Paille de Blé	4
Paille d'Orge	4
Cannes de Maïs	3
Betteraves Fourragères	2
Spathes de Maïs	2
Paille de Sorgho	2
Paille de Riz	2
Feuilles et collets de betteraves	2
Topinambour	1
Rutabagas	1
Endives	1
Pommes de terre	1
Navet	1
Paille de Féverole	1
Carottes	1
Betteraves Sucrières	1
Paille de Pois	1
Paille de Graminée fourragère	1
Paille d'Avoine	1
Pulpes de betteraves	1

Name: count, dtype: int64

Libellé 1-2

RAY-GRASS ANGLAIS	146
RAY-GRASS D'ITALIE	103
DACTYLE	93
LUZERNE	84
PLAINE (NORMANDIE)	74
FÉTUQUE ÉLEVÉE	69
BROME	60
TRÈFLE VIOLET	47
DEMI-MONTAGNE (AUVERGNE)	44
MONTAGNE (ALPES NORD)	24
FLÉOLE	18
FÉTUQUE DES PRÉS	13
MAÏS	12
SORGHO FOURRAGER	10
TRÈFLE BLANC	8
SOJA	7
TOURNESOL	7
SEIGLE	6
COLZA	6
CHOUX	5
AVOINE	5
FÈVEROLE	5
SAINFOIN	5
ORGE	5
BLÉ	5
PLAINE (CRAU)	5
SILPHIUM	4
POIS	3
VESCE	3
LUPIN BLANC	2
PERKO	1
EPIS COMPLETS DE MAÏS	1

Name: count, dtype: int64

Libellé 1-3
NON ALTERNATIF 75
ALTERNATIF 28
Name: count, dtype: int64

Libellé 2
Année d'exploitation 128
Fané au sol par beau temps 97
Fané au sol par temps de pluie (< 10 jours) 84
Mi-fané > 50% MS 83
Brins courts sans conservateur 74
Préfané coupe fine 68
Brins courts avec conservateur 67
Ventilé 61
1er cycle 46
Année de semis 19
3e cycle 13
À base de graminées 12
À base de dicotylédones 12
Fané au sol par temps de pluie 10
Fané au sol 9
2e cycle après coupe bourgeonnement 9
2e cycle après coupe épiaison 9
4e cycle 6
Variétés tardives 4
Conditions normales de végétation 4
Immature 3
2e cycle après déprimage 3
Variétés précoces 3
Mauvaises conditions de végétation 3
2e cycle 3
En culture dérobée 3
Très bonnes conditions de végétation 1
Name: count, dtype: int64

Libellé 2-1
enrubanné 83
1er cycle 62
2e cycle après coupe épiaison 29
3e cycle 24
4e cycle 7
2e cycle après déprimage 6
Ventilé 6
Fané au sol par beau temps 6
Fané au sol par temps de pluie (< 10 jours) 6
Feuillu 3
Name: count, dtype: int64

Libellé 2-2
variétés précoces 9
variétés tardives 8
Name: count, dtype: int64

Libellé 3
1er cycle 318
2e cycle après coupe épiaison 138
3e cycle 56
2e cycle après coupe bourgeonnement 39
2e cycle après déprimage 29
...
Repousses à tiges de 10 semaines 1
Moelliers et 1/2 moelliers 1
Feuillus 1
Cavaliers rouges 1
Pulpes de betteraves surpressées ensilées 1
Name: count, Length: 94, dtype: int64

Libellé 3-1
variétés précoces 36
variétés tardives 30
Seule 11
Traitée à l'ammoniac 4
pluviométrie non limitante 3

déprimage	2
pâtureage	2
Fraîches	2
pluviométrie limitante	2
sécheresse	2
conditions normales	2
floraison	2
épiaison	2
début épiaison	2
Traitée à l'ammoniac (4% de la MS)	2
>35% MS	1
toutes exploitations	1
fin floraison	1
Ensilées	1

Name: count, dtype: int64

Libellé 3-2	
ST = 172°C	1
ST = 298°C	1
ST = 470°C	1
ST = 685°C	1
ST = 903°C	1
ST = 1142°C	1

Name: count, dtype: int64

Libellé 4	
Début floraison	49
Début épiaison	47
Repousses à tiges de 6 semaines	46
Repousses à tiges de 7 semaines	44
Épiaison	41
Repousses feuillues de 6 semaines	41
Repousses feuillues de 7 semaines	40
Fin épiaison	39
1 semaine avant le début de l'épiaison	31
Repousses feuillues de 8 semaines	29
Repousses à tiges de 8 semaines	25
Floraison	23
Repousses à tiges de 5 semaines	17
1-10 juin	14
15-25 juin	13
Bourgeonnement	12
Début bourgeonnement	12
Repousses à tiges de 9 semaines	9
Fructification du dactyle	8
Épiaison du dactyle	8
Repousses feuillues de 5 semaines	8
15-25 mai	8
1-10 juillet	6
Feuillu	4
Vitreux	4
Repousses feuillues de 9 semaines	4
Graine consistante	3
Laiteux-pâteux	3
1-10 mai	3
Moyenne	2
Bonne	2
Fin floraison	2
Repousses feuillues de 4 semaines	2
Mauvaise	2
Épi à 10 cm du sol	2
Moelliers et 1/2 moelliers	1
Sécheresse estivale	1
15-25 août	1
10-20 mai	1
Gel stade laiteux-pâteux	1
Temp. été insuff.	1
Pâteux	1
105 jours après semis	1
75 jours après semis	1

Name: count, dtype: int64

Libellé 4-1	
début épiaison	14
épiaison	14
floraison	10
1ère coupe précoce	2

```

feuillu          2
réc. 3 sem. apr. gel    1
2e coupe         1
1ère coupe tardive   1
maïs pauvre en épis   1
35% MS           1
récolte + 55 j. apr. floraison 1
>35% MS          1
35% MS           1
30% MS           1
25% MS           1
fin floraison     1
3e coupe          1
Name: count, dtype: int64

```

```

Libellé 4-2
ST = 470°C      7
ST = 685°C      7
ST = 903°C      6
ST = 1142°C     1
% d'épis > 65   1
ST = 298°C      1
Name: count, dtype: int64

```

```
In [32]: import prince as pr
from sklearn.impute import KNNImputer
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
```

```
In [33]: targets = ['UFL', 'UFV', 'PDIA', 'PDI', 'BPR']
secondary_targets = ['UEM', 'UEL', 'UEB'] + [col for col in fourrage.columns if col[-2:] == 'DI' and col != 'PD'
features = ['MS', 'MM', 'MAT', 'CB', 'NDF', 'ADF', 'EE']
libelles = [f'Libellé {i}' for i in range(5)]
TARGETS = targets #+ secondary_targets
```

```
In [34]: var_obj.reset_index(drop=True, inplace=True)
var_obj.replace(to_replace=np.nan, value='NA') #Create NA class for missing values

num_obj = fourrage[features]
knn_imp = KNNImputer()
scaler = StandardScaler()
norm_num_obj = pd.DataFrame(scaler.fit_transform(num_obj), columns=num_obj.columns)
noNA_num_obj = pd.DataFrame(knn_imp.fit_transform(norm_num_obj), columns=norm_num_obj.columns) # Impute missing

noNA_num_obj.reset_index(drop=True, inplace=True)
dataset = pd.concat([var_obj, noNA_num_obj], axis=1)
```

FAMD

Une méthode permettant de représenter à la fois des données catégorielles et numériques. Voici un livre discutant de différentes méthodes d'analyse de données mixtes [Escoffier, B., Pagès, J. \(2023\). Analyses factorielles simples et multiples - 5e éd.: Cours et études de cas. \(n.p.\): Dunod. et Escoffier, B. Traitement simultané de variables qualitatives et quantitatives en analyse factorielle. Les cahiers de l'analyse des données, Tome 4 \(1979\) no. 2, pp. 137-146.](#)

```
In [35]: famd = pr.FAMD(
    n_components=200,
    n_iter=5,
    copy=True,
    check_input=True,
    random_state=42,
    engine="sklearn",
    handle_unknown="error" # same parameter as sklearn.preprocessing.OneHotEncoder
)
famd = famd.fit(dataset)
famd.plot(
    dataset,
    x_component=0,
    y_component=1,
    show_column_labels=True)
```

Out[35]:

```
In [36]: explained_summary = famd.eigenvalues_summary
explained_summary.index = [f'C{i}' for i in range(explained_summary.shape[0])]
```

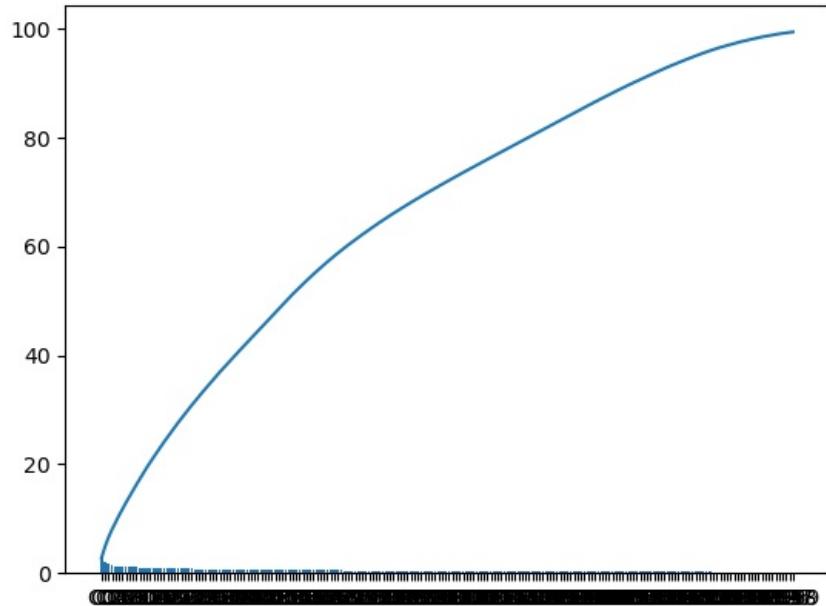
```
In [37]: def string2num(row):
    return float(row[:-1])

def transform_eigen_format(col):
```

```
new_col = col.apply(string2num)
return new_col
```

```
In [38]: components = list(explained_summary.index)
exp_var = transform_eigen_format(explained_summary['% of variance'])
cum_exp_var = transform_eigen_format(explained_summary['% of variance (cumulative)'])

plt.figure()
plt.bar(components, exp_var)
plt.plot(components, cum_exp_var)
plt.show()
```



```
In [39]: print(cum_exp_var)
```

```
C0      2.76
C1      4.83
C2      6.53
C3      7.96
C4      9.26
...
C195    98.98
C196    99.07
C197    99.17
C198    99.25
C199    99.33
Name: % of variance (cumulative), Length: 200, dtype: float64
```

```
In [40]: famd.column_contributions_.style.format('{:.0%}')
```

component	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
variable																									
MS	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MM	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MAT	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
CB	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NDF	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ADF	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
EE	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Libellé 0	2%	2%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
Libellé 1	1%	1%	1%	3%	3%	2%	2%	4%	1%	4%	1%	4%	3%	0%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%
Libellé 1-2	1%	1%	2%	3%	2%	3%	3%	2%	4%	1%	1%	2%	3%	3%	1%	1%	0%	1%	2%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
Libellé 1-3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Libellé 2	2%	2%	3%	2%	2%	3%	2%	2%	3%	3%	4%	0%	2%	2%	2%	3%	3%	3%	3%	2%	0%	1%	2%	1%	0%
Libellé 2-1	1%	1%	0%	1%	1%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%
Libellé 2-2	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Libellé 3	2%	2%	3%	1%	3%	2%	2%	4%	3%	3%	2%	5%	4%	1%	4%	3%	3%	3%	4%	3%	2%	4%	2%	4%	5%
Libellé 3-1	1%	1%	0%	1%	1%	1%	0%	0%	2%	0%	1%	4%	2%	0%	1%	2%	1%	2%	3%	3%	2%	3%	1%	1%	5%
Libellé 3-2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	1%	0%	2%	3%	2%	1%	1%	0%	5%	0%	0%
Libellé 4	2%	1%	3%	2%	1%	2%	2%	1%	1%	1%	2%	1%	3%	1%	1%	2%	2%	1%	2%	3%	1%	3%	4%	0%	0%
Libellé 4-1	1%	1%	2%	1%	0%	0%	1%	0%	2%	0%	3%	0%	0%	3%	1%	1%	1%	2%	1%	2%	3%	1%	3%	2%	0%
Libellé 4-2	1%	1%	1%	1%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	2%	2%	0%	2%	1%	0%	0%	0%

```
In [41]: famd_dataset = famd.transform(dataset)
famd_dataset.columns = components
famd_dataset.reset_index(drop=True, inplace=True)
to_predict = fourrage[TARGETS]
to_predict.reset_index(drop=True, inplace=True)

famd_dataset = pd.concat([famd_dataset, to_predict], axis=1)
famd_dataset
```

	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	...	C195
0	5.339768	-9.367524	-1.176605	20.015029	-1.230649	-19.173184	-4.028276	-1.678294	4.458686	-2.507503	...	-0.103501
1	5.250439	-8.837946	-1.133424	18.780393	-1.653152	-17.029238	-3.650693	-1.079232	3.402931	-2.203272	...	-0.267020
2	5.221800	-8.485368	-1.182556	18.904111	-2.282198	-16.925105	-3.847464	-0.544385	3.005223	-2.233890	...	-0.320661
3	5.133113	-8.153466	-1.302484	19.002350	-2.988039	-17.048216	-3.971776	0.100677	2.644912	-2.286776	...	-0.312871
4	5.095376	-7.977228	-1.399831	19.099765	-3.411958	-17.249455	-4.086737	0.451780	2.494199	-2.294053	...	-0.249017
...
908	21.148725	10.362994	-0.966446	2.483524	17.077051	10.365870	-11.815122	-19.256972	2.646956	-11.421923	...	0.028074
909	21.191857	10.087866	-0.719099	2.299343	17.440927	10.598539	-11.988968	-19.505993	2.792620	-11.573682	...	0.035836
910	20.803134	9.879538	-1.782031	1.590045	16.891349	9.873616	-10.931798	-19.141755	2.539699	-10.683134	...	0.012525
911	20.825069	9.614093	-2.035291	1.370452	17.164524	9.857954	-10.703292	-19.472191	2.638206	-10.364584	...	-0.009820
912	20.635462	10.743479	-1.678218	2.028531	15.561087	9.852582	-11.533458	-17.990319	2.023329	-11.236715	...	0.007649

913 rows × 205 columns

```
In [42]: from sklearn.model_selection import train_test_split, cross_val_score, cross_val_predict, cross_validate
from sklearn.metrics import root_mean_squared_error, r2_score, mean_absolute_percentage_error, mean_squared_error
from sklearn.preprocessing import StandardScaler, OneHotEncoder
from sklearn.linear_model import LinearRegression, Ridge, Lasso, ElasticNet
from sklearn.svm import SVR, LinearSVR
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor, GradientBoostingRegressor
from sklearn.neural_network import MLPRegressor
from xgboost import XGBRegressor
from sklearn.neighbors import KNeighborsRegressor
from sklearn.tree import DecisionTreeRegressor
```

```
In [43]: def evaluate_model(model, X_train, Y_train, cv=5, scoring='neg_root_mean_squared_error', show=False):
```

```

scores = cross_val_score(model, X_train, Y_train, cv=cv, scoring=scoring)
scores = [-1*score for score in scores if 'neg' in scoring]
score = np.mean(scores)
std = np.std(scores)
if show:
    print(f"Average Score : {score}")
    print(f"Standard Deviation : {std}")
return scores, score, std

def evaluate_models(model_dict, data, input_features, targets, cv=5, show=False, scoring='neg_root_mean_squared_error'):
    scaler = StandardScaler()
    out = {"Models": []}
    all_splits_unit = {"Models": []}
    for split in range(cv):
        all_splits_unit[f'Fold_{split+1}'] = []
    all_splits = {}
    for target in targets:
        out[target] = []
        all_splits[target] = deepcopy(all_splits_unit)
    for model_name in model_dict.keys():
        if show:
            print(f'\nModel : {model_name}')
        model = model_dict[model_name]
        out["Models"].append(model_name)
        for target in targets:
            if show:
                print(f'Results for {target}')
            if normalize:
                norm_data = pd.DataFrame(scaler.fit_transform(data), columns=data.columns, index=data.index)
            else:
                norm_data = data
            X_train, X_test, Y_train, Y_test = train_test_split(norm_data[input_features], norm_data[target], shuffle=True, random_state=42)
            scores, score, std = evaluate_model(model, X_train, Y_train, cv=cv, scoring=scoring, show=show)
            out[target].append(score)
            all_splits[target]["Models"].append(model_name)
            for split in range(cv):
                all_splits[target][f'Fold_{split+1}'].append(scores[split])
    df_mean = pd.DataFrame(out)
    df_mean.index = df_mean['Models']
    stat_df_dico = {}
    for target in targets:
        stat_df_dico[target] = pd.DataFrame(all_splits[target])
        stat_df_dico[target].index = stat_df_dico[target]['Models']
        stat_df_dico[target] = stat_df_dico[target].iloc[:,1:]
    return df_mean.iloc[:,1:], stat_df_dico

def plot_best_model(eval_output, model_dict, data, input_features, targets,
                    method='avg',
                    cv=5, scoring='neg_root_mean_squared_error', direction="min",
                    normalize=True,
                    clip_outliers=False, outlier_threshold=2):
    scaler = StandardScaler()

    # Plot best model on average
    if method == 'avg':
        if direction == "min":
            model_name = list(eval_output.index)[np.argmin(eval_output[target])]
        if direction == "max":
            model_name = list(eval_output.index)[np.argmax(eval_output[target])]

    for i,target in enumerate(targets):
        # Plot best model for this specific target
        if method == 'per_target':
            if direction == "min":
                model_name = list(eval_output.index)[np.argmin(eval_output[target])]
            else:
                model_name = list(eval_output.index)[np.argmax(eval_output[target])]

    model = model_dict[model_name]
    if normalize:
        norm_data = pd.DataFrame(scaler.fit_transform(data), columns=data.columns)
    else:
        norm_data = data
    X_train, X_test, Y_train, Y_test = train_test_split(norm_data[input_features], norm_data[target], shuffle=True, random_state=42)
    y_pred = cross_val_predict(model, X_train, Y_train, cv=cv)
    r2 = r2_score(Y_train, y_pred)

    if clip_outliers:
        mean_Error, std_Error = np.mean(np.abs(y_pred-Y_train)), np.std(np.abs(y_pred-Y_train))
        mask = np.where(np.abs(y_pred-Y_train) >= mean_Error + outlier_threshold * std_Error, False, True)
        Y_train, y_pred = Y_train[mask], y_pred[mask]
        n_out = np.sum(mask == False)
    print(f"\n*** Model : {model_name} ***")

```

```

plt.subplots(1,2, sharex=True, figsize=(14,5))
plt.subplot(1,2,1)
plt.scatter(Y_train, y_pred, c=np.abs(y_pred-Y_train))
plt.colorbar(label="| Y_predicted - Y_true |")
plt.plot(Y_train, Y_train, linestyle='--')
if clip_outliers:
    plt.title(f'R2 score : {r2} \n{n_out} outliers removed.')
else:
    plt.title(f'R2 score : {r2}')
plt.xlabel(f'True {target}')
plt.ylabel(f'Predicted {target}')
plt.subplot(1,2,2)
plt.scatter(Y_train, y_pred-Y_train, c=np.abs(y_pred-Y_train), cmap='flare')
plt.colorbar(label="| Y_predicted - Y_true |")
plt.plot(Y_train, [0]*Y_train.shape[0], c='black', linestyle='--')
if clip_outliers:
    plt.title(f'Plot of residues. \n{n_out} outliers removed.')
else:
    plt.title(f'Plot of residues.')
plt.xlabel(f'True {target}')
plt.ylabel(f'Errors (Y_pred - Y_hat) for {target}')
plt.show()

```

In [44]:

```

model_dico = {"LinearRegression":LinearRegression(n_jobs=1),
              "Ridge":Ridge(),
              "Lasso":Lasso(),
              "ElasticNet":ElasticNet(),
              "LinearSVR":LinearSVR(),
              "NonLinear_SVR":SVR(kernel='rbf'),
              "KNeighborsRegressor":KNeighborsRegressor(),
              "DecisionTreeRegressor":DecisionTreeRegressor(random_state=62),
              "RandomForestRegressor":RandomForestRegressor(random_state=62, n_jobs=1),
              "GradientBoostingRegressor":GradientBoostingRegressor(random_state=62),
              "XGBoostRegressor":XGBRegressor(n_estimators=100, random_state=62),
              "MLPRegressor":MLPRegressor(hidden_layer_sizes=(20,20), alpha=0.01)}

```

results_df, stat_df = evaluate_models(model_dico, famd_dataset, list(components), TARGETS, show=False)

In [45]:

```

# results_df["Average"] = np.mean(results_df, axis=1)
# plt.figure(figsize=(len(TARGETS),6))
# sns.heatmap(results_df.clip(upper=10), annot=True)
# plt.title('Root Mean Squared Error of different models for our targets. (Lower is better)')
# plt.show()

```

In [46]:

```
# plot_best_model(results_df, model_dico, famd_dataset, list(components), TARGETS, clip_outliers=False)
```

In [47]:

```

enc = OneHotEncoder(sparse_output=False)

OHE.Lib0 = pd.DataFrame(enc.fit_transform(fourrage.iloc[:,3:4]), columns=[t[0] for t in list(fourrage.iloc[:,3:4])])
OHE.Lib1 = pd.DataFrame(enc.fit_transform(fourrage.iloc[:,4:5]), columns=[t[0] for t in list(fourrage.iloc[:,4:5])])

```

In [48]:

```

dataset_with_OHE_L0 = pd.concat([OHE.Lib0, fourrage[features+TARGETS]], axis=1)
print(dataset_with_OHE_L0.shape)
dataset_with_OHE_L1 = pd.concat([OHE.Lib1, fourrage[features+TARGETS]], axis=1)
print(dataset_with_OHE_L1.shape)
dataset_with_OHE_L0L1 = pd.concat([OHE.Lib0, OHE.Lib1, fourrage[features+TARGETS]], axis=1)
print(dataset_with_OHE_L0L1.shape)

```

```
(913, 17)
(913, 39)
(913, 44)
```

In [49]:

```

# features_L0 = list(OHE.Lib0.columns) + features
# results_df_L0, stat_df_L0 = evaluate_models(model_dico, dataset_with_OHE_L0, features_L0, TARGETS, show=False)

```

RMSE intéressant ?? Regarder prédition vs vraies. Comprendre pourquoi NaN ?

In [50]:

```

# results_df_L0["Average"] = np.mean(results_df_L0, axis=1)
# plt.figure(figsize=(len(TARGETS),6))
# sns.heatmap(results_df_L0, annot=True)
# plt.title('Performance using OneHotEncoded Libellé 0 \n with numerical descriptors using RMSE (Lower is better)')
# plt.show()

```

In [51]:

```
# plot_best_model(results_df_L0, model_dico, dataset_with_OHE_L0, features_L0, TARGETS, clip_outliers=False)
```

In [52]:

```

# features_L1 = list(OHE.Lib1.columns) + features
# results_df_L1, stat_df_L1 = evaluate_models(model_dico, dataset_with_OHE_L1, features_L1, TARGETS, show=False)

```

In [53]:

```

# results_df_L1["Average"] = np.mean(results_df_L1, axis=1)
# plt.figure(figsize=(len(TARGETS),6))
# sns.heatmap(results_df_L1, annot=True)

```

```
# plt.title('Performance using OneHotEncoded Libellé 1 \n with numerical descriptors using RMSE (Lower is better)')
# plt.show()

In [54]: # plot_best_model(results_df_L1, model_dico, dataset_with_OHE_L1, features_L1, TARGETS, clip_outliers=False)

In [55]: # features_L0L1 = list(OHE.Lib0.columns) + list(OHE.Lib1.columns) + features
# results_df_L0L1, stat_df_L0L1 = evaluate_models(model_dico, dataset_with_OHE_L0L1, features_L0L1, TARGETS, show=True)

In [56]: # results_df_L0L1["Average"] = np.mean(results_df_L0L1, axis=1)
# plt.figure(figsize=(len(TARGETS),6))
# sns.heatmap(results_df_L0L1, annot=True)
# plt.title('Performance using OneHotEncoded Libellé 0 and Libellé 1 \n with numerical descriptors using RMSE (Lower is better)')
# plt.show()

In [57]: # plot_best_model(results_df_L0L1, model_dico, dataset_with_OHE_L0L1, features_L0L1, TARGETS, clip_outliers=False)

In [58]: def study_with_libelle(model_dict, data, targets, categorical_cols, num_cols, step_categorical,
                           cv=5, metric='neg_root_mean_squared_error', normalize=True, metric_name='RMSE'):
    n_cat = len(categorical_cols)
    output = {}
    for target in targets:
        output[target] = {'Model':[], 'N_categorical':[], metric_name:[]}
    for i in range(step_categorical, n_cat, step_categorical):
        cols = categorical_cols[:i]
        if num_cols:
            features = cols + num_cols
        else:
            features = cols
        # print(f'\nEvaluating when using {i} categoricity representing features')
        results_df, _ = evaluate_models(model_dict, data, features, targets, cv=cv, scoring=metric, normalize=normalize)
        for target in targets:
            output[target]['Model'] += list(results_df.index)
            output[target]['N_categorical'] += [i]*results_df.shape[0]
            output[target][metric_name] += list(results_df[target].iloc[:])
    for target in targets:
        output[target] = pd.DataFrame(output[target], columns=output[target].keys())
    return output

def plot_study_with_libelle(output_study, target, model_name, metric_name='RMSE'):
    data = output_study[target]
    data = data[data['Model'] == model_name]
    if np.max(data[metric_name]) > 20*np.min(data[metric_name]):
        data[f'log({metric_name})'] = np.log(data[metric_name])
        sns.barplot(data, x='N_categorical', y=f'log({metric_name})')
    else:
        sns.barplot(data, x='N_categorical', y=metric_name)
    plt.title(f"Performance on {target} depending \n on the number of categorical components we use")
    plt.xticks(rotation=90)
    plt.show()

In [59]: # model_dict = {"LinearRegression":LinearRegression(n_jobs=-1)}
# metric_name = "RMSE"
# study_output = study_with_libelle(model_dict, famd_dataset, TARGETS, components, None, 5, metric_name=metric_name)

In [60]: # for target in targets:
#     plot_study_with_libelle(study_output, target, 'LinearRegression', metric_name=metric_name)
```

Partie de RG

```
In [61]: print(list(fourrage.columns).index('Libellé 1'))

4

In [62]: features

Out[62]: ['MS', 'MM', 'MAT', 'CB', 'NDF', 'ADF', 'EE']

In [63]: obj_features = fourrage.drop(['Code INRA'], axis=1).select_dtypes(include="object")
target = fourrage[['UFL', 'UFV', 'PDI', 'PDIA', 'BPR']]
num_features = fourrage[['MS', 'MM', 'MAT', 'CB', 'NDF', 'ADF', 'EE']]

In [64]: obj_features.head()
```

Out[64]:

	Libellé 0	Libellé 1	Libellé 1-2	Libellé 1-3	Libellé 2	Libellé 2-1	Libellé 2-2	Libellé 3	Libellé 3-1	Libellé 3-2	Libellé 4	Libellé 4-1	Libellé 4-
0	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	None	1er cycle	None	None	15-25 avril	déprimage	ST = 172°C	NaN	NaN	NaN
1	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	None	1er cycle	None	None	1-10 mai	pâturage	ST = 298°C	NaN	NaN	NaN
2	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	None	1er cycle	None	None	15-25 mai	début épiaison	ST = 470°C	NaN	NaN	NaN
3	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	None	1er cycle	None	None	1-10 juin	épiaison	ST = 685°C	NaN	NaN	NaN
4	FOURRAGES VERTS	PRAIRIES PERMANENTES	PLAINE (NORMANDIE)	None	1er cycle	None	None	15-25 juin	floraison	ST = 903°C	NaN	NaN	NaN

MCA (Multi-Component Analysis ou Analyse en Composantes Multiples)

Méthode de réduction de dimension sur des données catégorielles. Cette méthode est aussi disucté dans les ressources citées précédemment.

In [65]:

```
# One Hot + mca sur le OneHot + concaténation + séparation de X et Y + return X et Y

def Optimisation_avec_MCA_sans_PCA(nb_colonne_obj, target_features) :

    mca_temp = pr.MCA(
        n_components=nb_colonne_obj,
        n_iter=5,
        copy=True,
        check_input=True,
        engine='sklearn',
        random_state=0)

    obj_features_temp = obj_features.iloc[:, 0:nb_colonne_obj]

    mca_temp.fit(obj_features_temp)
    obj_features_N = mca_temp.transform(obj_features_temp)
    print(obj_features_N.shape)

    scaler = StandardScaler()
    num_features_T = pd.DataFrame(scaler.fit_transform(num_features), columns = num_features.columns)
    target_features_T = pd.DataFrame(scaler.fit_transform(target_features), columns = target_features.columns)

    df_t = pd.concat([obj_features_N, num_features_T, target_features_T], axis=1)

    for col in df_t.columns:
        na_count = df_t[col].isna().sum() # Nombre de valeurs manquantes dans la colonne
        if na_count > 0: # Si au moins une valeur manquante
            print(f"Colonne {col} : attention NA ({na_count} valeurs manquantes)")

    # df_t = df_t.dropna()

    for col in df_t.columns:
        na_count = df_t[col].isna().sum() # Nombre de valeurs manquantes dans la colonne
        if na_count > 0: # Si au moins une valeur manquante
            print(f"Colonne {col} : attention encore NA ({na_count} valeurs manquantes)")

    X_temp = df_t.drop(target, axis = 1)
    Y_temp = df_t[target.columns]

    print(X_temp.columns)
    print(features)
    X_temp.columns = [str(i) for i in range(obj_features_N.shape[1])] + features # features est une variable globale

    return X_temp, Y_temp
```

In [66]:

```
# aijca, aijcpja = Optimisation_avec_MCA_sans_PCA(10, target)
# scoring_dict = {'mape':'neg_mean_absolute_percentage_error', 'max_error':'max_error', 'mae':'neg_mean_absolute_error'}
# perfs_dict = cross_validate(LinearRegression(), aijca, aijcpja['UFL'], scoring=scoring_dict, cv=5)
# perfs_dict
```

In [67]:

```
def MAD(array):
    return np.median(np.abs(array - np.ones(array.shape)*np.median(array)))
```

In [68]:

```
# Prend X et Y + séparation train et test + evaluation par chaque modèle + renvoie de plusieurs métriques pour
scoring_dict = {'mape':'neg_mean_absolute_percentage_error',
                'max_error':'max_error', 'mae':'neg_mean_absolute_error',
                'r2':'r2', 'rmse':'neg_root_mean_squared_error'}
```

```

def PerfDesModeles(X_t, Y_t, metrique_num = True, graph_affich = True, return_results=True):
    # Définition des cibles
    target = ["UFV", "UFL", "PDI", "PDIA", "BPR"]

    # Liste des modèles à évaluer
    models = [model for model in model_dico.values()]

    # Listes pour stocker les métriques globales
    mape_tot, max_error_tot, mae_tot, r2_tot, rmse_tot = [], [], [], [], []

    # Parcours de chaque variable cible
    for tar in target:
        # Extraction de la cible
        Y_t_temp = Y_t[tar]

        # Division des données en ensembles d'entraînement et de test
        X_train, X_test, Y_train, Y_test = train_test_split(
            X_t, Y_t_temp, test_size=0.33, random_state=0, shuffle=True)

        # Conversion des noms de colonnes en chaînes de caractères (si nécessaire)
        X_train.columns = X_train.columns.astype('str')
        X_test.columns = X_test.columns.astype('str')

        # Listes temporaires pour stocker les métriques d'une seule cible
        mape_temp, max_error_temp, mae_temp, r2_temp, rmse_temp = [], [], [], [], []

        # Évaluation de chaque modèle
        for model in models:
            # Entraînement et prédiction
            model.fit(X_train, Y_train)
            perfs_dico = cross_validate(model, X_train, Y_train,
                                         scoring=scoring_dict, cv=5)
            Yhat = model.predict(X_test)

            # Calcul des métriques
            mape_temp.append(-1*np.mean(perfs_dico['test_mape']).round(4))
            max_error_temp.append(np.mean(perfs_dico['test_max_error']).round(4))
            mae_temp.append(-1*np.mean(perfs_dico['test_mae']).round(4))
            r2_temp.append(np.mean(perfs_dico['test_r2']).round(4))
            rmse_temp.append(-1*np.mean(perfs_dico['test_rmse']).round(4))

        # Ajout des résultats pour la cible en cours
        mape_tot.append(mape_temp)
        max_error_tot.append(max_error_temp)
        mae_tot.append(mae_temp)
        r2_tot.append(r2_temp)
        rmse_tot.append(rmse_temp)

    # Noms des modèles pour indexer les DataFrames
    model_names = [model.__class__.__name__ for model in models]

    # Création des DataFrames pour chaque métrique
    mape_df = pd.DataFrame(mape_tot, columns=model_names, index=target).T
    max_error_df = pd.DataFrame(max_error_tot, columns=model_names, index=target).T
    mae_df = pd.DataFrame(mae_tot, columns=model_names, index=target).T
    r2_df = pd.DataFrame(r2_tot, columns=model_names, index=target).T
    rmse_df = pd.DataFrame(rmse_tot, columns=model_names, index=target).T

    # Liste des métriques et leurs titres pour la visualisation
    metriques = [
        (mape_df, "MAPE (Mean Absolute Percentage Error)", 'crest'),
        (max_error_df, "Erreur Maximale", 'crest'),
        (mae_df, "MAE (Mean Absolute Error)", 'crest'),
        (r2_df, "R2 (Coefficient de Détermination)", 'flare'),
        (rmse_df, "RMSE (Moindres carrées)", 'crest')
    ]
    # Visualisation des résultats sous forme de heatmaps
    if graph_affich == True :
        for df, title, colormap in metriques:
            plt.figure(figsize=(8, 6))
            sns.heatmap(df, annot=True, cmap=colormap, fmt=".4g")
            plt.title(title)
            plt.show()

    if return_results:
        return metriques
    # Return éventuelle des métriques :
    if metrique_num == True :
        return mape_tot

```

In [69]: # aijca, aijcpja = Optimisation_avec_MCA_sans_PCA(10, target)
PerfDesModeles(aijca, aijcpja, metrique_num=False, graph_affich=False)

Fin partie de RG

Construction d'une baseline

Le but de la suite est de construire des performances de références en termes de prédiction des valeurs d'intérêts à partir de divers algorithmes. Elle servira notamment de repère pour juger les performances des systèmes produis plus tard dans le projet.

```
In [70]: directions_dict = {'mape':'min',
                      'max_error':'min', 'mae':'min',
                      'r2':'max', 'rmse':'min'}
def get_best_perf(results, format: str = {'rr', 'rg'}, mode: str = {'avg', 'all'}, metric="rmse"):
    """
    Pour lire les résultats de PerfDesModeles ou de evaluate_models
    """
    dir = directions_dict[metric]
    if format == 'rr':
        pass
    elif format == 'rg':
        metric_results_pos = list(directions_dict.keys()).index(metric)
        results, _, _ = results[metric_results_pos] # récupère le bon dataframe (c.f def PerfDesModeles)
    else:
        raise Exception("Unknown format, please use either rr or rg formats.")

    if mode == 'avg':
        avg = np.mean(results, axis=1)
        std = np.std(results, axis=1)
        if dir == 'max':
            best_model = list(results.index)[np.argmax(avg)]
            best_perf = np.max(avg)
            std_perf = std[np.argmax(avg)]
        else:
            best_model = list(results.index)[np.argmin(avg)]
            best_perf = np.min(avg)
            std_perf = std[np.argmin(avg)]
    return best_model, best_perf, std_perf
    elif mode == 'all':
        if dir == 'max':
            best_model = [list(results.index)[np.argmax(results[col])] for col in results.columns]
            best_perf = [np.max(results[col]) for col in results.columns]
        else:
            best_model = [list(results.index)[np.argmin(results[col])] for col in results.columns]
            best_perf = [np.min(results[col]) for col in results.columns]
    return best_model, best_perf
```

```
In [71]: from sklearn.preprocessing import StandardScaler, MinMaxScaler, MaxAbsScaler, RobustScaler
def normalise(dataset, cols_to_norm, targets, method="standard"):
    """
    Normalise les colonnes spécifiées par cols_to_norm dans le dataset donné.
    Différentes méthodes de normalisation sont possible.
    """
    scaler_database = {"standard":StandardScaler(),
                       "minmax":MinMaxScaler(),
                       "maxabs":MaxAbsScaler(),
                       "robust":RobustScaler()}
    scaler = scaler_database[method]
    if cols_to_norm == "all": # Si cols_to_norm est mis à "all", on prends tout
        cols_to_norm = list(dataset.columns)
    normed_df = pd.DataFrame(scaler.fit_transform(dataset[cols_to_norm]), columns=dataset[cols_to_norm].columns)

    if set(cols_to_norm) == set(list(dataset.columns)):
        return normed_df
    elif set(targets).intersection(set(cols_to_norm)) == set():
        return pd.concat([dataset[[col for col in dataset.columns if col not in targets and col not in cols_to_norm]],
                         normed_df,
                         dataset[targets]], axis=1)
    elif set(targets).intersection(set(cols_to_norm)) == set(targets):
        return pd.concat([dataset[[col for col in dataset.columns if col not in targets and col not in cols_to_norm]],
                         normed_df], axis=1)
    else:
        return pd.concat([dataset[[col for col in dataset.columns if col not in targets and col not in cols_to_norm]],
                         normed_df,
                         dataset[[col for col in targets if col not in cols_to_norm]]], axis=1)
ran_cell = 0
```

Normalisons les targets :

```
In [72]: target = normalise(target, TARGETS, TARGETS)
target
```

Out[72]:

	UFL	UVF	PDIA	PDI	BPR
0	2.008158	1.980477	2.453506	2.499307	1.398722
1	1.594213	1.562337	1.319925	1.511949	0.421899
2	0.931899	0.935128	0.469739	0.689150	-0.436521
3	0.104008	0.098848	-0.191517	0.030911	-0.850931
4	-0.723884	-0.737431	-0.569377	-0.545048	-1.117337
...
908	3.829520	4.071175	-1.419563	0.030911	-1.620549
909	2.836050	2.956136	-1.608494	-0.380488	-1.886955
910	1.097478	1.353267	0.658669	0.935990	0.185093
911	-0.475516	-0.040532	0.469739	0.277751	0.214694
912	1.842580	2.050167	-0.852773	-0.298208	-1.354142

913 rows × 5 columns

```
In [73]: # to_predict = normalise(to_predict, TARGETS, TARGETS)
# to_predict
```

Definition datasets

ATTENTION, NE LANCER LA CELLULE SUIVANTE QU'UNE FOIS

```
In [74]: if ran_cell == 0:
    num_only = dataset_with_OHE_L0[features+TARGETS]
    num_only = normalise(num_only, features+TARGETS, TARGETS) # On normalise par StandardScaler()

    L0_only = dataset_with_OHE_L0[[col for col in dataset_with_OHE_L0.columns if col not in features]]
    L0_only = normalise(L0_only, TARGETS, TARGETS) # Normalise les outputs
    L1_only = dataset_with_OHE_L1[[col for col in dataset_with_OHE_L1.columns if col not in features]]
    L1_only = normalise(L1_only, TARGETS, TARGETS)
    L0L1_only = dataset_with_OHE_L0L1[[col for col in dataset_with_OHE_L0L1.columns if col not in features]]
    L0L1_only = normalise(L0L1_only, TARGETS, TARGETS)

    dataset_with_OHE_L0 = normalise(dataset_with_OHE_L0, features+TARGETS, TARGETS)
    dataset_with_OHE_L1 = normalise(dataset_with_OHE_L1, features+TARGETS, TARGETS)
    dataset_with_OHE_L0L1 = normalise(dataset_with_OHE_L0L1, features+TARGETS, TARGETS)

    famd5_dataset = pd.concat([famd_dataset.iloc[:, :5], to_predict], axis=1)
    famd5_dataset = normalise(famd5_dataset, TARGETS, TARGETS)

    famd30_dataset = pd.concat([famd_dataset.iloc[:, :30], to_predict], axis=1)
    famd30_dataset = normalise(famd30_dataset, TARGETS, TARGETS)

    # Les dataframes suivant sont déjà normalisés par StandardScaler()
    MCAL0_X, MCAL0_Y = Optimisation_avec_MCA_sans_PCA(1, target)
    # MCAL0 = pd.concat([MCAL0_X, MCAL0_Y], axis=1)
    MCAL0L1_X, MCAL0L1_Y = Optimisation_avec_MCA_sans_PCA(2, target)
    # MCAL0L1 = pd.concat([MCAL0L1_X, MCAL0L1_Y], axis=1)
    MCA_all_X, MCA_all_Y = Optimisation_avec_MCA_sans_PCA(13, target)
    # MCA_all = pd.concat([MCA_all_X, MCA_all_Y], axis=1)

    dataset_dico = {'Valeurs chimiques (VC) uniquement':num_only,
                    'Libellé 0 (L0) uniquement':L0_only,
                    'Libellé 1 (L1) uniquement':L1_only,
                    'L0 et L1 uniquement':L0L1_only,
                    'L0 + VC':dataset_with_OHE_L0,
                    'L1 + VC':dataset_with_OHE_L1,
                    'L0 + L1 + VC':dataset_with_OHE_L0L1,
                    'FAMD 5':famd5_dataset,
                    'FAMD 30':famd30_dataset,
                    'MCA sur L0 + VC':(MCAL0_X, MCAL0_Y),
                    'MCA sur L0 et L1 + VC':(MCAL0L1_X, MCAL0L1_Y),
                    'MCA sur tous les Libellés + VC':(MCA_all_X, MCA_all_Y),
                    }
    ran_cell = 1
else:
    # Pour éviter de réitérer sur les mêmes datasets et de les modifier de manière erronée, on lève une erreur :
    raise Exception("ATTENTION t'as déjà lacer la cellule !!")
```

```
(913, 1)
Colonne ADF : attention NA (3 valeurs manquantes)
Colonne EE : attention NA (1 valeurs manquantes)
Colonne ADF : attention encore NA (3 valeurs manquantes)
Colonne EE : attention encore NA (1 valeurs manquantes)
Index([0, 'MS', 'MM', 'MAT', 'CB', 'NDF', 'ADF', 'EE'], dtype='object')
['MS', 'MM', 'MAT', 'CB', 'NDF', 'ADF', 'EE']
(913, 2)
Colonne ADF : attention NA (3 valeurs manquantes)
Colonne EE : attention NA (1 valeurs manquantes)
Colonne ADF : attention encore NA (3 valeurs manquantes)
Colonne EE : attention encore NA (1 valeurs manquantes)
Index([0, 1, 'MS', 'MM', 'MAT', 'CB', 'NDF', 'ADF', 'EE'], dtype='object')
['MS', 'MM', 'MAT', 'CB', 'NDF', 'ADF', 'EE']
(913, 13)
Colonne ADF : attention NA (3 valeurs manquantes)
Colonne EE : attention NA (1 valeurs manquantes)
Colonne ADF : attention encore NA (3 valeurs manquantes)
Colonne EE : attention encore NA (1 valeurs manquantes)
Index([0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,
       10, 11, 12, 'MS', 'MM', 'MAT', 'CB', 'NDF', 'ADF', 'EE'],
      dtype='object')
['MS', 'MM', 'MAT', 'CB', 'NDF', 'ADF', 'EE']
```

Pour regarder les dimensions des différents datasets et vérifier la cohérence des dimensions.

```
In [75]: for dataset_name, dataset in dataset_dico.items():
    if "MCA" in dataset_name:
        print(f"{dataset_name}:", dataset[0].shape)
    else:
        print(f"{dataset_name}:", dataset.shape)
```

```
Valeurs chimiques (VC) uniquement: (913, 12)
Libellé 0 (L0) uniquement: (913, 10)
Libellé 1 (L1) uniquement: (913, 32)
L0 et L1 uniquement: (913, 37)
L0 + VC: (913, 17)
L1 + VC: (913, 39)
L0 + L1 + VC: (913, 44)
FAMD 5: (913, 10)
FAMD 30: (913, 35)
MCA sur L0 + VC: (913, 8)
MCA sur L0 et L1 + VC: (913, 9)
MCA sur tous les Libellés + VC: (913, 20)
```

```
In [76]: # baseline_campaign = {"Method": [], "best_model": [], "best_perf": [], "std": []}
# METRIC = "rmse"
# in_features = features.copy()
# for dataset in dataset_dico.keys():
#     baseline_campaign["Method"].append(dataset)
#     if 'tuple' in str(type(dataset_dico[dataset])):
#         X, Y = dataset_dico[dataset]
#         results = PerfDesModeles(X, Y, graph_affich=False, return_results=True)
#         best_model, best_perf, std_perf = get_best_perf(results, format='rg', mode="avg", metric=METRIC)
#     else:
#         in_features = list([col for col in dataset_dico[dataset].columns if col not in TARGETS])
#         results, _ = evaluate_models(model_dico, dataset_dico[dataset], in_features, TARGETS)
#         best_model, best_perf, std_perf = get_best_perf(results, format='rr', mode="avg", metric=METRIC)
#     baseline_campaign["best_model"].append(best_model)
#     baseline_campaign["best_perf"].append(best_perf)
#     baseline_campaign["std"].append(std_perf)
```

```
In [77]: # baseline_campaign_df = pd.DataFrame(baseline_campaign, columns=baseline_campaign.keys())
# read_help = "(Lower is Better)" if directions_dict[METRIC] == "min" else "(Bigger is Better)"

# colors = ["cyan"]*baseline_campaign_df.shape[0]
# colors[np.argmin(baseline_campaign_df["best_perf"])] = "green"
# sns.barplot(baseline_campaign_df, x="best_perf", y="Method", orient="h", hue="best_perf", palette="crest")

# plt.errorbar(x = baseline_campaign_df["best_perf"], y = baseline_campaign_df["Method"],
#               xerr=baseline_campaign_df["std"], fmt='none', c='black', capsize = 2)
# plt.title(f"Résultats de la campagne de formation du baseline.\nMeilleur = {baseline_campaign_df["Method"]}[np.argmin(baseline_campaign_df["best_perf"])]")
# plt.xlabel(f"\{METRIC\}.upper() + read_help")
# plt.savefig("baseline_campaign.pdf", format="pdf", bbox_inches="tight")
# plt.show()
```

On remplace les valeurs manquantes des libellés par une classe indiquant l'absence de valeurs. Ceci est fait en supposant que l'absence d'information pour un libellé présente aussi un certain intérêt.

```
In [78]: obj_features = obj_features.where(~pd.isna(obj_features), "NA")
obj_features = obj_features.where(~pd.isnull(obj_features), "NA")
```

```
In [79]: # import concurrent.futures
# import os
# from functools import partial

# def parallel_for(func, iterable, max_workers=None):
#     """
#         Exécute une fonction en parallèle sur un iterable, un fold = un CPU.
#
#     Args:
#         func (callable): La fonction à exécuter pour chaque élément.
#         iterable (iterable): Les éléments sur lesquels exécuter la fonction.
#         max_workers (int): Le nombre maximal de workers à utiliser. (égal au nombre de folds)
#
#     Returns:
#         list: Une liste des résultats de chaque itération.
#     """
#     # Nombre de workers égal au nombre de folds
#     max_workers = max_workers or len(iterable)
#
#     results = []
#     with concurrent.futures.ProcessPoolExecutor(max_workers=max_workers) as executor:
#         futures = [executor.submit(func, item) for item in iterable]
#         for future in concurrent.futures.as_completed(futures):
#             results.append(future.result())
#     return results
```

Campagne Baseline

Dans la suite, on définit un ensemble de fonctions pour évaluer différents algorithmes sur chaque dataset en implémentant un protocole de validation croisée.

```
In [80]: import random as rd
from sklearn.experimental import enable_iterative_imputer
from sklearn.impute import KNNImputer, SimpleImputer, IterativeImputer
from tqdm import tqdm
from copy import deepcopy

def make_folds(n_obs, cv, shuffle, random_state):
    """
        Produit des indices pour assurer une cross validation.
        Sortie : Liste de tuple. Un tuple = (train_idx, test_idx)
    """
    population = [i for i in range(n_obs)]
    if shuffle:
        rd.seed(random_state)
        population = rd.sample(population, len(population))

    test_length = int(n_obs / cv)
    Folds = []
    for i in range(cv):
        start = i * test_length
        end = start + test_length
        test = population[start:end] if i != cv-1 else population[start:]
        train = [idx for idx in population if idx not in test]
        Folds.append((train, test))
    return Folds

def process_fold(fold, model, X, Y, targets, dataset_name):
    """
        Entraîne un modèle sur un fold de la validation croisée pour chaque valeur
        à prédire spécifiées par targets.
        Sortie : Dictionnaire de listes, chaque liste = prédiction du modèle entraîné.
    """
    train_idx, test_idx = fold
    fold_results = {target + "_" + dataset_name: [] for target in targets}

    for target in targets:
        model.fit(X.loc[train_idx], Y[target].loc[train_idx])
        yhat = model.predict(X.loc[test_idx])
        fold_results[target + "_" + dataset_name] += list(yhat)
        # print("PREDICTED:", yhat)
        # print("TRUE:", Y[target].iloc[test_idx])
    return fold_results

# def process_fold_wrapper(fold, model, X, Y, targets, dataset_name):
#     result = process_fold(fold, model, X, Y, targets, dataset_name)
#     # print(f"Résultat du fold : {len(list(result.values())[0])}")
#     return result
```

```

def cross_validation(model, dataset, dataset_name, in_features, targets, folds, imputer="knn", return_ytrue=False):
    """
    Implémentation de cross_validation. On peut spécifier une méthode d'imputation des valeurs manquantes.
    """
    imp_dict = {'mean': SimpleImputer(strategy='mean'),
                'median':SimpleImputer(strategy='median'),
                'most_frequent':SimpleImputer(strategy='most_frequent'),
                'knn': KNNImputer(),
                'multivariate':IterativeImputer()}
    imputer = imp_dict[imputer]
    X, Y = dataset[in_features], dataset[targets]

    # On remplace les valeurs manquantes
    X = pd.DataFrame(imputer.fit_transform(X), columns=X.columns, index=X.index)
    assert X.index.equals(Y.index), "Les indices de X et Y ne sont pas alignés après l'imputation !"

    results = {target + "_" + dataset_name: [] for target in targets}
    # if set(features).intersection(set(list(X.columns))) != set():
    #     print(X[features])
    # if hasattr(model, 'n_jobs') and parallel:
    #     model.n_jobs = 1
    # # Exécution en parallèle ou en séquentiel
    # if parallel:
    #     fold_results_list = parallel_for(
    #         partial(process_fold_wrapper, model=deepcopy(model), X=X, Y=Y, targets=targets, dataset_name=dataset_name),
    #         folds, max_workers=len(folds)) # Chaque fold utilise un processus distinct
    # else:
    #     fold_results_list = [process_fold(fold, model, X, Y, targets, dataset_name) for fold in folds]

    # Fusion des résultats de tous les folds
    for fold_result in fold_results_list:
        for key in fold_result:
            results[key] += fold_result[key]
    if return_ytrue:
        ytrue = [Y.iloc[fold[1]] for fold in folds]
        ytrue = pd.concat(ytrue, axis=0)
        return results, ytrue
    return results

def make_baseline(model_dict, dataset_dict, targets, cv=5, shuffle=True, random_state=62, parallel=False):
    """
    Fonction qui applique la validation croisée pour chaque algorithme dans model_dict, et ce sur tous les datasets de dataset_dict.
    Sortie : Dictionnaire contenant les valeurs prédites par les modèles, Les vraies valeurs, les libellés.
    """
    results_all = {model_name:None for model_name in model_dict.keys()}

    n_obs = dataset_dict[list(dataset_dict.keys())[0]].shape[0] #Nombre d'observations
    FOLDS = make_folds(n_obs, cv, shuffle, random_state)

    # On récupère l'ordre des observations après shuffle
    final_order = []
    for train, test in FOLDS:
        final_order += test

    infos_fourrages = obj_features.iloc[final_order,:] # defini hors fonction, plus haut dans le notebook
    results_all["infos_fourrages"] = infos_fourrages
    results_all["targets"] = target.iloc[final_order,:] # defini hors fonction, plus haut dans le notebook
    results_all["database_libelles"] = {col:np.unique(infos_fourrages[col]) for col in infos_fourrages.columns}

    pbar = tqdm(model_dict.keys())
    for model_name in pbar:
        pbar.set_postfix({"Model": model_name})
        pbar.set_description(f"Evaluating {model_name}... ")
        pbar.refresh()

    model = model_dict[model_name]

    # On initialise les résultats avec le premier dataset
    first_dataset_name = list(dataset_dict.keys())[0]
    first_dataset = dataset_dict[first_dataset_name]
    in_features = [col for col in first_dataset.columns if col not in targets]

    results_datasets = cross_validation(model,
                                         first_dataset, first_dataset_name,
                                         in_features,
                                         targets,
                                         FOLDS)

    # On fait la cross validation sur chacun des datasets restants

```

```

for dataset_name in list(dataset_dict.keys())[1:]:
    if "MCA" in dataset_name :
        X, Y = dataset_dict[dataset_name]
        dataset = pd.concat([X, Y], axis=1)
    else:
        dataset = dataset_dict[dataset_name]
in_features = [col for col in dataset.columns if col not in targets]
results_one_dataset = cross_validation(model,
                                         dataset, dataset_name,
                                         in_features,
                                         targets,
                                         FOLDS)
KEYS = list(results_one_dataset.keys())
# On stocke les nouvelles valeurs dans l'objet initialisé plus haut
for key in KEYS:
    results_datasets[key] = results_one_dataset[key]
results_df = pd.DataFrame(results_datasets, columns=results_datasets.keys(), index=final_order)
results_all[model_name] = results_df
return results_all

```

```

In [81]: # test_folds = make_folds(dataset_with_OHE_L0L1.shape[0], 5, True, 62)
# test_cross_val, y_true = cross_validation(RandomForestRegressor(random_state=62, n_jobs=-1),
#                                             dataset_with_OHE_L0L1, "L0 + L1 + VC",
#                                             [col for col in dataset_with_OHE_L0L1.columns if col not in TARGETS],
#                                             TARGETS,
#                                             test_folds,
#                                             return_ytrue=True)
# print(r2_score(y_true["UFL"], test_cross_val["UFL_L0 + L1 + VC"]))

```

```

In [82]: # final_order = []
# for train, test in test_folds:
#     final_order += test
# print(np.allclose(target.iloc[final_order,0], y_true["UFL"]))

```

Définissons notre campagne d'expérience

```

In [83]: model_dico = {"LinearRegression":LinearRegression(n_jobs=1),
                 "Ridge":Ridge(),
                 "Lasso":Lasso(),
                 "ElasticNet":ElasticNet(),
                 "LinearSVR":LinearSVR(),
                 "NonLinear_SVR":SVR(kernel='rbf'),
                 "KNeighborsRegressor":KNeighborsRegressor(),
                 "DecisionTreeRegressor":DecisionTreeRegressor(random_state=62),
                 "RandomForestRegressor":RandomForestRegressor(random_state=62, n_jobs=1),
                 "GradientBoostingRegressor":GradientBoostingRegressor(random_state=62),
                 "XGBRegressor":XGBRegressor(n_estimators=100, random_state=62),
                 "MLPRegressor":MLPRegressor(hidden_layer_sizes=(20,20), alpha=0.01)}

```

Execution de la campagne

```

In [84]: baseline_results = make_baseline(model_dico, dataset_dico, TARGETS)

Evaluating LinearRegression.. :  0% | 0/12 [00:00<?, ?it/s, Model=LinearRegression]
Evaluating MLPRegressor.. : 100%|██████████| 12/12 [11:24<00:00, 57.01s/it, Model=MLPRegressor]

```

Les fonctions qui suivent servent à chercher dans la structure donnée sortie par `make_baseline` afin de pouvoir chercher des informations de manière très modulaire.

```

In [175...]: import plotly.express as px
import plotly.graph_objects as go

def query_results(results, mode, libelle, target, metric, datasets=None, models=None):
    """
    Fonction qui récupère l'information voulue depuis les résultats de make_baseline.
    Deux modes : 'best_perfs' = Trouver les meilleures performances sur chaque dataset
    'libelle_impact' = Voir l'impact des infos textuelles sur les performances pour un
    type de fourrage donné
    Sortie : DataFrame des résultats de la recherche, Le masque utilisé pour trouver les infos
    """
    metric_dict = {'mape':mean_absolute_percentage_error,
                  'max_error':max_error, 'mae':mean_absolute_error,
                  'r2':r2_score, 'rmse':root_mean_squared_error}
    directions_dict = {'mape':'min',
                      'max_error':'min', 'mae':'min',
                      'r2':'max', 'rmse':'min'}

    dir = directions_dict[metric] # Si la metrique est à minimiser ou maximiser.
    metric = metric_dict[metric]

```

```

if libelle != "all":
    libelle_col = None
    for i,LIBELLE in enumerate(results["database_libelles"].keys()):
        if libelle in results["database_libelles"][LIBELLE]:
            libelle_col = i
            break
    if libelle_col == None:
        raise Exception("Le libellé spécifié n'est pas dans la base de données.")

query_mask = results["infos_fourrages"].index[results["infos_fourrages"].iloc[:,libelle_col] == libelle]
query_infos_fourrages = results["infos_fourrages"].loc[query_mask,:]
else:
    libelle_col = [i for i in range(len(results["database_libelles"].keys()))] # Recuperer tous les indices
    query_mask = results["infos_fourrages"].index
    query_infos_fourrages = results["infos_fourrages"]

query_results = {"Dataset":[],
                 "Performance":[],
                 "Ecart-Type (Erreurs modeles)":[],
                 "IQR (Erreurs modeles)":[],
                 "MAD (Erreurs modeles)":[],
                 "Modeles":[]}

if not datasets:
    datasets = []
    for col in results[list(results.keys())[0]].columns:
        if col[col.index("_")+1:] not in datasets:
            datasets.append(col[col.index("_")+1:])
if not models:
    models = [model for model in results.keys() if model not in ['infos_fourrages', 'targets', 'database_li
for model in models:
    query_values = results[model].loc[query_mask]
    target_results_col = [col for col in query_values.columns if f"{target}_" in col]

#On filtre la query pour récupérer seulement les résultats qu'on veut
target_results_col = [col for col in target_results_col if col[col.index("_")+1:] in datasets]

# Calculer les performances du modèle sur chaque dataset
perfs = [metric(results["targets"][target].loc[query_mask], query_values[col]) for col in target_results_col]

# Calculer l'écart type des erreurs du modèle
abs_errors = [np.abs(query_values[col] - results["targets"][target].loc[query_mask]) for col in target_results_col]
std = [np.std(abs_errors[i]) for i in range(len(abs_errors))]

iqr = [np.percentile(abs_errors[i], 75) - np.percentile(abs_errors[i], 25) for i in range(len(abs_errors))]
mad = [MAD(abs_errors[i]) for i in range(len(abs_errors))]

query_results["Dataset"] += datasets
query_results["Performance"] += perfs
query_results["Ecart-Type (Erreurs modeles)"] += std
query_results["IQR (Erreurs modeles)"] += iqr
query_results["MAD (Erreurs modeles)"] += mad
query_results["Modeles"] += [model] * len(perfs)
query_results = pd.DataFrame(query_results, columns=query_results.keys())

if mode == "best_perfs":
    idx_list = []
    for dataset in datasets:
        temp_df = query_results.loc[query_results["Dataset"] == dataset, :]
        if dir == 'min':
            idx = list(temp_df.loc[temp_df["Performance"] == np.min(temp_df["Performance"])].index)[0]
        else:
            idx = list(temp_df.loc[temp_df["Performance"] == np.max(temp_df["Performance"])].index)[0]
        idx_list.append(idx)
elif mode == "libelle_impact":
    assert libelle != "all", "En mode libelle_impact, il faut spécifier un libellé, peu importe son niveau de complexité."
    idx_list = []
    for dataset in ["Valeurs chimiques (VC) uniquement", "L0 + VC", "L1 + VC", "L0 + L1 + VC"]:
        temp_df = query_results.loc[query_results["Dataset"] == dataset, :]
        if dir == 'min':
            idx = list(temp_df.loc[temp_df["Performance"] == np.min(temp_df["Performance"])].index)[0]
        else:
            idx = list(temp_df.loc[temp_df["Performance"] == np.max(temp_df["Performance"])].index)[0]
        idx_list.append(idx)
else:
    raise Exception("Deux modes possibles uniquement : 'best_perfs' ou 'libelle_impact'.")
return query_results.iloc[idx_list], query_mask

def plot_query(results, mode, libelle, target, metric, save=False, clip_outliers=False, outlier_threshold=2, show=True):
    """
    Affiche les informations souhaitées en utilisant query_results afin de les récupérer.
    Trois modes possibles : 'see_best_predictions' = Affiche Pred vs True et plot des résidus pour le meilleur modèle
    'libelle_impact' = Affiche les prédictions pour les meilleurs modèles pour chaque libellé
    'best_perfs' = Affiche les meilleures prédictions pour tous les modèles
    """

```

```

'best_perfs' = Montre les meilleures performances sur chaque dataset
'libelle_impact' = Montre l'impact des infos textuelles (non réduites en dimension) sur les performances
"""
if mode == "see_best_predictions":
    mode_query = "best_perfs"
else:
    mode_query = mode
query_out, query_mask = query_results(results, mode_query, libelle, target, metric)
read_help = "(Lower is Better)" if directions_dict[metric] == "min" else "(Bigger is Better)"

if mode == "best_perfs":
    func = np.argmin if directions_dict[metric] == "min" else np.argmax
    sns.barplot(query_out, x="Performance", y="Dataset", orient="h", hue="Performance", palette="crest")
    if libelle == "all":
        libelle = "de tous types"
    if show_bars:
        if errbars_type == "mad":
            err_variability_metric = 'MAD (Erreurs modeles)'
        elif errbars_type == "iqr":
            err_variability_metric = 'IQR (Erreurs modeles)'
        else:
            err_variability_metric = 'Ecart-Type (Erreurs modeles)'
        plt.errorbar(x = query_out["Performance"], y = query_out["Dataset"],
                    xerr=query_out[err_variability_metric], fmt='none', c = 'black', capsize = 2)
        plt.title(f"Meilleures performances sur les fourrages {libelle} pour les valeurs {target}.\\nMeilleur")
    else:
        plt.title(f"Meilleures performances sur les fourrages {libelle} pour les valeurs {target}.\\nMeilleur")
plt.xlabel(f"{metric} ".upper() + read_help)

elif mode == "see_best_predictions":
    func = np.argmin if directions_dict[metric] == "min" else np.argmax
    best_idx = func(query_out["Performance"])
    best_method = query_out["Dataset"].iloc[best_idx]
    model_name = query_out["Modeles"].iloc[best_idx]
    best_perf = query_out["Performance"].iloc[best_idx]

    y_pred = results[model_name][f"{target}_{best_method}"].loc[query_mask]
    Y_true = results["targets"][target].loc[query_mask]
    infos_fourrages = results["infos_fourrages"].loc[query_mask].squeeze()
    mean_Error, std_Error = np.mean(np.abs(y_pred - Y_true)), np.std(np.abs(y_pred - Y_true))

    if clip_outliers:
        mask = np.abs(y_pred - Y_true) < mean_Error + outlier_threshold * std_Error
        Y_true, y_pred = Y_true[mask], y_pred[mask]
        n_out = np.sum(~mask)

    r2 = r2_score(Y_true, y_pred)

    # Create scatter plot for predictions vs true values
    fig1 = px.scatter(
        x=Y_true,
        y=y_pred,
        color=np.abs(y_pred - Y_true),
        color_continuous_scale='viridis',
        title=f'Meilleur Modèle pour prédire {target}: {model_name}<br>Dataset:{best_method}<br>{metric.upper()}',
        labels={"x": f"True {target}", "y": f"Predicted {target}", "color": "|Y_pred - Y_true|"},
        hover_data={"True Value": Y_true, "Predicted Value": y_pred, "Libellé 0": infos_fourrages["Libellé 0"]})
    fig1.update_layout(width=640, height=480)

    fig1.add_trace(go.Scatter(x=Y_true, y=Y_true, mode='lines', line=dict(dash='dash'), showlegend=False))

    # Create scatter plot for residuals
    fig2 = px.scatter(
        x=Y_true,
        y=y_pred - Y_true,
        color=np.abs(y_pred - Y_true),
        color_continuous_scale='darkmint',
        title=f'Plot des Résidus.<br>Ecart-type = {std_Error:.4f}, Erreur Absolue Moyenne = {mean_Error:.4f}',
        labels={"x": f"True {target}", "y": f"Errors (Y_pred - Y_true)" },
        hover_data={"True Value": Y_true, "Error": y_pred - Y_true, "Libellé 0": infos_fourrages["Libellé 0"]})
    fig2.update_layout(width=640, height=480)
    fig2.add_hline(y=0, line_dash="dash", line_color="black")

    fig1.show()
    fig2.show()

else:
    query_out["Impact"] = query_out["Performance"] - float(query_out["Performance"].loc[query_out["Dataset"]]
    sns.barplot(query_out, y="Dataset", x="Impact", orient="h", hue="Impact", palette="crest")
    plt.title(f"Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type {libelle} pour les valeurs {target}")
    plt.xticks(rotation=75)

```

```
    plt.axvline(0, c='grey', linestyle="--")
    plt.xlabel(f"{metric} ".upper() + read_help)
if save:
    plt.savefig(f"query_{mode}_{libelle}_{target}_{metric}.pdf", format="pdf", bbox_inches="tight")
plt.show()
```

Résultats Baseline

Voyons quels sont les meilleurs résultats pour chaque valeurs à prédire :

PS : Vous pouvez passer au dessus des points pour avoir des informations supplémentaires comme le Libellé 0 et 1.

```
In [176]: for target in TARGETS:
    print(target)
    plot_query(baseline_results, "see_best_predictions", "all", target, "mae", clip_outliers=False)
```

UFL

UFV

PDIA

PDI

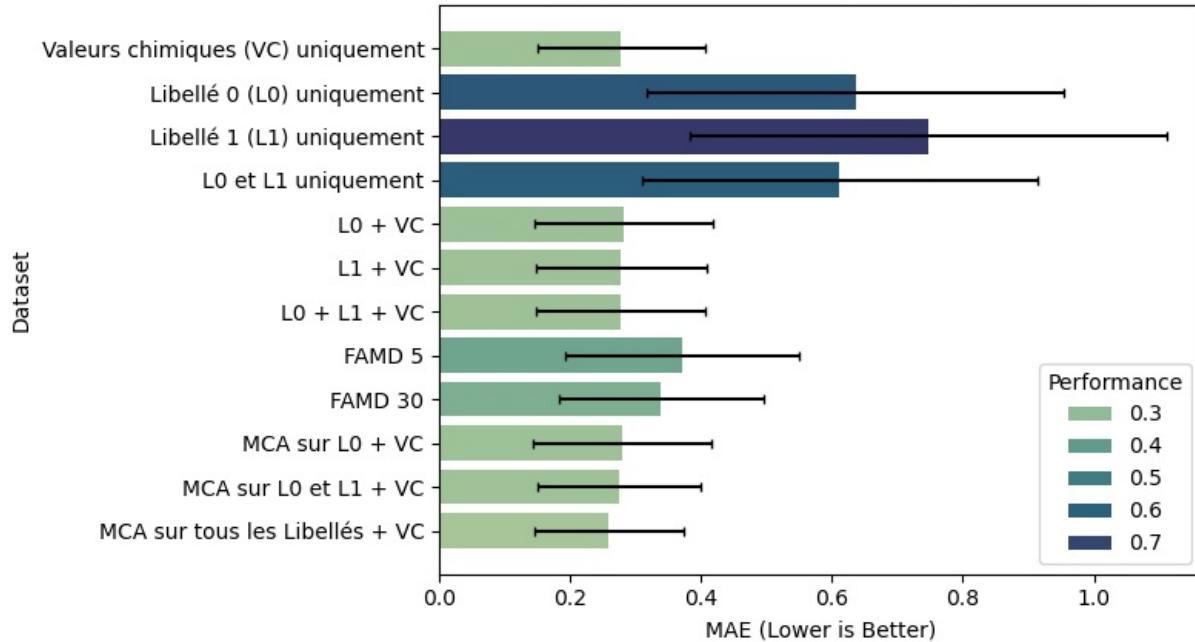
BPR

Trois algorithmes se démarquent donc, XGBoostRegressor, NonLinear_SVR et GradientBoostingRegressor. Il faut noter que le premier et le dernier sont en réalité deux implémentations différentes du même algorithme. Le NonLinear_SVR correspond à un Séparateur à Vaste Marge avec noyau RBF

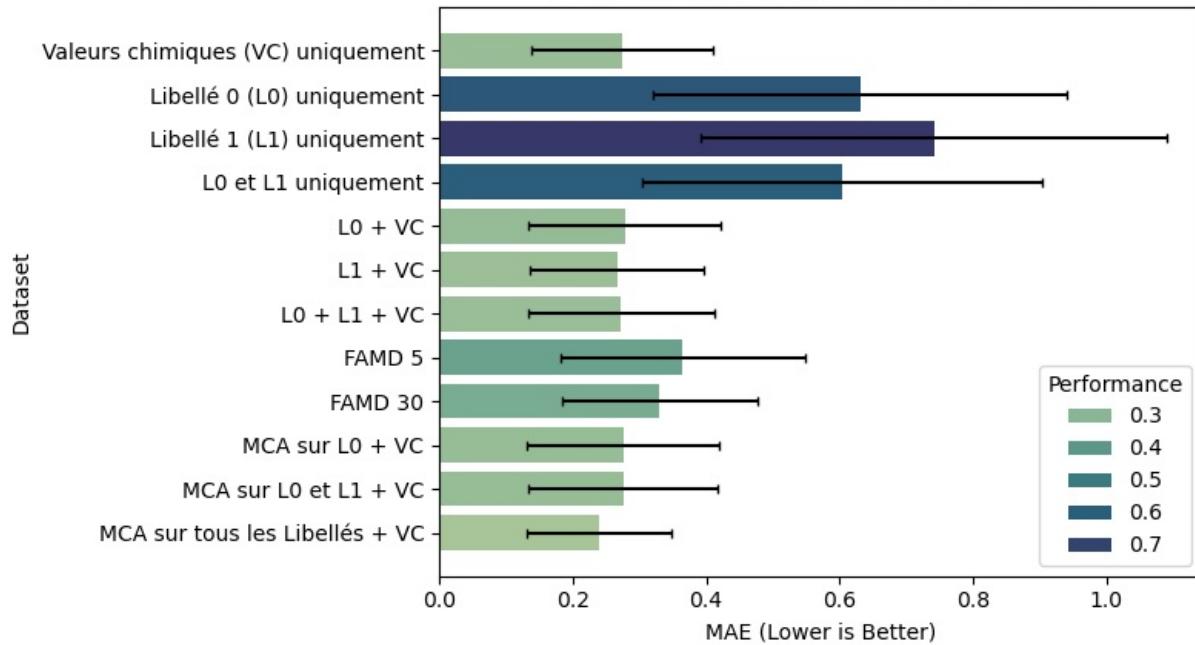
Voyons les résultats de la campagne : Sur quel dataset a t on montré la meilleure performance ?

```
In [166]: for target in TARGETS:  
    plot_query(baseline_results, "best_perfs", "all", target, "mae", save=False, show_bars=True)
```

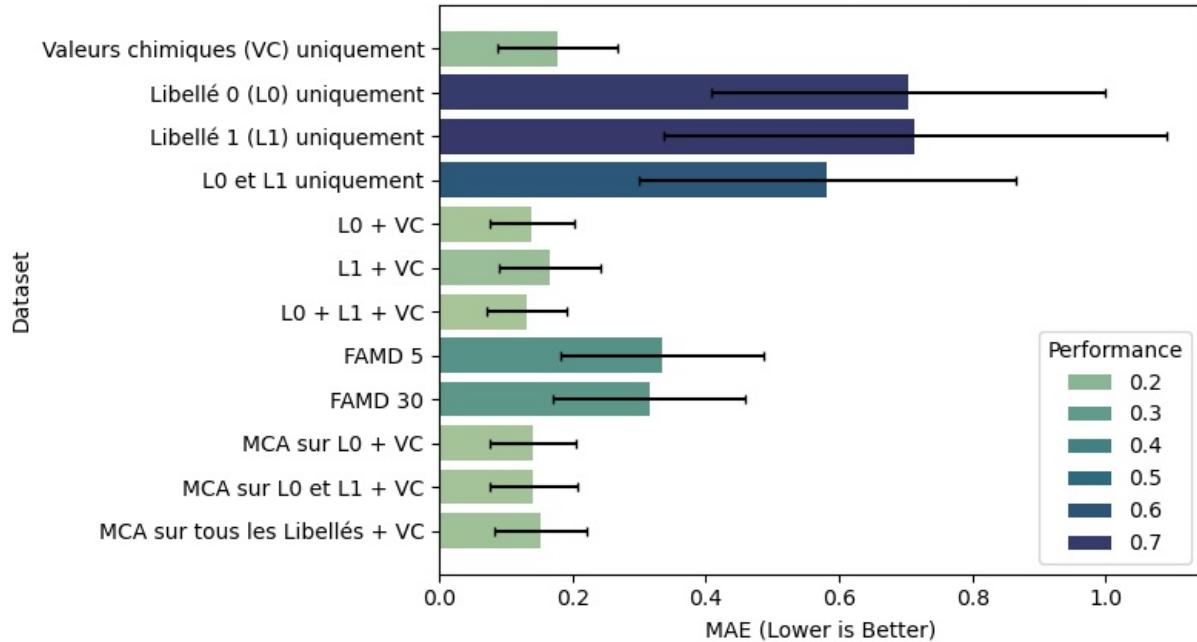
Meilleures performances sur les fourrages de tous types pour les valeurs UFL.
 Meilleur = MCA sur tous les Libellés + VC
 Barres d'erreurs : MAD (Erreurs modeles)



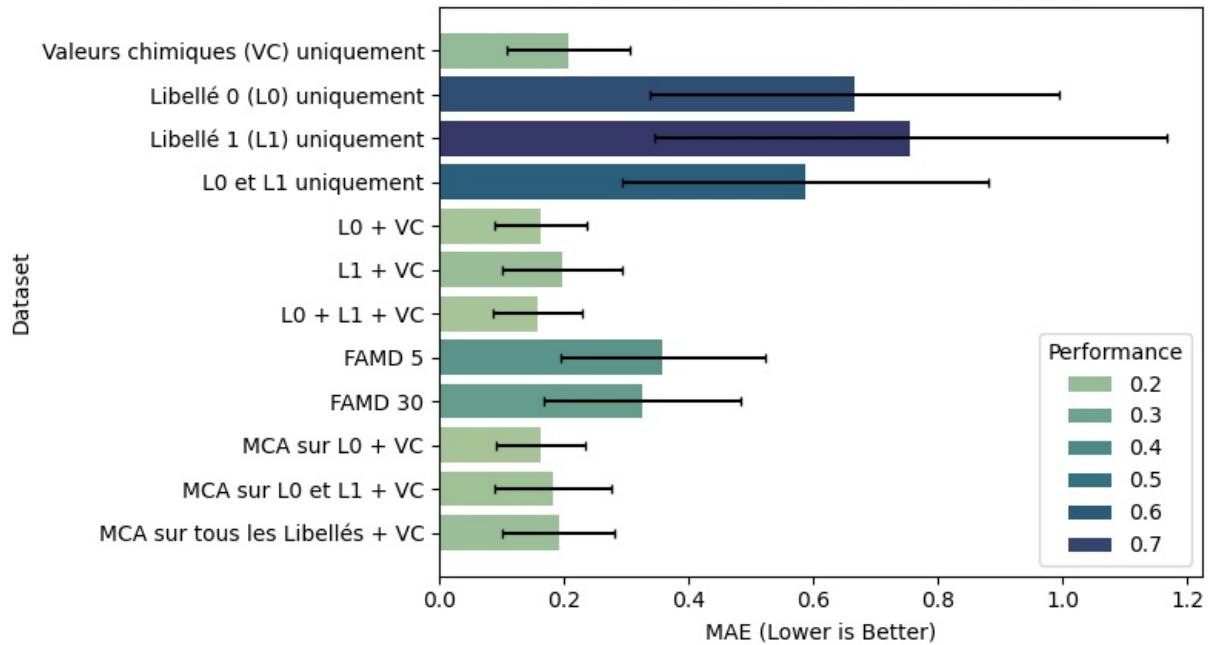
Meilleures performances sur les fourrages de tous types pour les valeurs UFV.
 Meilleur = MCA sur tous les Libellés + VC
 Barres d'erreurs : MAD (Erreurs modeles)



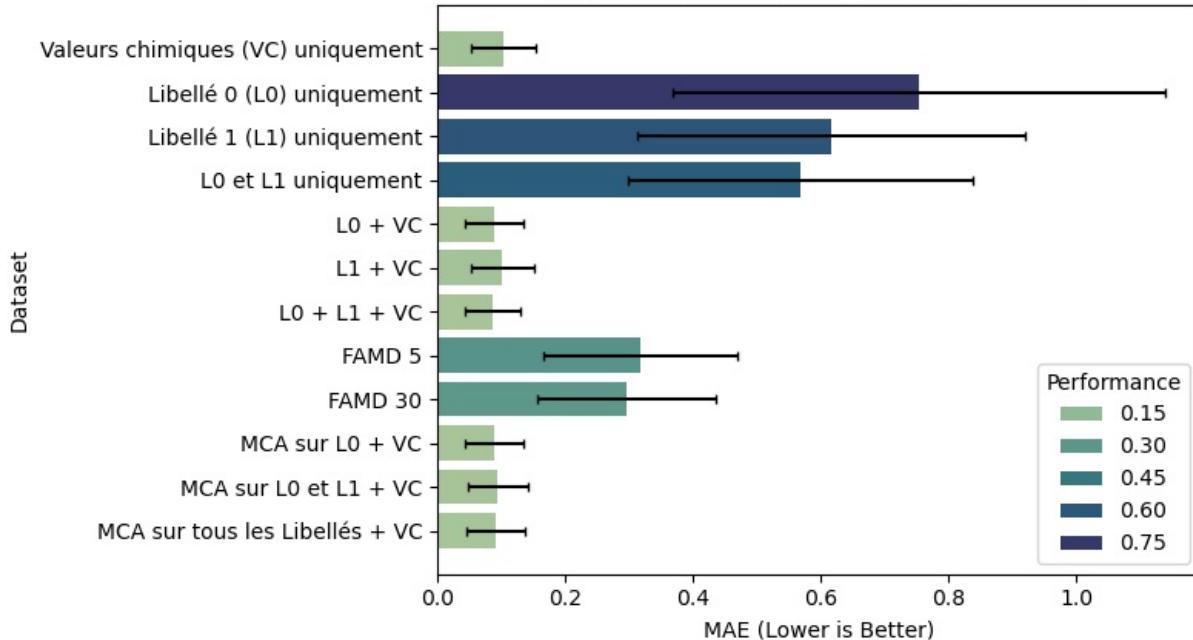
Meilleures performances sur les fourrages de tous types pour les valeurs PDIA.
 Meilleur = L0 + L1 + VC
 Barres d'erreurs : MAD (Erreurs modeles)



Meilleures performances sur les fourrages de tous types pour les valeurs PDI.
 Meilleur = L0 + L1 + VC
 Barres d'erreurs : MAD (Erreurs modeles)



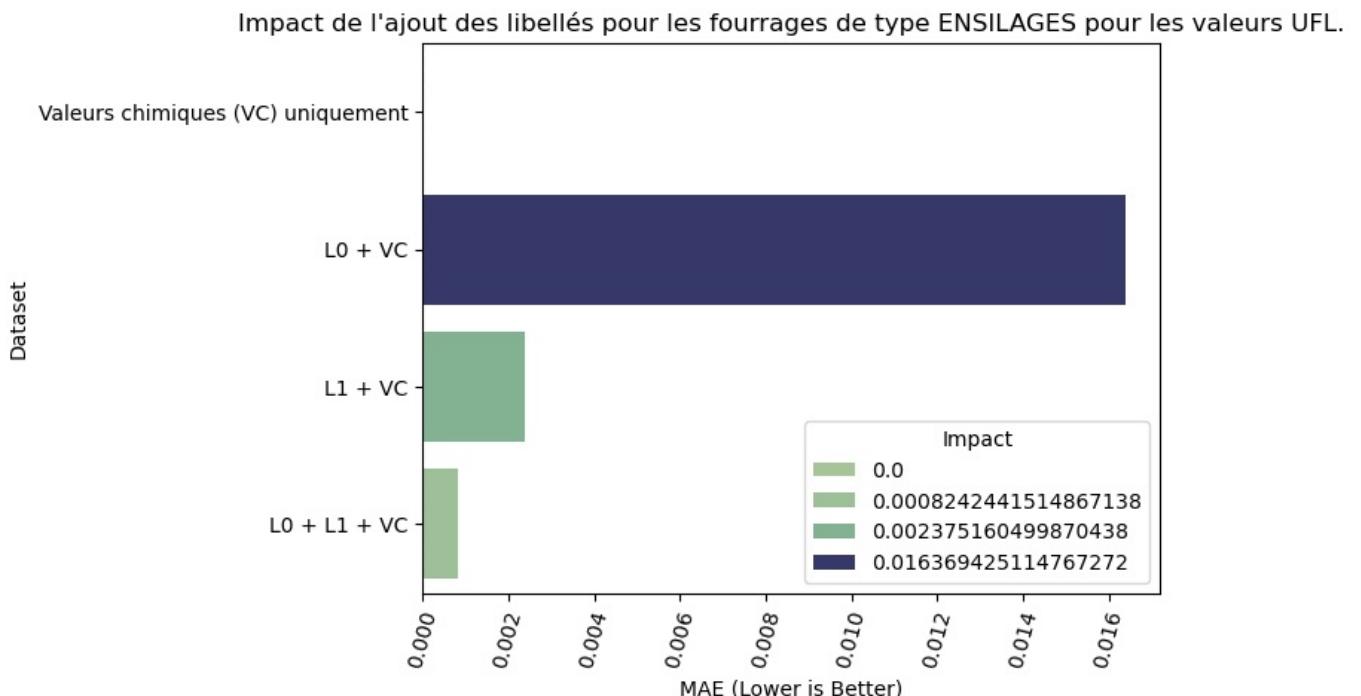
Meilleures performances sur les fourrages de tous types pour les valeurs BPR.
 Meilleur = L0 + L1 + VC
 Barres d'erreurs : MAD (Erreurs modeles)

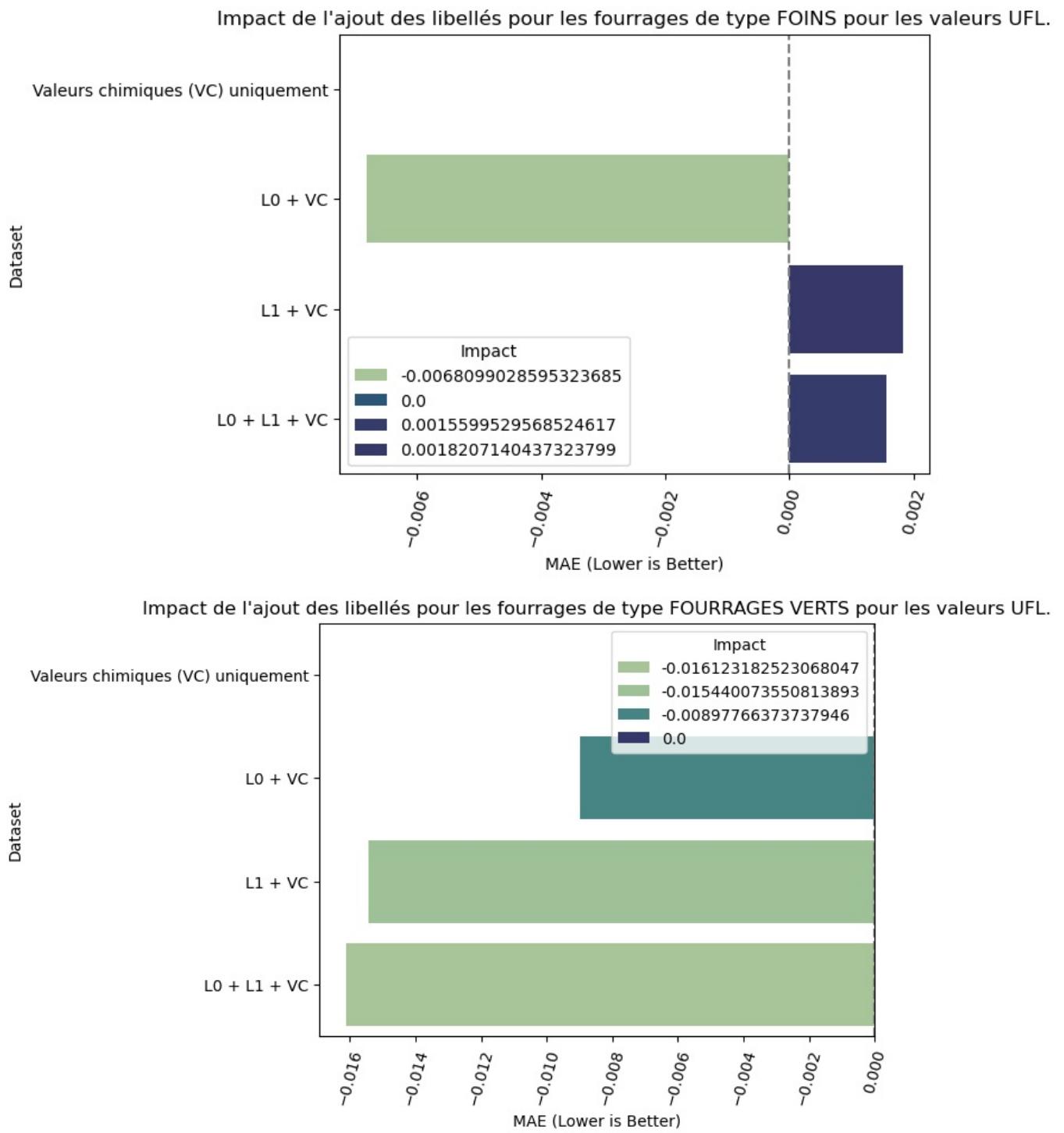


Ainsi on conclut que les meilleurs datasets sont : One Hot Encoding des Libellés 0 et 1 + Valeurs chimiques, MCA sur tous les Libellés + Valeurs chimiques. De manière intéressante, le premier dataset est le meilleur pour les valeurs protéiques, tandis que le second l'est pour les valeurs énergétiques. Le niveau de performance est meilleur sur les valeurs protéiques.

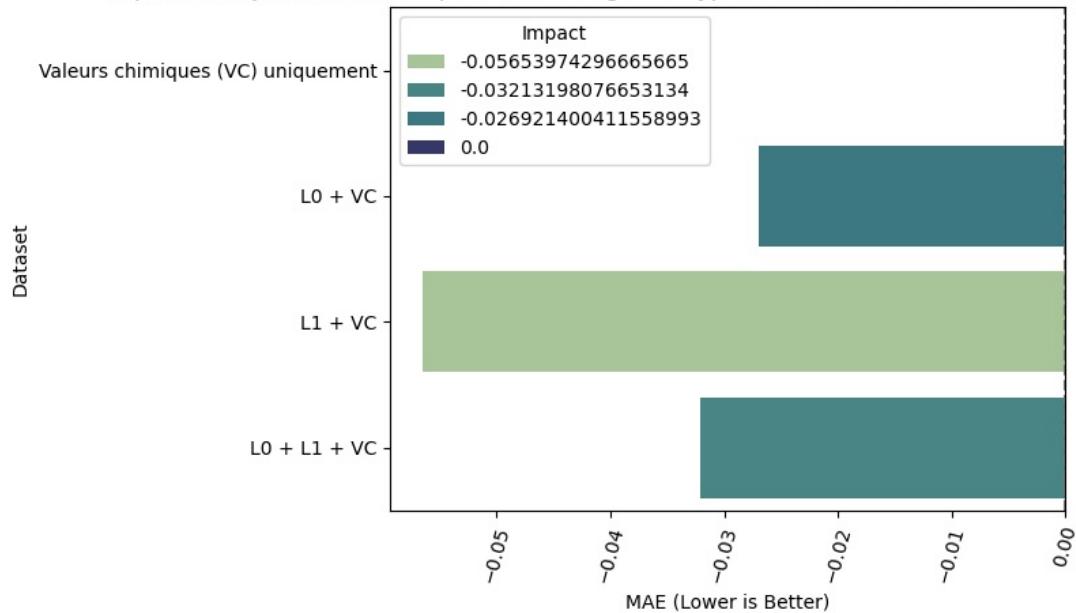
Regardons comment, pour chaque grand type de fourrage (Libellé 0), les meilleures performances évoluent en prenant les informations textuelles en plus des valeurs chimiques.

```
In [88]: for libelle in np.unique(obj_features["Libellé 0"]):
    plot_query(baseline_results, "libelle_impact", libelle, "UFL", "mae", save=False)
```

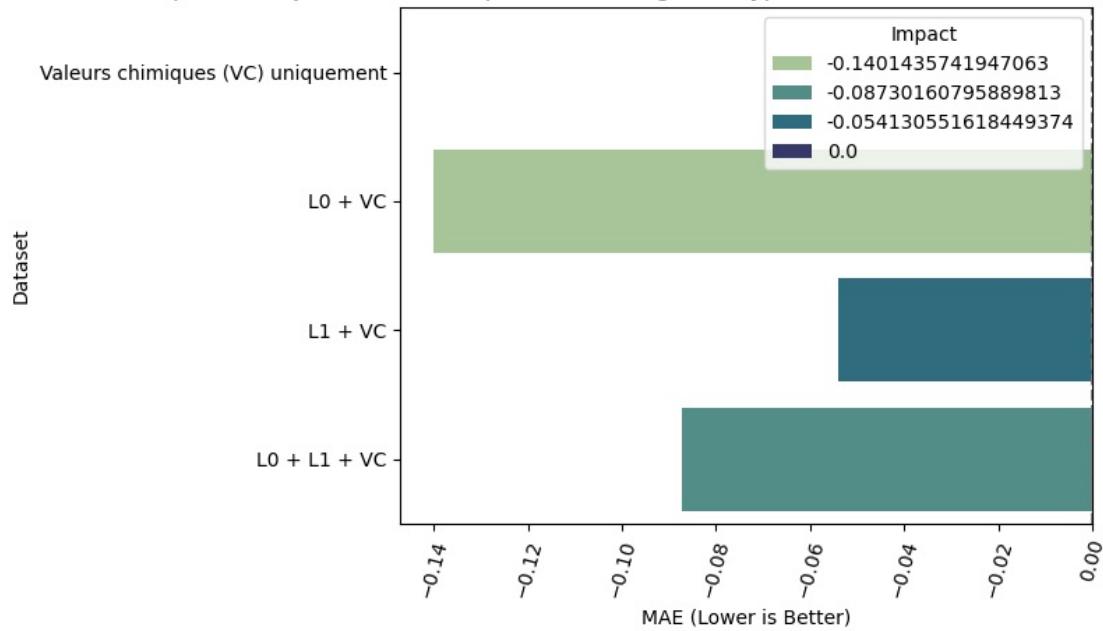




Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type PAILLES, FOURRAGES LIGNIFIÉS pour les valeurs UFL.



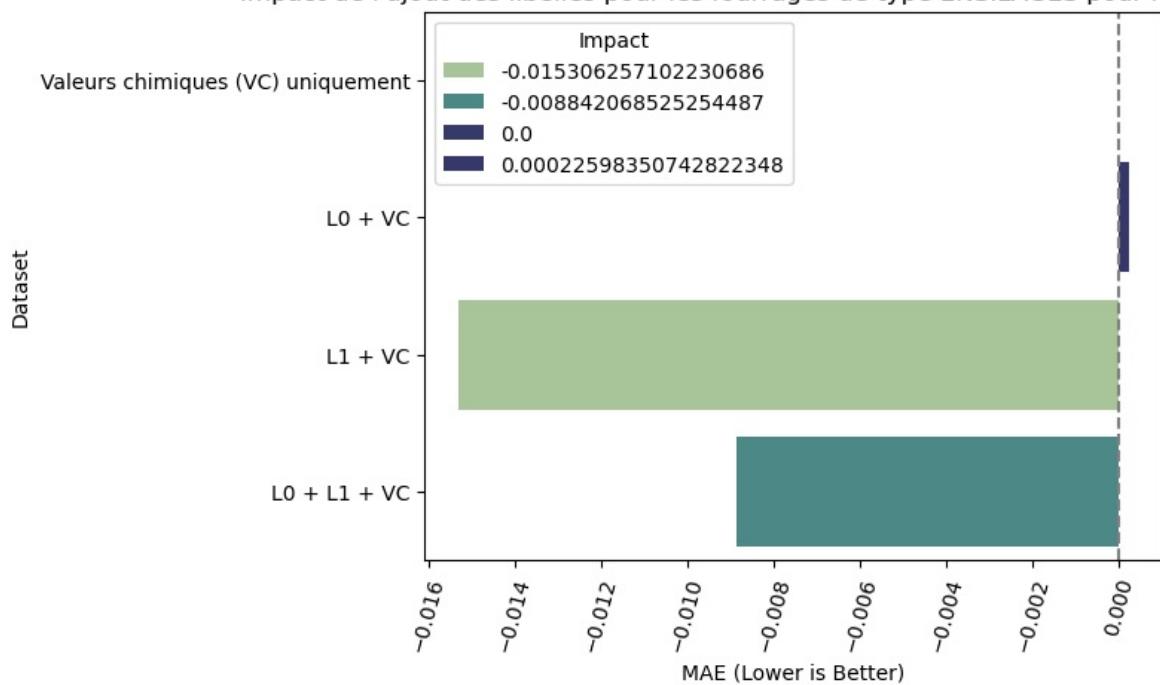
Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type RACINES ET TUBERCULES pour les valeurs UFL.



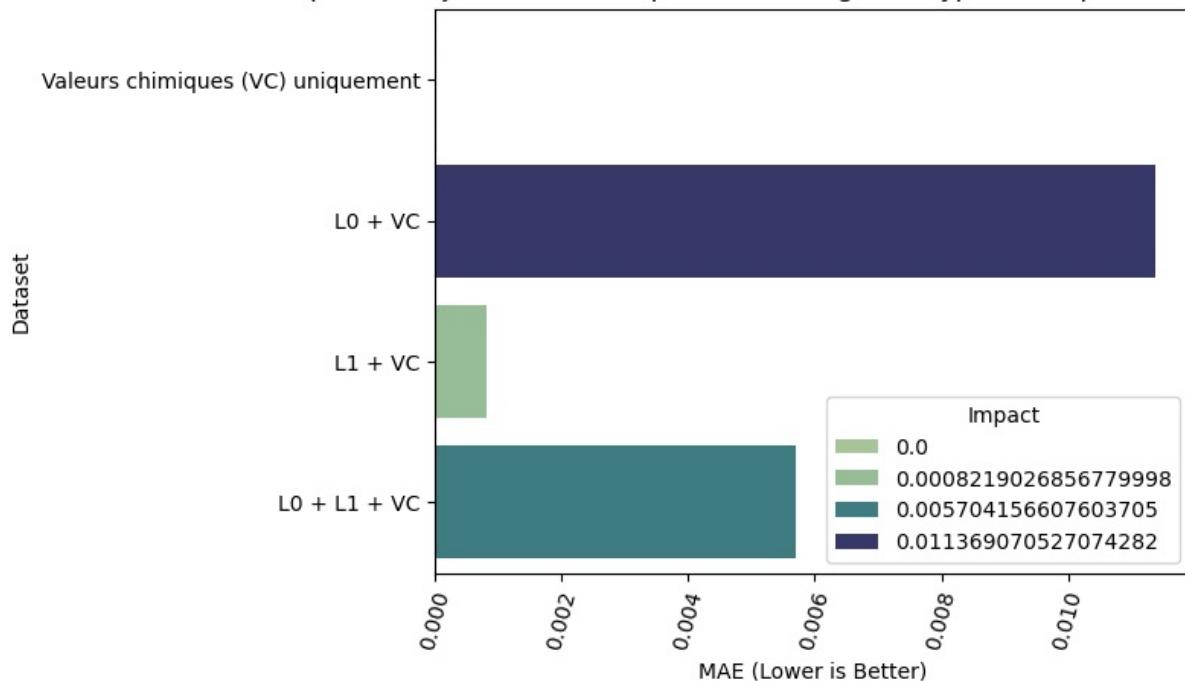
Les changements sont minimes, pour les valeurs UFL. Ceci implique qu'a priori, les informations textuelles, SOUS CETTE FORME, n'aident quasiment pas pour améliorer les performances. Qu'en est il des autres valeurs à prédire ?

```
In [89]: for libelle in np.unique(obj_features["Libellé 0"]):
    plot_query(baseline_results, "libelle_impact", libelle, "UFL", "mae", save=False)
```

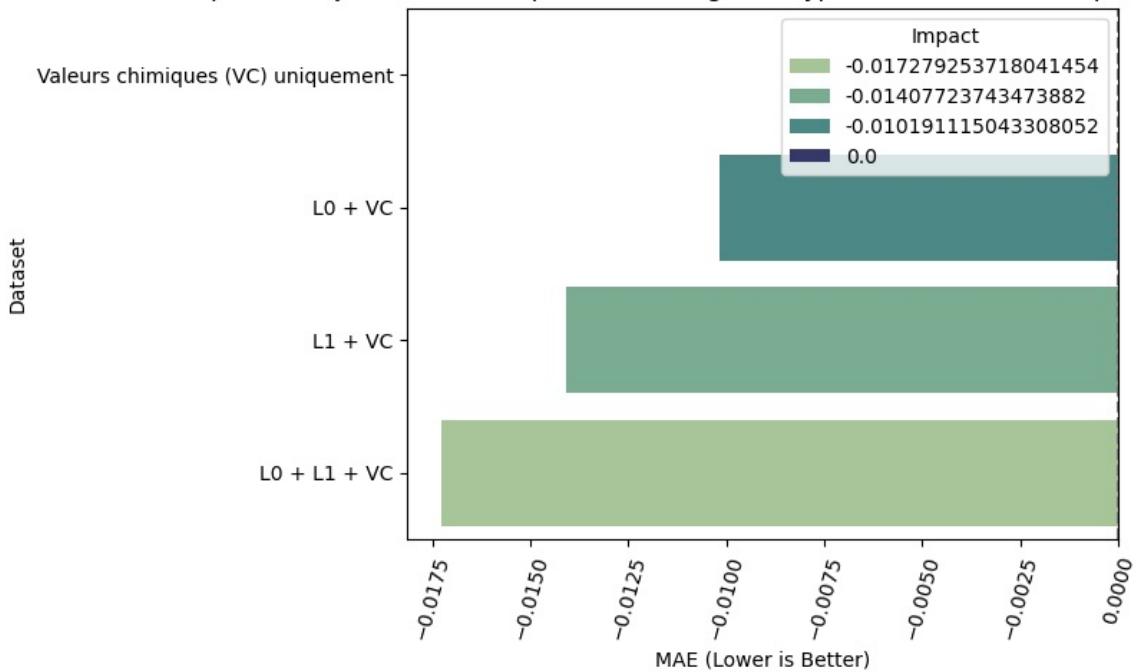
Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type ENSILAGES pour les valeurs UFV.



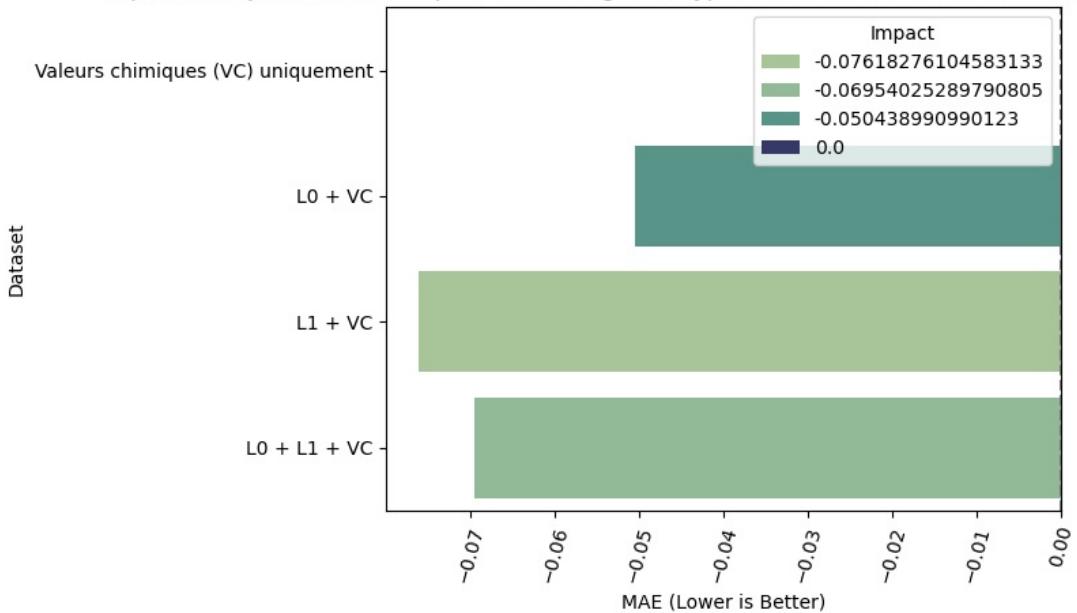
Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type FOINS pour les valeurs UFV.



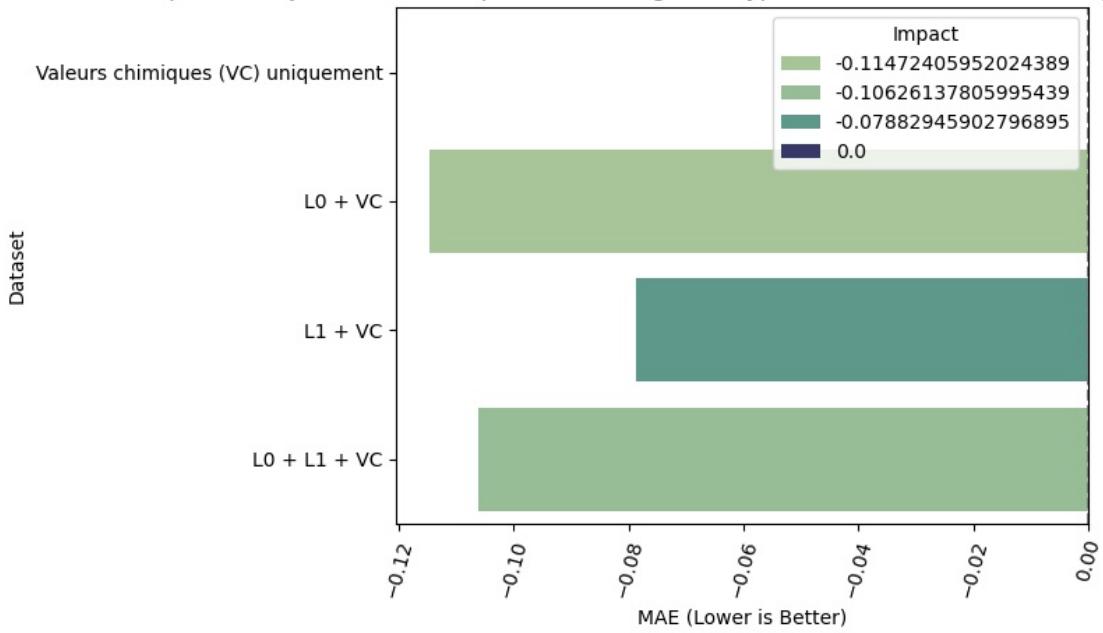
Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type FOURRAGES VERTS pour les valeurs UFV.



Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type PAILLES, FOURRAGES LIGNIFIÉS pour les valeurs UFV.

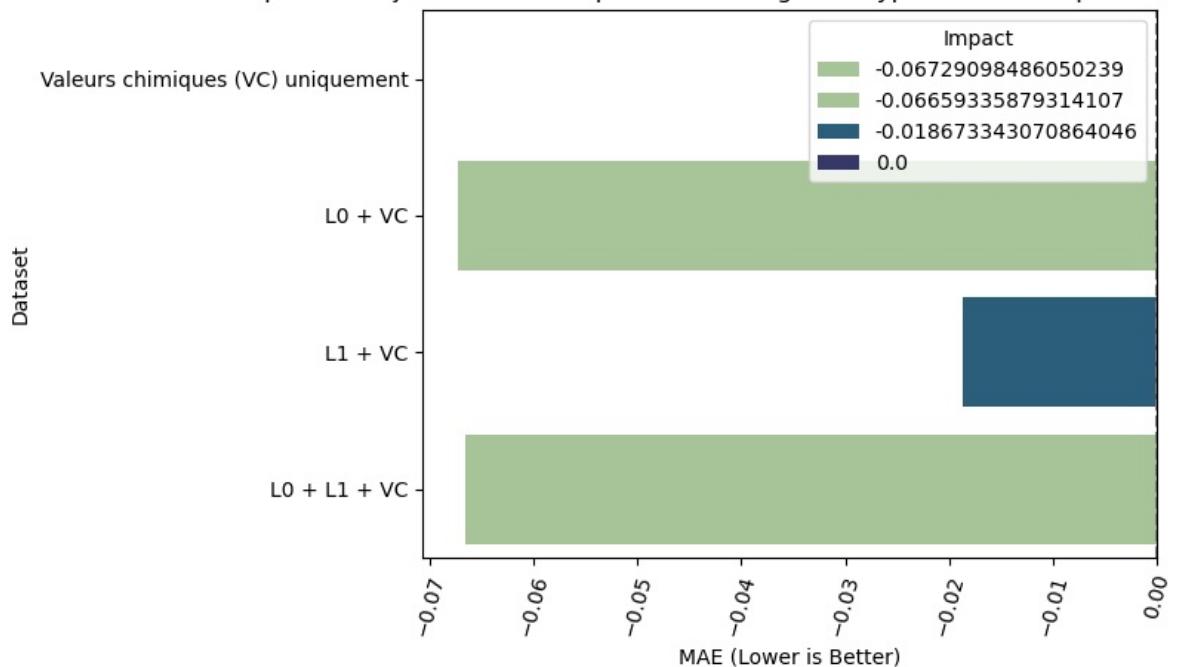


Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type RACINES ET TUBERCULES pour les valeurs UFV.

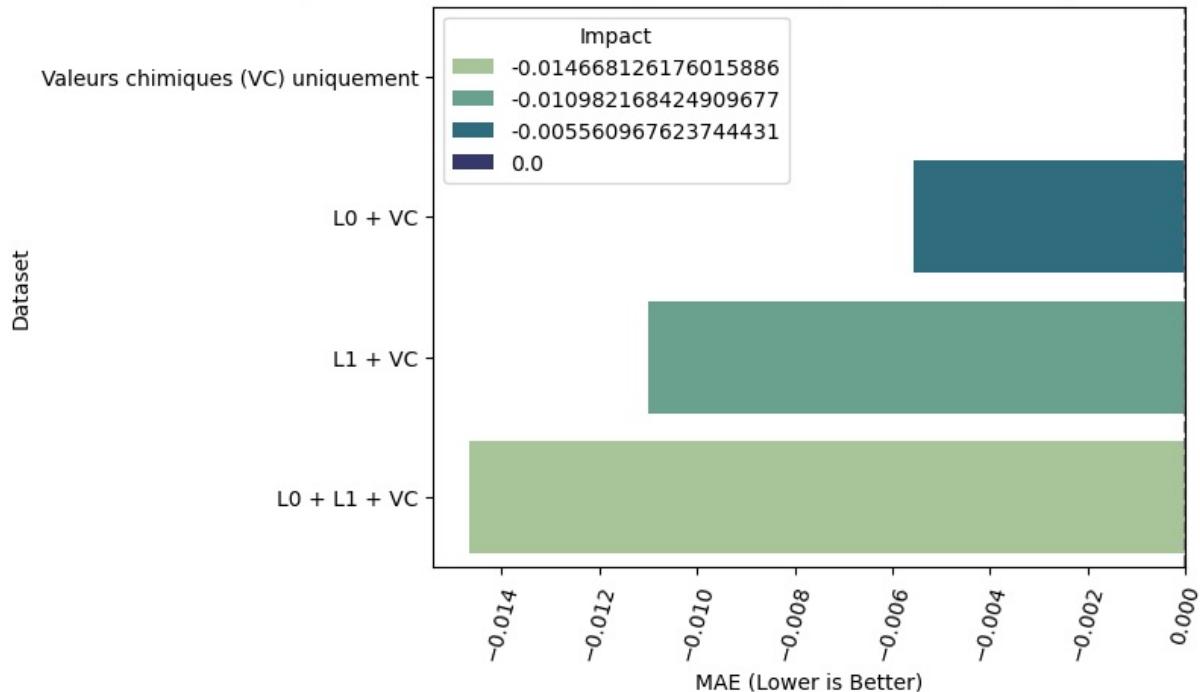


```
In [90]: for libelle in np.unique(obj_features["Libellé 0"]):
    plot_query(baseline_results, "libelle_impact", libelle, "PDIA", "mae", save=False)
```

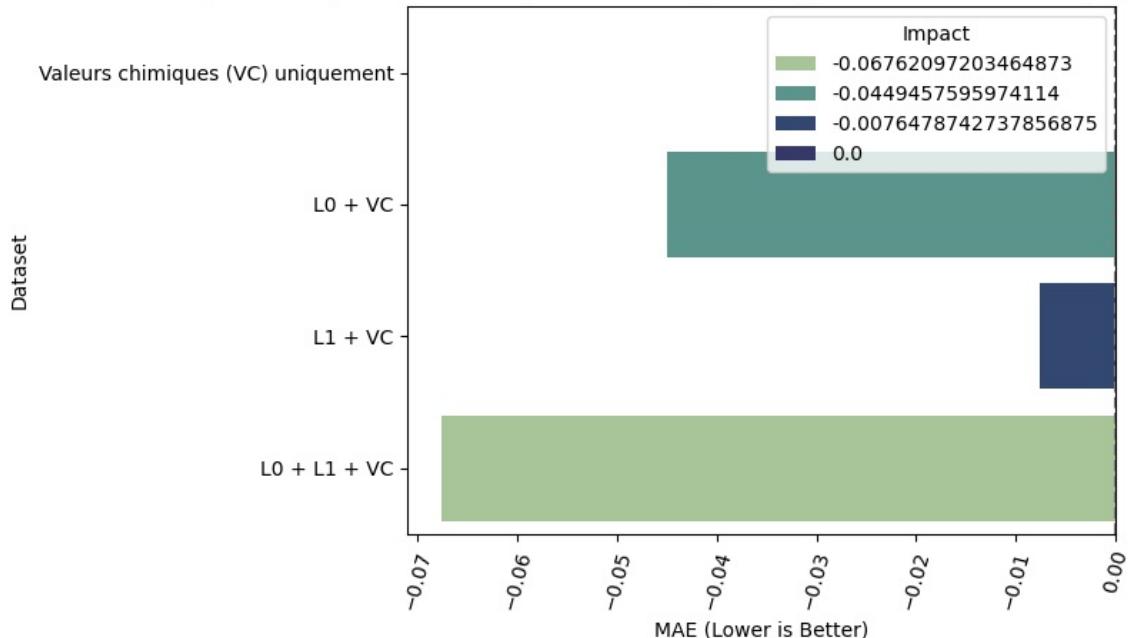
Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type ENSILAGES pour les valeurs PDIA.



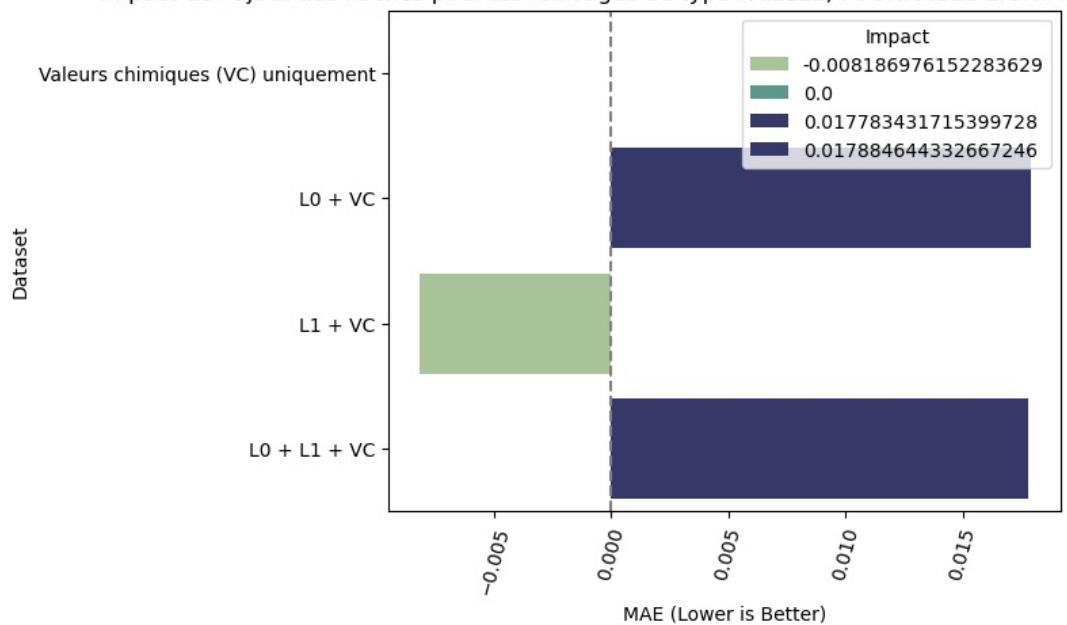
Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type FOINS pour les valeurs PDIA.



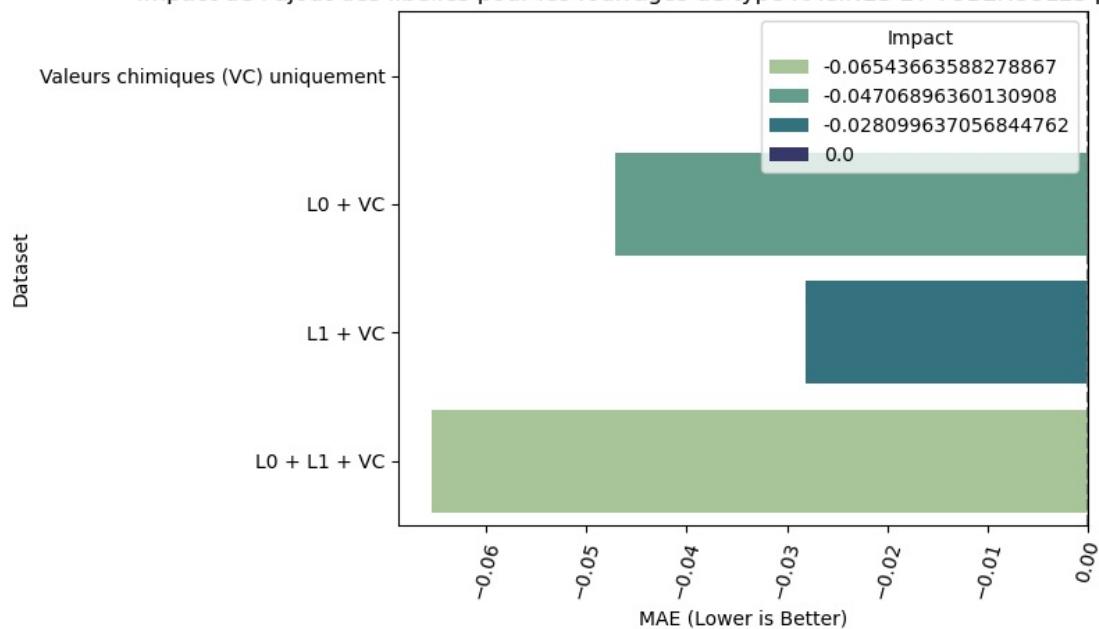
Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type FOURRAGES VERTS pour les valeurs PDIA.



Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type PAILLES, FOURRAGES LIGNIFIÉS pour les valeurs PDIA.

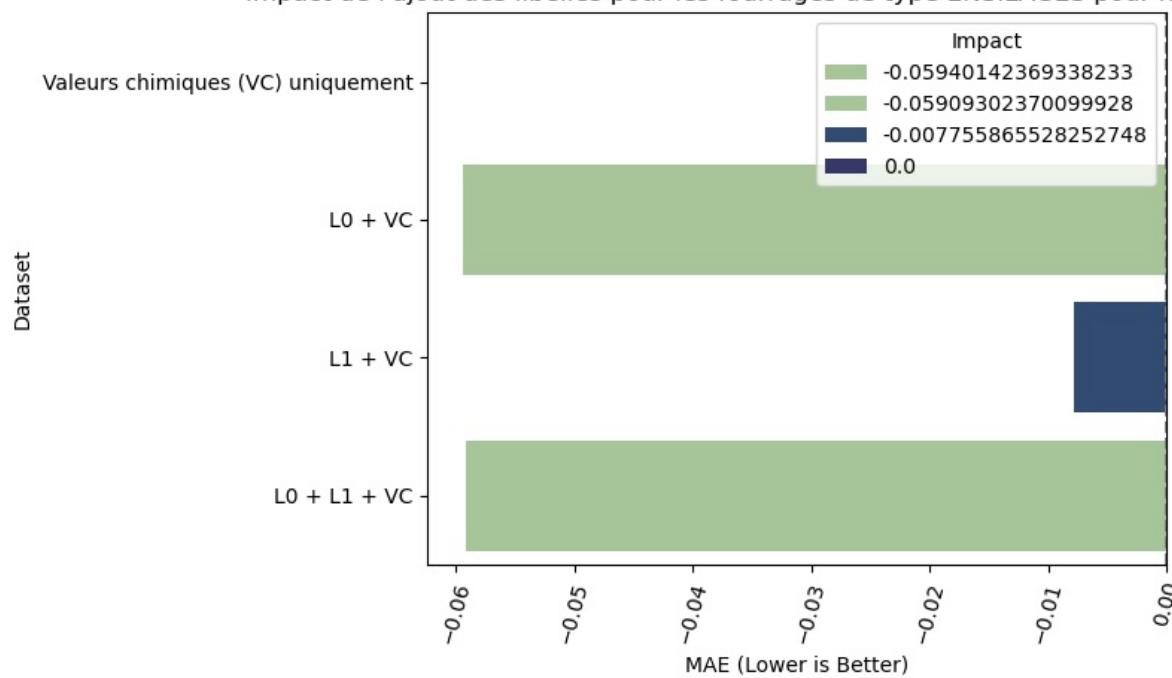


Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type RACINES ET TUBERCULES pour les valeurs PDIA.

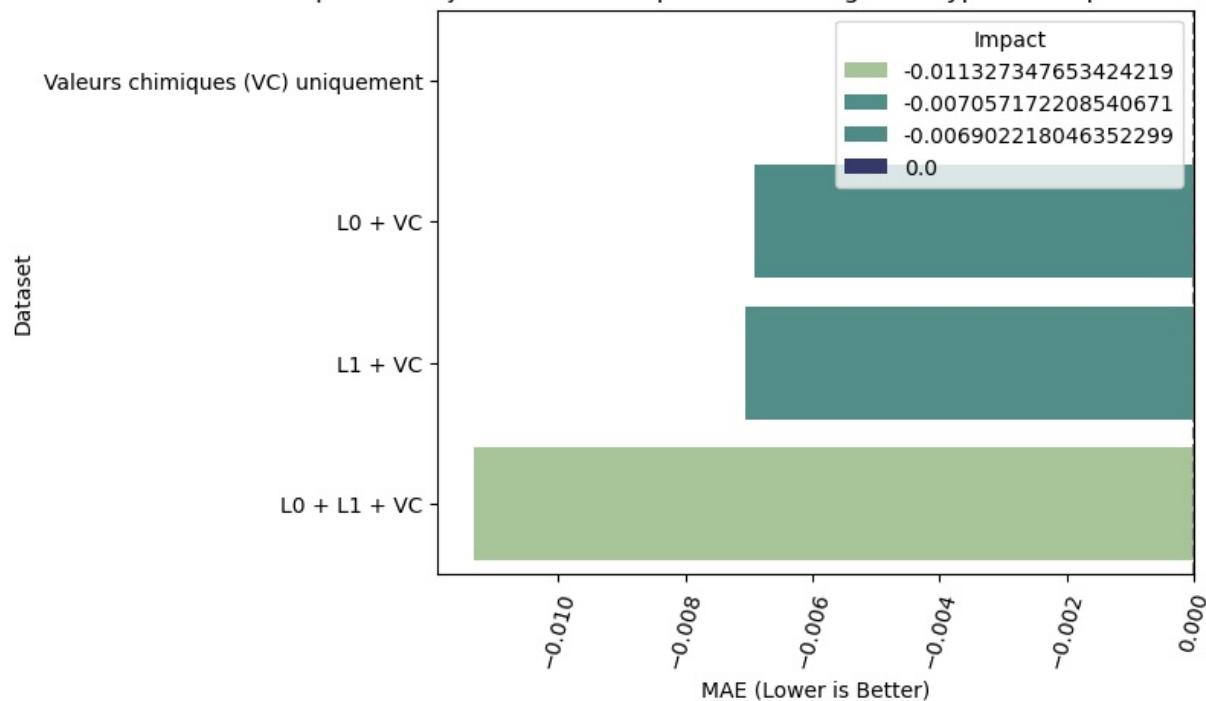


```
In [91]: for libelle in np.unique(obj_features["Libellé 0"]):
    plot_query(baseline_results, "libelle_impact", libelle, "PDI", "mae", save=False)
```

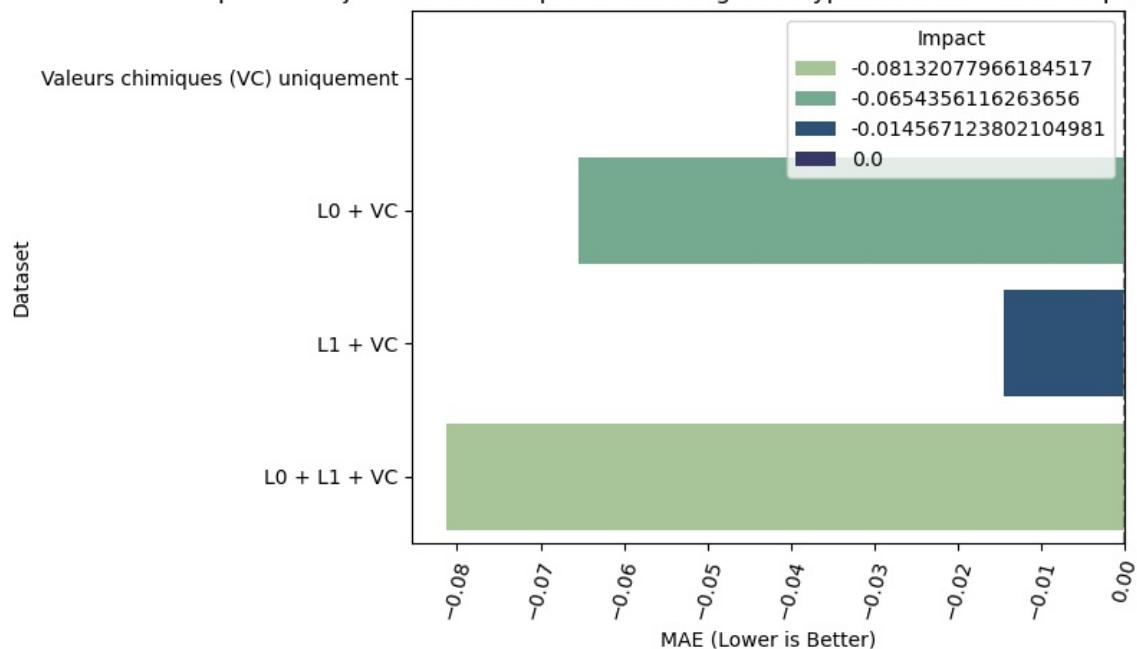
Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type ENSILAGES pour les valeurs PDI.



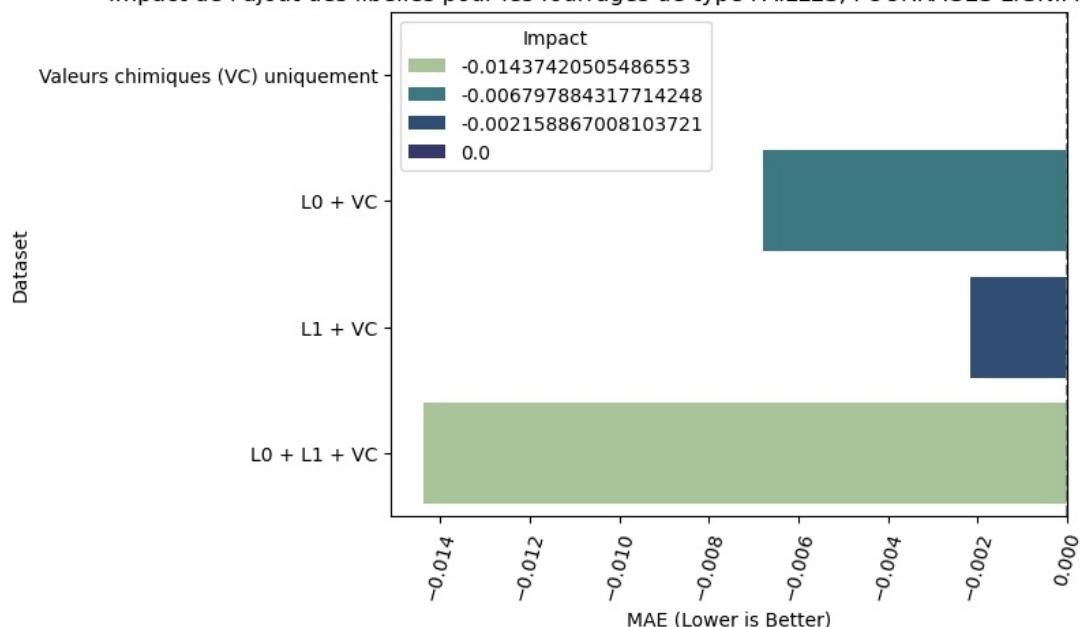
Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type FOINS pour les valeurs PDI.



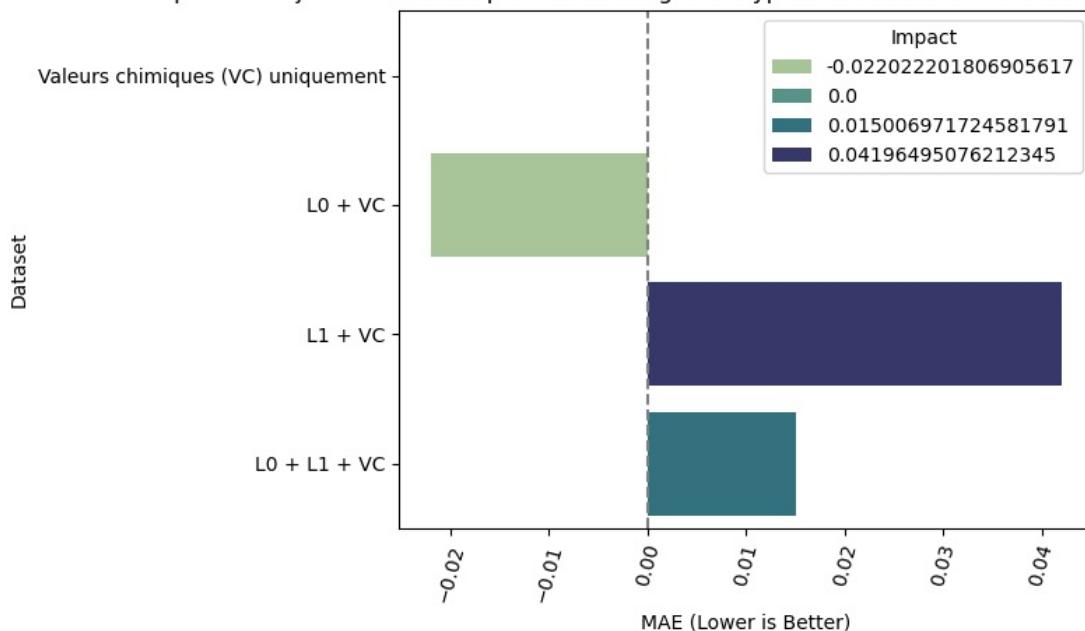
Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type FOURRAGES VERTS pour les valeurs PDI.



Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type PAILLES, FOURRAGES LIGNIFIÉS pour les valeurs PDI.

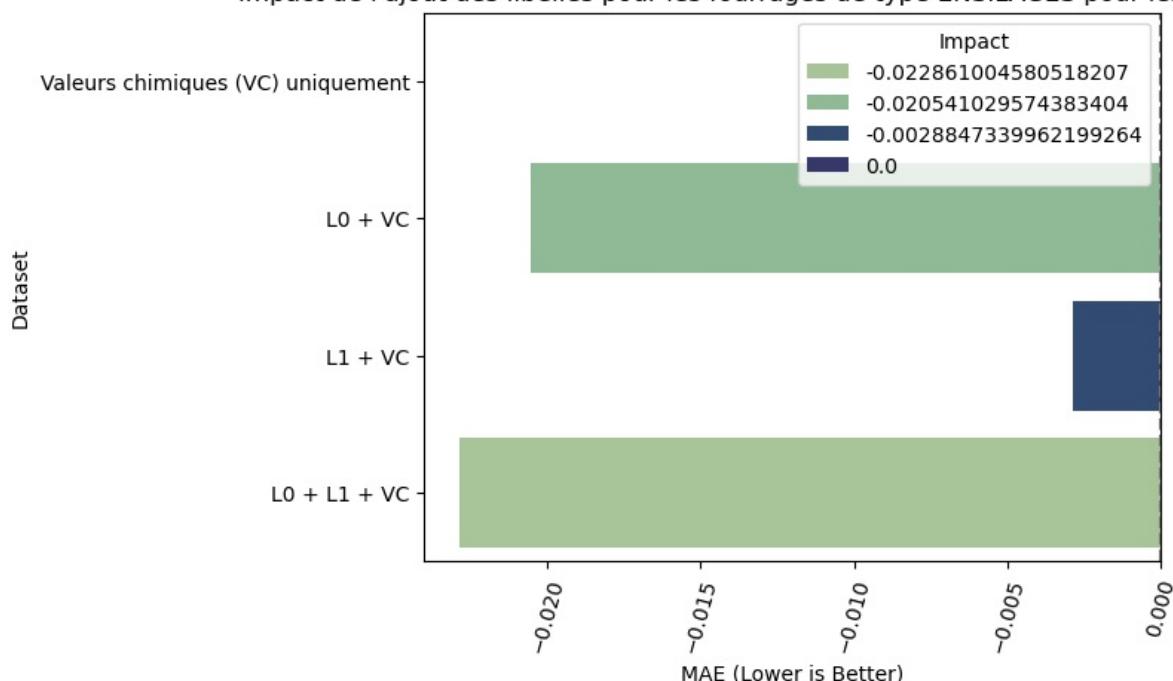


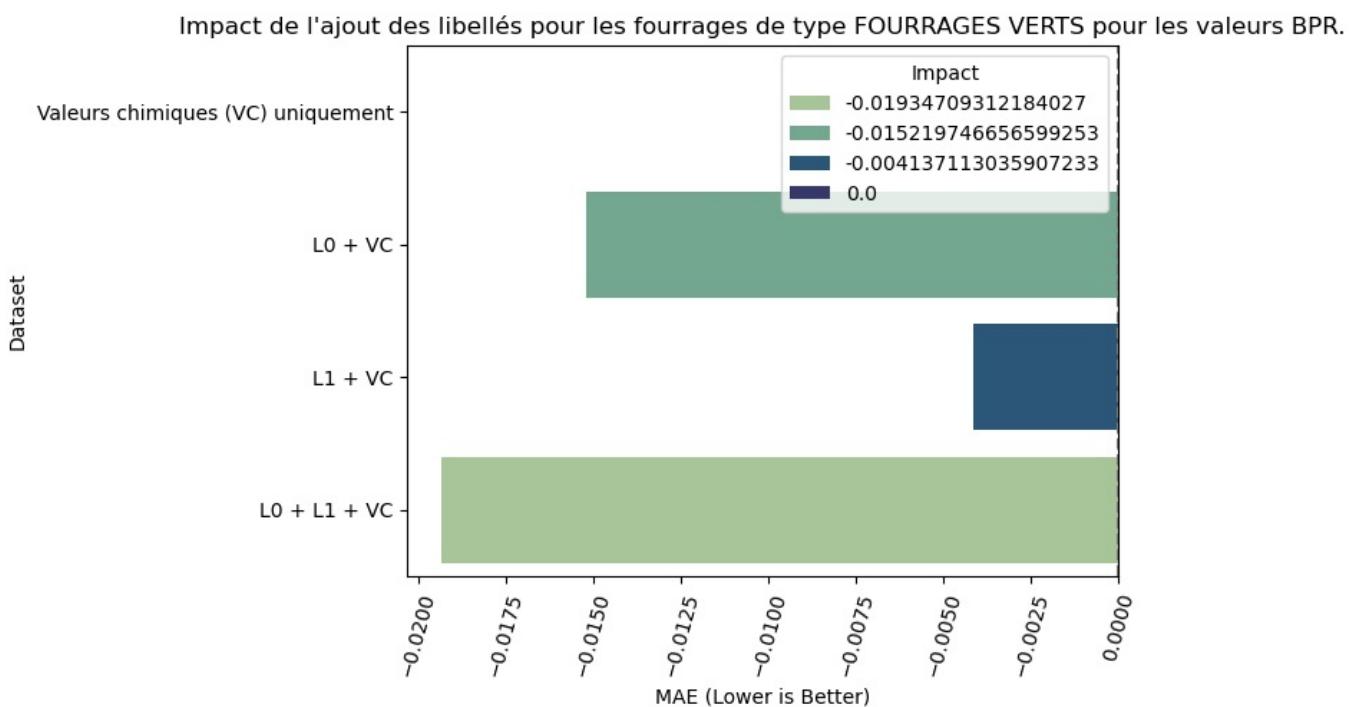
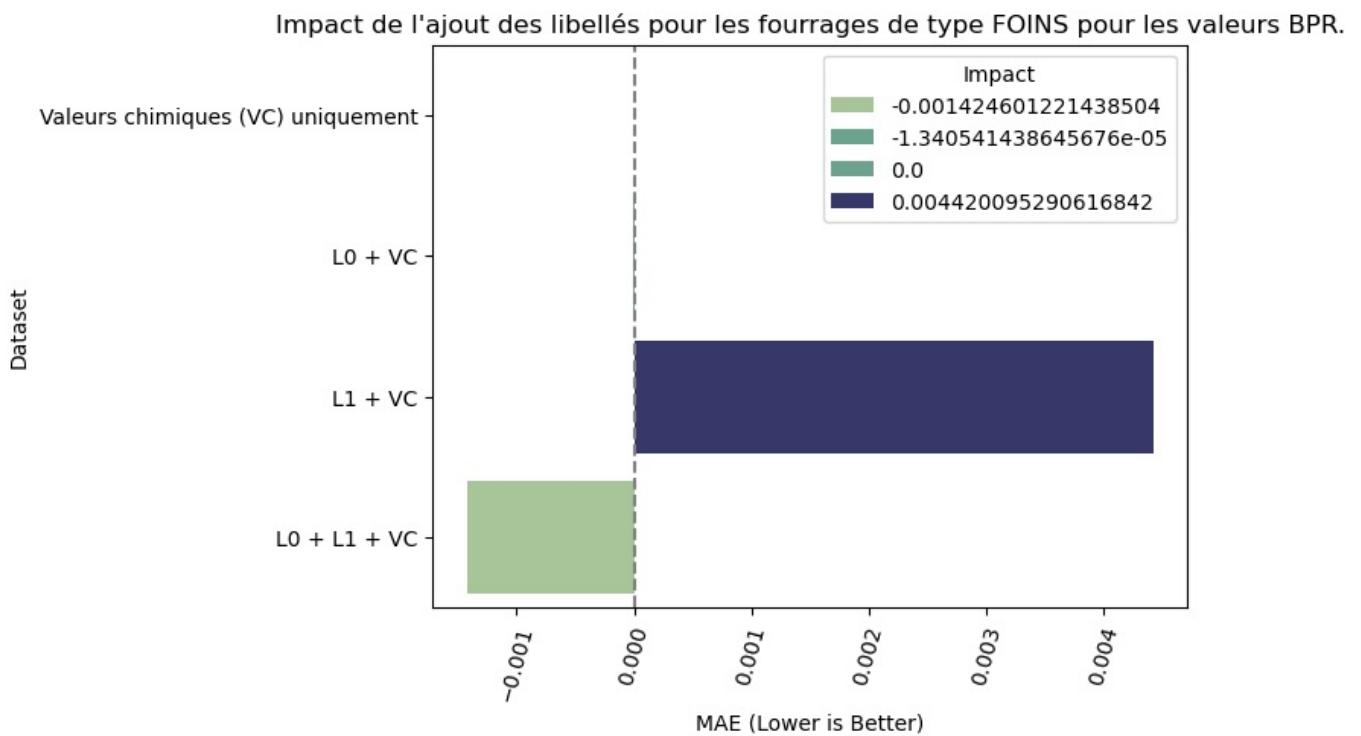
Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type RACINES ET TUBERCULES pour les valeurs PDI.



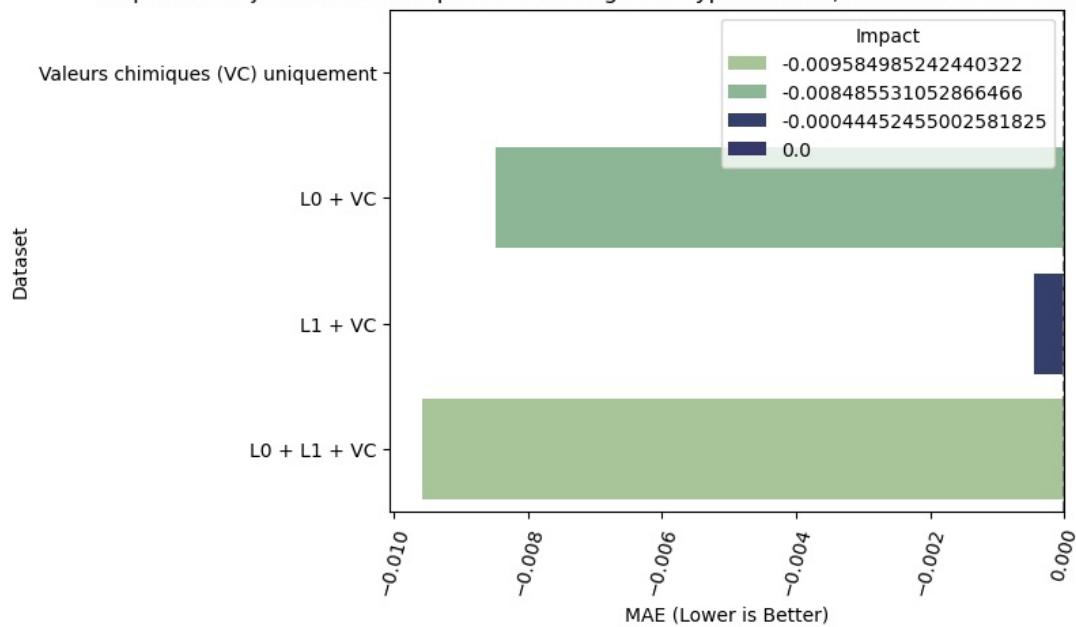
```
In [92]: for libelle in np.unique(obj_features["Libellé 0"]):
    plot_query(baseline_results, "libelle_impact", libelle, "BPR", "mae", save=False)
```

Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type ENSILAGES pour les valeurs BPR.

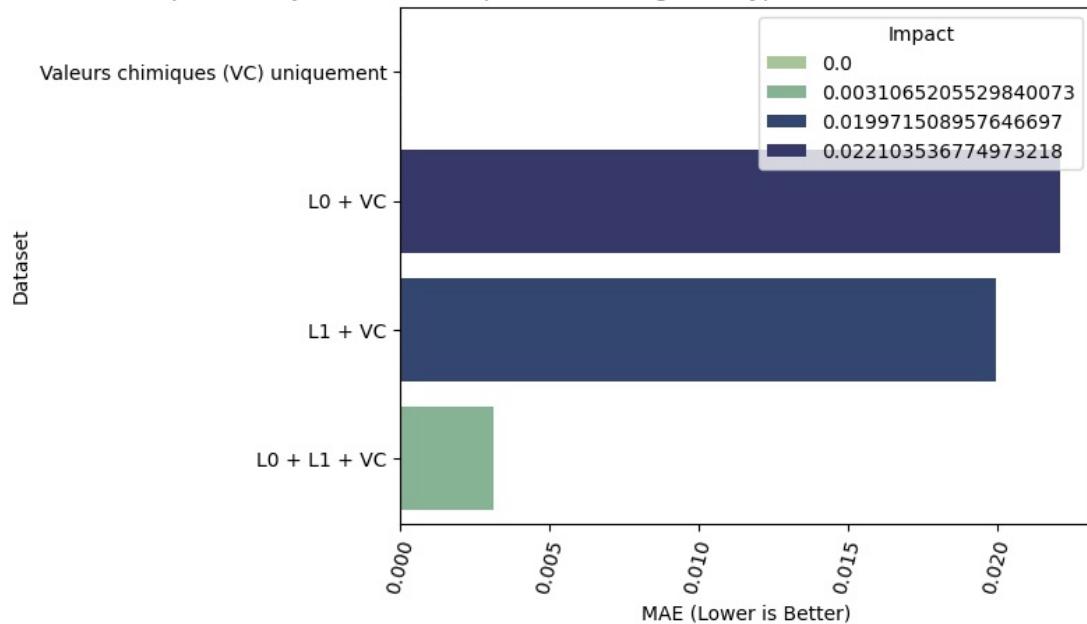




Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type PAILLES, FOURRAGES LIGNIFIÉS pour les valeurs BPR.



Impact de l'ajout des libellés pour les fourrages de type RACINES ET TUBERCULES pour les valeurs BPR.



Globalement, en regardant par Libellé 0, il semble que les informations textuelles aident très peu.

Loading [MathJax]/extensions/Safe.js