

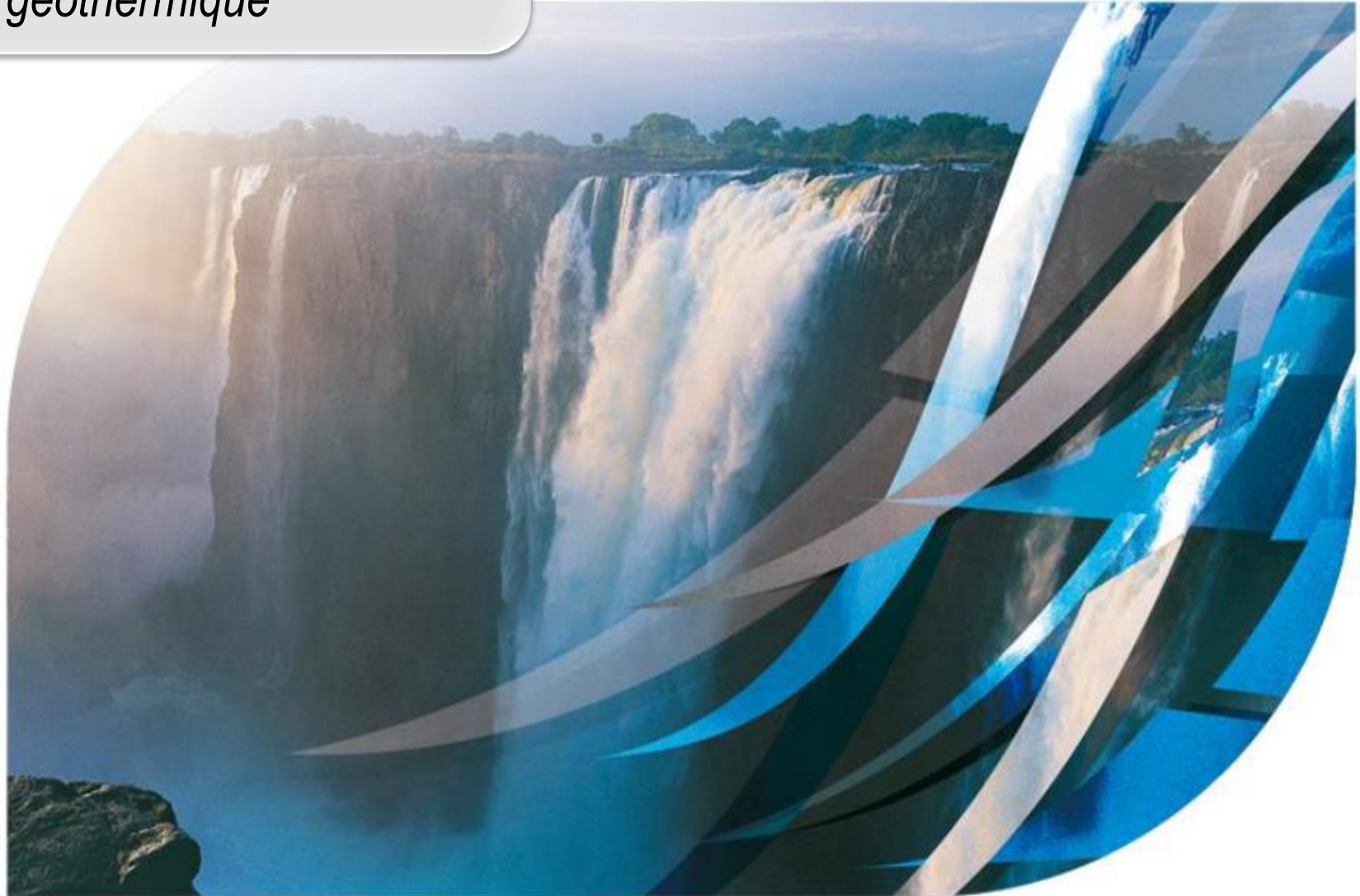
TUTORIEL PUMAFLOW™

*Simulations thermo-hydro-dynamiques : applications pour
l'étude d'un réservoir géothermique*

Réalisé par Maxime Catinat dans le cadre
de sa thèse de doctorat effectuée au
laboratoire Géosciences (GEOPS) de
l'Université Paris-Saclay (2023)

BeicipFranlab 
An IFP group company

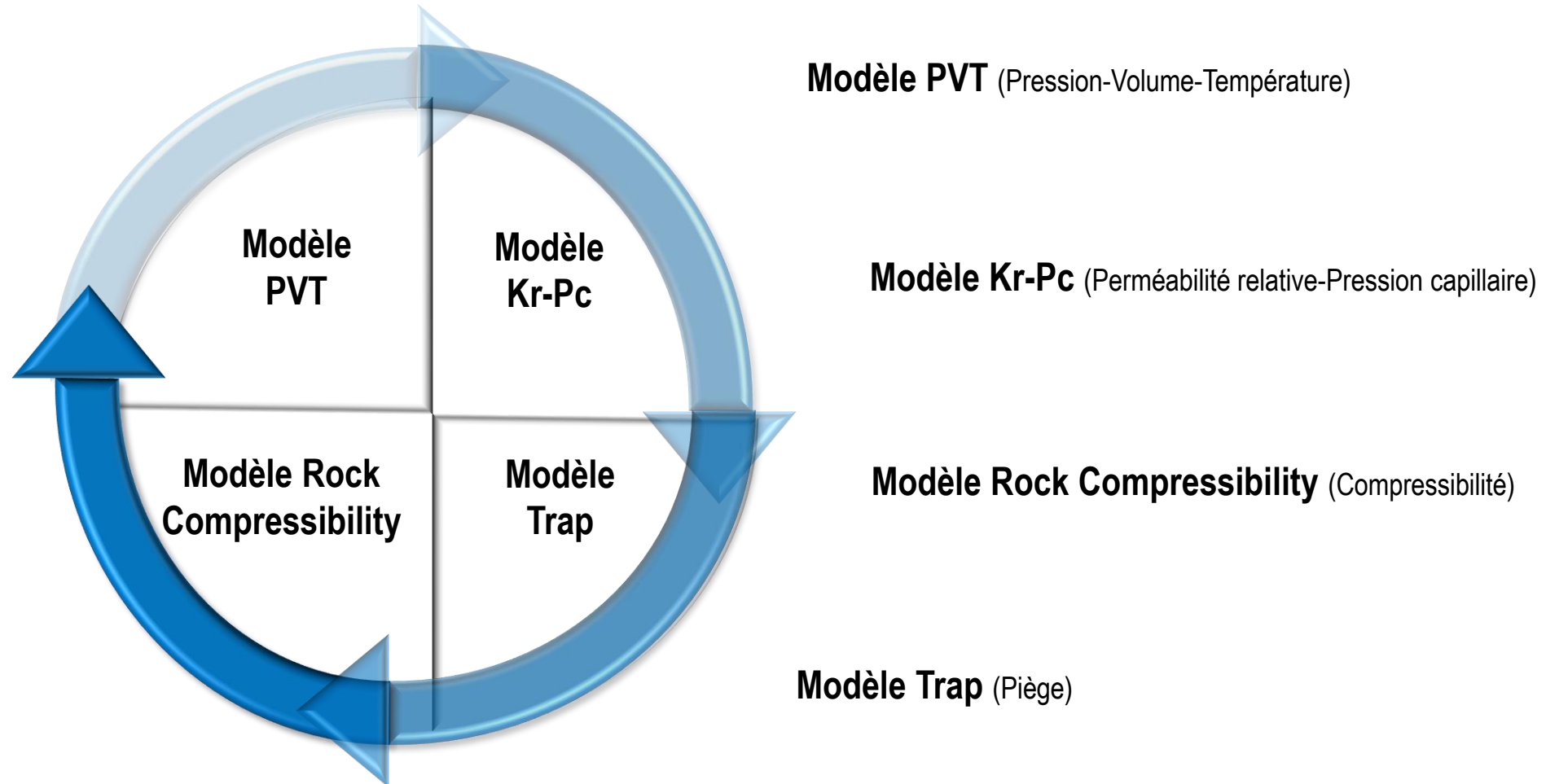
 **ifp** *Energies
nouvelles*



INTRODUCTION

Le logiciel Pumaflow™ a été initialement conçu pour effectuer des simulations dans le domaine pétrolier. Il a donc été développé pour réaliser des simulations dans des milieux où plusieurs fluides coexistent. On parle alors de réservoirs contenant des fluides dits diphasiques (eau et huile) ou triphasiques (eau, huile, gaz). Pour faire fonctionner le logiciel, il a donc été nécessaire de définir des modèles « physiques » propres au domaine pétrolier. Sans ces modèles définis au préalable, aucune simulation thermique n'aurait pu être réalisée.

Les modèles de base à définir obligatoirement dans Pumaflow™ sont les suivants :



IMPORT DES DONNÉES

Deux méthodes différentes sont possibles pour importer des données dans Pumaflow™ :

1) Importer directement les données comme les modèles individuels (Kr-Pc, PVT, Production...) sous la forme de fichiers en suivant clairement le modèle du script accepté par Pumaflow™. Ces fichiers peuvent être élaborés manuellement dans un éditeur de texte tel que le bloc note par exemple. L'extension peut être définie en fonction de la nature du fichier à posteriori (.pvt, .prd, etc...).

2) Créer directement les données (comme construire les différents modèles) manuellement à l'aide de l'interface de visualisation et des éditeurs dans Pumaflow™.

Les différentes données qui peuvent être importées ou créées à partir de l'interface du logiciel sont présentées dans la tableau suivant:

Item	Can be Imported	Can be created on the interface
Grid	✓	Only sugar boxes
PVT	✓	✓
KrPc	✓	✓
Rock Compressibility		✓
Traps (Equilibrium Regions)	✓	✓
Well Path	✓	✓
Well production data	✓	✓
Well Perforation Interval	✓	You can open/close perforations through PI/MPI editor
Intercell Connections (Faults)	✓	✓
Aquifer		✓
Saturation Regions	✓	✓
Equilibrium Regions	✓	✓
Rock compressibility regions	✓	✓

EXEMPLES DE FICHIERS

Exemple d'un fichier de grille (Grid file)
au format .GRDECL.

Ce fichier contient les caractéristiques
géométriques du maillage et est exporté
depuis Petrel©.

```
Cachan_grid.GRDECL - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide
|-- Generated [
-- Format      : ECLIPSE keywords (grid geometry and properties) (ASCII)
-- Exported by : Petrel 2019.2 Schlumberger
-- User name   : Maxime
-- Date        : Tuesday, April 13 2021 18:05:26
-- Project     : Projet_Maxime_Cachan_V10.pet
-- Grid        : 3D grid_Cachan
-- Generated ]

PINCH                                -- Generated : Petrel
/

NOECHO                               -- Generated : Petrel

MAPUNITS                             -- Generated : Petrel
METRES /

MAPAXES                              -- Generated : Petrel
446891.2733 5406945.557 446891.2733 5407945.557 447891.2733 5407945.557 /

GRIDUNIT                             -- Generated : Petrel
METRES /

SPECGRID                             -- Generated : Petrel
160 188 30 1 F /

COORDSYS                             -- Generated : Petrel
1 30 /

COORD                                -- Generated : Petrel
49.15254237 9400 1517.765503 49.15254237 9400 1633.483154 98.30508474 9400 1517.769287 98.30508474 9400 1633.476685 147.4576271
9400 1517.7771 147.4576271 9400 1633.46106 196.6101695 9400 1517.787964 196.6101695 9400 1633.435791 245.7627119 9400 1517.798828
245.7627119 9400 1633.402466 294.9152542 9400 1517.807739 294.9152542 9400 1633.364868 344.0677966 9400 1517.817505 344.0677966
9400 1633.323853 393.220339 9400 1517.831055 393.220339 9400 1633.280396 442.3728814 9400 1517.849731 442.3728814 9400 1633.238159
491.5254237 9400 1517.876343 491.5254237 9400 1633.192383 540.6779661 9400 1517.908691 540.6779661 9400 1633.137085 589.8305085
9400 1517.944946 589.8305085 9400 1633.072021 638.9830508 9400 1517.981445 638.9830508 9400 1633.003418 688.1355932 9400
1518.020264 688.1355932 9400 1632.935547 737.2881356 9400 1518.068359 737.2881356 9400 1632.866577 786.440678 9400 1518.12439
786.440678 9400 1632.789917 835.5932203 9400 1518.187622 835.5932203 9400 1632.709717 884.7457627 9400 1518.258301 884.7457627
9400 1632.627808 933.8983051 9400 1518.335693 933.8983051 9400 1632.542725 983.0508475 9400 1518.422119 983.0508475 9400
1632.453857 1032.20339 9400 1518.515015 1032.20339 9400 1632.361572 1081.355932 9400 1518.614746 1081.355932 9400 1632.266968
1130.508475 9400 1518.723267 1130.508475 9400 1632.166992 1179.661017 9400 1518.840576 1179.661017 9400 1632.056396 1228.813559
9400 1518.963867 1228.813559 9400 1631.93689 1277.966102 9400 1519.092041 1277.966102 9400 1631.808228 1327.118644 9400
1519.226074 1327.118644 9400 1631.674927 1376.271186 9400 1519.369873 1376.271186 9400 1631.535278 1425.423729 9400 1519.523071
1425.423729 9400 1631.387817 1474.576271 9400 1519.6875 1474.576271 9400 1631.231445 1523.728814 9400 1519.857788 1523.728814 9400
1631.068115 1572.881356 9400 1520.036987 1572.881356 9400 1630.89917 1622.033898 9400 1520.227905 1622.033898 9400 1630.7229
-----
Ln 1, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Exemple d'un fichier PVT
(PVT file) au format .pvt.

EXEMPLES DE FICHIERS

```
PVT_ALWYN.pvt - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide

TEMP
112.5/

DENSITY
--DENO DENW DENG
0.82583 1.0120 0.000982 /

PVTO
-- RS PB BO VISO
-- M3/M3 BAR M3/M3 CP

13.8 35.0 1.3005 1.82 /
22.1 58.0 1.3089 1.45 /
32.3 82.0 1.3233 1.19 /
44.4 110.0 1.3406 0.90 /
58.6 138.0 1.3898 0.68 /
76.9 170.0 1.4385 0.48 /
98.9 200.0 1.5009 0.38 /
123.6 227.0 1.5779 0.33 /
152.5 256.0 1.6588 0.29 /
170.0 271.6 1.7110 0.27 /
278.0 1.7078 0.28
293.0 1.7020 0.29
309.0 1.6960 0.30
330.0 1.6880 0.32
340.0 1.6841 0.33
375.0 1.6708 0.35
410.0 1.6573 0.37
453.0 1.6410 0.40
500.0 1.6229 0.43 /

/

PVDG
-- PRES BG VISG
-- BARSA M3/M3 CP

30 0.0411 0.0129 /
50 0.0243 0.0136 /
75 0.0160 0.0144 /
100 0.0118 0.0154 /
125 0.0094 0.0165 /
150 0.0078 0.0179 /
175 0.0067 0.0196 /
200 0.0059 0.0215 /
225 0.0054 0.0238 /
250 0.0049 0.0264 /
270 0.0048 0.0273 /

/

PVTW
-- PRES BW COMFW VISW
453 1.047 5.E-5 0.50 0/

/
```

Import Black-Oil PVT

DENSITY

Provide definition of every column of the file.

Find expression: DENSITY

04 DENSITY

05 --DENO DENW DENG

06 0.82583 1.0120 0.000982 /

07

08 PVTO

09 -- RS PB BO VISO

10 -- M3/M3 BAR M3/M3 CP

11

12 13.8 35.0 1.3005 1.82 /

13 22.1 58.0 1.3089 1.45 /

14 32.3 82.0 1.3233 1.19 /

15 44.4 110.0 1.3406 0.90 /

16 58.6 138.0 1.3898 0.68 /

17 76.9 170.0 1.4385 0.48 /

18 98.9 200.0 1.5009 0.38 /

19 123.6 227.0 1.5779 0.33 /

20 152.5 256.0 1.6588 0.29 /

21 170.0 271.6 1.7110 0.27

22 278.0 1.7078 0.28

23 293.0 1.7020 0.29

24 309.0 1.6960 0.30

25 330.0 1.6880 0.32

26 340.0 1.6841 0.33

27 375.0 1.6708 0.35

28 410.0 1.6573 0.37

29 453.0 1.6410 0.40

30 500.0 1.6229 0.43 /

31

Header

Column 1

Column 2

Column 3

Property Type

Density of oil at surface conditions

Density of water at surface conditions

Density of gas at surface conditions

Format/Unit

g/cc

g/cc

g/cc

Multiplier

-

-

-

Import Black-Oil PVT

PVTO

Provide definition of every column of the file.

Find expression: PVTO

08 PVTO

09 -- RS PB BO VISO

10 -- M3/M3 BAR M3/M3 CP

11

12 13.8 35.0 1.3005 1.82 /

13 22.1 58.0 1.3089 1.45 /

14 32.3 82.0 1.3233 1.19 /

15 44.4 110.0 1.3406 0.90 /

16 58.6 138.0 1.3898 0.68 /

17 76.9 170.0 1.4385 0.48 /

18 98.9 200.0 1.5009 0.38 /

19 123.6 227.0 1.5779 0.33 /

20 152.5 256.0 1.6588 0.29 /

21 170.0 271.6 1.7110 0.27

22 278.0 1.7078 0.28

23 293.0 1.7020 0.29

24 309.0 1.6960 0.30

25 330.0 1.6880 0.32

26 340.0 1.6841 0.33

27 375.0 1.6708 0.35

28 410.0 1.6573 0.37

29 453.0 1.6410 0.40

30 500.0 1.6229 0.43 /

31

Header

Column 1

Column 2

Column 3

Column 4

Property Type

Dissolved gas-oil ratio

Oil phase pressure

Oil formation volume factor

Oil viscosity

Format/Unit

sm³/sm³

bar

rm³/sm³

cP

Multiplier

-

-

-

-

Import Black-Oil PVT

PVDG

Provide definition of every column of the file.

Find expression: PVDG

32 PVDG

33 -- PRES BG VISG

34 -- BARSA M3/M3 CP

35

36 30 0.0411 0.0129 /

37 50 0.0243 0.0136 /

38 75 0.0160 0.0144 /

39 100 0.0118 0.0154 /

40 125 0.0094 0.0165 /

41 150 0.0078 0.0179 /

42 175 0.0067 0.0196 /

43 200 0.0059 0.0215 /

44 225 0.0054 0.0238 /

45 250 0.0049 0.0264 /

46 270 0.0048 0.0273 /

47

48 PVTW

49 -- PRES BW COMFW VISW

50 453 1.047 5.E-5 0.50 0/

51

Header

Column 1

Column 2

Column 3

Column 4

Column 5

Property Type

Reference phase pressure

Water formation volume factor

Water compressibility

Water viscosity versus pressure

Water viscosity derivative versus pressure

Format/Unit

bar

rm³/sm³

1/bar

cP

cP/bar

Multiplier

-

-

-

-

-

Import Black-Oil PVT

PVDG

Provide definition of every column of the file.

Find expression: PVDG

32 PVDG

33 -- PRES BG VISG

34 -- BARSA M3/M3 CP

35

36 30 0.0411 0.0129 /

37 50 0.0243 0.0136 /

38 75 0.0160 0.0144 /

39 100 0.0118 0.0154 /

40 125 0.0094 0.0165 /

41 150 0.0078 0.0179 /

42 175 0.0067 0.0196 /

43 200 0.0059 0.0215 /

44 225 0.0054 0.0238 /

45 250 0.0049 0.0264 /

46 270 0.0048 0.0273 /

47

48 PVTW

49 -- PRES BW COMFW VISW

50 453 1.047 5.E-5 0.50 0/

51

Header

Column 1

Column 2

Column 3

Column 4

Column 5

Property Type

Reference phase pressure

Water formation volume factor

Water compressibility

Water viscosity versus pressure

Water viscosity derivative versus pressure

Format/Unit

bar

rm³/sm³

1/bar

cP

cP/bar

Multiplier

-

-

-

-

-

Import Black-Oil PVT

PVTW

Provide definition of every column of the file.

Find expression: PVDG

32 PVDG

33 -- PRES BG VISG

34 -- BARSA M3/M3 CP

35

36 30 0.0411 0.0129 /

37 50 0.0243 0.0136 /

38 75 0.0160 0.0144 /

39 100 0.0118 0.0154 /

40 125 0.0094 0.0165 /

41 150 0.0078 0.0179 /

42 175 0.0067 0.0196 /

43 200 0.0059 0.0215 /

44 225 0.0054 0.0238 /

45 250 0.0049 0.0264 /

46 270 0.0048 0.0273 /

47

48 PVTW

49 -- PRES BW COMFW VISW

50 453 1.047 5.E-5 0.50 0/

51

Header

Column 1

Column 2

Column 3

Column 4

Column 5

Property Type

Reference phase pressure

Water formation volume factor

Water compressibility

Water viscosity versus pressure

Water viscosity derivative versus pressure

Format/Unit

bar

rm³/sm³

1/bar

cP

cP/bar

Multiplier

-

-

-

-

-

Exemple de données à rentrer manuellement dans les tableaux lors de la création du modèle Kr-Pc.

EXEMPLES DE FICHIERS

KrPc Model:

In ALWYN study case, there are two "Rock Type": TARBERT and NESS.

For this study, there are two KrPc Models each one applicable to a RT.

Model_1 => TARBERT

Model_2 => NESS

In Pumaflow Editors we define a Model/RT. Here, the two Models are the exactly the same (same Calculation mode and same Computing mode).

- **Model Calculation Mode:** "Basic" **KR-PC CALCULATION MODE** (for Kr and Pc).
(Without Hysteresis)
 - For **Water-Oil System** => *Imbibition* for Kr and *Drainage* for PC
 - For **Gas-Oil System** => *Drainage* for Kr and *Drainage* for PC
- **Model COMPUTING METHOD:** "STONE1" METHOD FOR COMPUTING THE THREE PHASE OIL KR.

Rock Type 1: TARBERT

1- Reference Kr

	<i>Kr W/O</i>			<i>Kr G/O</i>		
<i>End points</i>	SORW = 0.22 SWI = 0.15 KROWM = 0.8 KRWM = 0.25			SGC = 0 SORG = 0.25 KRG M = 0.6 KROGM = 0.8		
<i>Curve</i>	SW	KRW	KRO	SG	KRG	KROG
	0.150	0.000	0.800	0.000	0.000	0.8
	0.257	0.008	0.481	0.100	0.029	0.551
	0.328	0.015	0.319	0.170	0.070	0.411
	0.400	0.026	0.195	0.240	0.124	0.292
	0.465	0.034	0.123	0.300	0.185	0.200
	0.536	0.050	0.062	0.370	0.261	0.120
	0.602	0.076	0.025	0.430	0.341	0.064
	0.673	0.116	0.010	0.500	0.437	0.023
	0.738	0.186	0.005	0.560	0.534	0.003
	0.780	0.250	0.000	0.600	0.600	0.000

2- Reference Pc

	<i>Pc W/O</i>		<i>Pc G/O</i>	
<i>End points</i>	PCWMAX = 0.6 PCWMID = 0		PCGMAX = 0.12 PCGMID = 0	
<i>Curve</i>	SW	PCWO	SG	PCGO
	0.150	0.600	0.000	0.000
	0.257	0.300	0.100	0.00001
	0.328	0.170	0.170	0.001
	0.400	0.095	0.240	0.002
	0.465	0.052	0.300	0.004
	0.536	0.031	0.370	0.010
	0.602	0.018	0.430	0.019
	0.673	0.012	0.500	0.034
	0.738	0.008	0.560	0.060
	0.780	0.001	0.600	0.120
	1.000	0.000		

Rock Type 2: NESS

1- Reference Kr

	<i>Kr W/O</i>			<i>Kr G/O</i>		
<i>End points</i>	SORW = 0.3 SWI = 0.3 KROWM = 0.8 KRWM = 0.25			SGC = 0 SORG = 0.2 KRG M = 0.6 KROGM = 0.8		
<i>Curve</i>	SW	KRW	KRO	SG	KRG	KROG
	0.300	0.000	0.800	0.000	0.000	0.8
	0.368	0.008	0.481	0.085	0.029	0.551
	0.413	0.015	0.319	0.142	0.070	0.411
	0.458	0.026	0.195	0.198	0.124	0.292
	0.500	0.034	0.123	0.250	0.185	0.200
	0.545	0.050	0.062	0.307	0.261	0.120
	0.587	0.076	0.025	0.358	0.341	0.064
	0.632	0.116	0.010	0.415	0.437	0.023
	0.674	0.186	0.005	0.467	0.534	0.003
	0.700	0.250	0.000	0.500	0.600	0.000

2- Reference Pc

	<i>Pc W/O</i>		<i>Pc G/O</i>	
<i>End points</i>	PCWMAX = 0.6 PCWMID = 0		PCGMAX = 0.12 PCGMID = 0	
<i>Curve</i>	SW	PCWO	SG	PCGO
	0.300	0.600	0.000	0.000
	0.368	0.300	0.085	0.00001
	0.413	0.170	0.142	0.001
	0.458	0.095	0.198	0.002
	0.500	0.052	0.250	0.004
	0.545	0.031	0.307	0.010
	0.587	0.018	0.358	0.019
	0.632	0.012	0.415	0.034
	0.674	0.008	0.467	0.060
	0.700	0.001	0.500	0.120
	1.000	0.000		

EXEMPLES DE FICHIERS

Exemple d'un fichier piège (Trap file) au format .txt.

 ALWYN_Trap2-ALWYN_Trap3.txt - Bloc-notes

Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide							
** Traps		Zref	Pinit	WOC		GOC	TEMPRES	PVT	PBVD		ZFD -- Comments
ALWYN_Trap2		-3200	451	-2900	*	112.5	PVT_ALWYN		2	*	
ALWYN_Trap3		-3200	451	-3247		*	112.5	PVT_ALWYN		3	*

```
-- Saturation pressures versus depth (for black-oil)
```

PBVD 2

-3100	271.5
-3120	271.2
-3140	270.9
-3160	270.6
-3180	270.3
-3200	270.0
-3220	269.7
-3240	269.4 /

PBVD 3

-3100	271.5
-3120	271.2
-3140	270.9
-3160	270.6
-3180	270.3
-3200	270.0
-3220	269.7
-3240	269.4 /

Import Traps

Create traps from an ASCII file

File:

D:\CATINAT\Logiciels\Beicip Franlab\PumaFlow\Tutoriels\DATA\TRAPS\ALWYN_Trap2-ALWYN_Trap3.txt

Browse...

Unit system:

Metric

Z axis convention:

ELEVATION

Preview:

Find expression:

01**TrapsZrefPinitWOCGOCTEMPRESPVT^

02ALWYN_Trap2-3200451-2900*112.5PVT_ALWYN2

03ALWYN_Trap3-3200451-3247*112.5PVT_ALWYN3

04

05-- Saturation pressures versus depth (for black-oil)

06PBVD2

07-3100271.5

08-3120271.2

09-3140270.9

10-3160270.6

11-3180270.3

12-3200270.0

<

>

Fields:

File Field	Trap Data	
Zref	Reference Depth	
ZFD	Z discretization for fluid sat. init	
WOC	Water-Oil Contact at P _{cw} = 0	
Traps	Trap Name	
TEMPRES	Reference Temperature	
Pinit	Initial Pressure at Reference Depth	
PVT	PVT name	
PBVD	Saturation pressure versus depth table number	
GOC	Gas-Oil Contact at P _{cw} = 0	

?< BackNext >FinishCancel

EXEMPLES DE FICHIERS

Exemple d'un fichier de déviation (Well path file) au format .txt.

Ces fichiers contiennent les caractéristiques géométriques des trajectoires de puits et peuvent être exportés directement depuis Petrel®.

GAG1.txt - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage Aide

```
# SURVEY FROM PETREL
# WELL NAME:          ARCUEIL-GENTILLY 1
# TRAJECTORY NAME:    New survey
# TRAJECTORY TYPE:    SURVEY
# WELL HEAD X-COORDINATE: 451536.79372761 (m)
# WELL HEAD Y-COORDINATE: 5406388.06660975 (m)
# WELL DATUM (GL, GL, from MSL): 52.00000000 (m)
# WELL TYPE:          PROPOSED
# MD AND TVD ARE REFERENCED (=0) AT WELL DATUM AND INCREASE DOWNWARDS
# ANGLES ARE GIVEN IN DEGREES
# XYZ TRACE IS GIVEN IN COORDINATE SYSTEM UTM84-31N ("MENTOR:UTM84-31N:WGS 1984 UTM, Zone 31 North, Meter") [SIS,502456]
# AZIM_TN: azimuth in True North
# AZIM_GN: azimuth in Grid North
# DX DY ARE GIVEN IN GRID NORTH IN m-UNITS
# DEPTH (Z, tvd_z) GIVEN IN m-UNITS
#=====
```

	MD	X	Y	Z	TVD	DX	DY	AZIM_TN	INCL	DLS	AZIM_GN
#=====											
0.000000000	451536.79373	5406388.0666	52.000000000	0.000000000	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	359.50328455	0.000000000	0.000000000	0.000000000
380.000000000	451538.58684	5406388.3964	-327.9941641	379.99416406	1.7931110152	0.3297444955	79.083284551	0.550000000	0.0434210526	79.580000000	
388.200000000	451538.71084	5406388.5227	-336.1919511	388.19195105	1.9171162033	0.4561070576	35.083284551	2.050000000	6.2117883819	35.580000000	
406.700000000	451539.42705	5406388.9313	-354.6724102	406.67241022	2.6333219348	0.8647020310	74.583284551	3.360000000	3.5750232306	75.080000000	
426.100000000	451540.89782	5406389.1243	-374.0142852	426.01428521	4.1040965178	1.0577260954	86.603284551	5.460000000	3.5307122930	87.100000000	
445.200000000	451543.03140	5406389.0267	-392.9931826	444.99318257	6.2376749833	0.9600681067	96.183284551	7.430000000	3.5148801435	96.680000000	
463.200000000	451545.74697	5406388.6526	-410.7814045	462.78140447	8.9532376021	0.5860215481	98.203284551	10.100000000	4.4787949351	98.700000000	
482.200000000	451549.48504	5406388.0417	-429.3977974	481.39779739	12.691315994	-0.024950781	99.243284551	12.910000000	4.4487366721	99.740000000	
502.250000000	451554.39202	5406387.2997	-448.8212136	500.82121365	17.598294522	-0.766924196	97.163284551	15.770000000	4.3474980000	97.660000000	
521.100000000	451559.92188	5406386.6370	-466.8269336	518.82693364	23.128148153	-1.429598810	95.633284551	18.620000000	4.5921960906	96.130000000	
541.100000000	451566.76856	5406385.9851	-485.6037519	537.60375193	29.974829393	-2.081473252	94.343284551	21.630000000	4.5635604514	94.840000000	
558.100000000	451573.33611	5406385.3775	-501.2697012	553.26970121	36.542378344	-2.689144034	95.193284551	24.050000000	4.3099904401	95.690000000	
577.000000000	451581.48682	5406384.6543	-518.3021872	570.30218716	44.693093065	-3.412356851	94.023284551	27.290000000	5.2051660408	94.520000000	
595.900000000	451590.44636	5406384.0152	-534.9281613	586.92816132	53.652628661	-4.051425296	93.173284551	29.490000000	3.5504174792	93.670000000	
615.000000000	451599.86978	5406383.2519	-551.5218450	603.52184496	63.076056153	-4.814698729	95.083284551	29.880000000	1.6069476708	95.580000000	
634.100000000	451609.69434	5406382.3709	-567.8736538	619.87365380	72.900612699	-5.695724868	94.203284551	32.340000000	3.9292258718	94.700000000	
652.900000000	451620.31603	5406381.4305	-583.3484586	635.34845860	83.522303424	-6.636079386	94.883284551	36.820000000	7.1753155945	95.380000000	
671.700000000	451631.90579	5406380.3117	-598.1026787	650.10267870	95.112066953	-7.754950901	95.143284551	39.760000000	4.6985190232	95.640000000	
690.800000000	451644.04534	5406379.0882	-612.7939574	664.79395740	107.25161685	-8.978388622	95.373284551	39.680000000	0.2628373533	95.870000000	
710.600000000	451656.77249	5406378.0739	-627.9224674	679.92246740	119.97876648	-9.992680124	92.773284551	40.680000000	2.9587543120	93.270000000	
728.600000000	451668.72853	5406377.7138	-641.3668360	693.36683597	131.93479811	-10.35280909	89.743284551	42.680000000	4.7308541842	90.240000000	
747.500000000	451681.61309	5406377.8442	-655.1886556	707.18865556	144.81935823	-10.22238491	88.113284551	43.330000000	2.0441152199	88.610000000	
766.700000000	451694.61241	5406378.1025	-669.3112146	721.31121458	157.81867805	-9.964089856	88.623284551	41.960000000	2.2076333779	89.120000000	
786.600000000	451707.90969	5406378.3845	-684.1091645	736.10916449	171.11595871	-9.682068611	87.953284551	41.960000000	0.6753292176	88.450000000	
804.500000000	451719.74802	5406378.7325	-697.5266816	749.52668157	182.95428754	-9.334101241	87.683284551	40.930000000	1.7520454363	88.180000000	
823.600000000	451732.19831	5406379.1693	-712.0005171	764.00051713	195.40458536	-8.897319058	87.303284551	40.530000000	0.7391832672	87.800000000	
842.400000000	451744.27225	5406379.5799	-726.4009358	778.40093582	207.47852484	-8.486704182	87.813284551	39.480000000	1.7552996878	88.310000000	

Ln 1, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

EXEMPLES DE FICHIERS

Injection

ALWYN_inj_Hist.prd - Bloc-notes				
Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide
*TableName		PRODUCTION		
*DATE	*QWIS			
// DateYYYYMMDD		DaysProd		
*KeyName		N1		
19880322		29		
19880327		29		
19880401		29		
19880416		840		
19880501		840		
19880516		2643		
19880601		2643		
19880607		2291		
19880619		2291		
19880701		2291		
19880717		1453		
19880801		1453		
19880901		2910		
19881001		3977		
19881101		1781		
19881201		21		
19890101		0		
19890201		0		
19890301		267		
19890401		2765		
19890404		4090		
19890413		4090		
19890501		4090		
19890601		4047		
19890701		5392		
19890801		4760		
19890901		869		
19891001		2489		
19891101		4214		
19891201		4364		
19900101		3584		
19900201		4523		
19900301		1449		
19900401		5210		
19900501		4799		
19900601		3784		
19900701		4295		
19900801		4186		
19900901		1909		
19901001		2297		
19901101		2858		

Exemple de fichiers d'historique d'exploitation (Well historical data files) au format .prd.

Production

ALWYN_prod_Hist.prd - Bloc-notes				
Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide
*TableName		PRODUCTION		
*DATE	*QOS	*QGS	*FW	
// DateYYYYMMDD				
*KeyName		N10		
19880131	891	152140.8	0	
19880228	1025	174975.2	0	
19880331	1320	225229.9	0	
19880430	2297	391828.4	0	
19880531	2301	392370.1	0	
19880630	2029	345886.5	0	
19880731	194	33067.25	0	
19880831	194	33066.3	0	
19880930	0	0	0	
19881031	753	128324.4	0	
19881130	1201	204651.6	0	
19881231	993	169192.3	0	
19890131	998	170022.7	0	
19890228	872	148538.3	0	
19890331	1033	175945	0	
19890430	824	140326.3	0	
19890531	824	140321	0	
19890630	659	112218.7	0	
19890731	731	124476.5	0	
19890831	398	67769.66	0	
19890930	67	11408.15	0	
19891031	21	3575.589	0	
19891130	25	4256.537	0	
19891231	156	26559.87	0	
19900131	394	67078.62	0	
19900228	1093	186091.9	0	
19900331	947	161236.1	0	
19900430	196	33370.45	0	
19900531	0	0	0	
19900630	0	0	0	
19900731	536	91254.89	0	
19900831	1459	248389.2	0	
19900930	818	139252.2	0	
19901031	621	105711	0	
19901130	1093	186052.9	0	
19901231	745	126816.1	0	
19910131	1390	236599.1	0	
19910228	1974	335973.2	0	
19910331	1923	327298.6	0	
19910430	2014	342778.9	0	

Pression Statique


ALWYN_BHP_Hist.prd - Bloc-not			
Fichier	Edition	Format	Affichag
*TableName			
*DATE	*BHP		
// DateYYYYMMDD			
*KeyName	N10		
19890101	360		
19910601	340		
*KeyName	N11		
19890101	370		
19890501	340		
19900401	342		
*KeyName	N3		
19880901	406		
19890601	360		
19910413	305		
*KeyName	N30		
19910701	350		
19910901	390		
19911101	395		
19920101	398		
*KeyName	N2		
19880901	400		
19890601	360		
19900501	355		
19901201	332		
19910601	304		
*KeyName	N18		
19890101	370		
19890601	347		
19910601	338		
*KeyName	N26		
19900101	360		
19900501	348		
19910601	302		

Pression Fond de puits

ALWYN_Pstat_Hist.prd - Bloc-n			
Fichier	Edition	Format	Affichage
*TableName			
*DATE	*PSTA0		
// DateYYYYMMDD			
*KeyName	N10		
19880601	421		
19880901	418		
19890101	409		
19890601	386		
19900101	386		
19900501	384		
19900601	385		
19910101	376		
19910601	374		
*KeyName	N11		
19880601	391		
19880901	386		
19890101	378		
19890601	353		
19900101	352		
19900501	350		
19901201	355		
19910101	358		
19910404	358		
19910413	360		
19910501	360		
19910601	362		
19910901	363		
*KeyName	N3		
19880601	422		
19880901	417		
19890101	413		
19890601	381		
19900101	381		
19900501	350		
19901201	384		
19910101	387		
19910201	384		
19910404	381		
19910413	384		
19910501	387		
19910601	386		

EXEMPLES DE FICHIERS

Exemple d'un fichier de perforation de puits
(Perforation file) au format .txt.

 PERF-ALWYN.txt - Bloc-notes

Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide
WELL	DATE	Top Perfo	Bottom Perfo	Status
	dd/mm/yyyy	m (MD)	m (MD)	
N1	11/30/1987	1279.98	1525.59	INJ
N10	11/30/1987	1171.56	1206.38	PROD
N11	11/30/1987	1195.37	1239.66	PROD
N14	11/30/1987	1231.2	1890.75	INJ
N18	11/30/1987	1174.3	1230.94	PROD
N2	11/30/1987	1175.8	1211.05	PROD
N26	11/30/1987	1169.11	1218.4	PROD
N3	11/30/1987	1182.6	1240.11	PROD
N30	11/30/1987	902.8	970.98	PROD
N9	11/30/1987	1257.25	1381.77	INJ
S9	11/30/1987	1182.88	1295.9	INJ

EXEMPLES DE FICHIERS

Exemple d'un fichier décrivant les
connexions des cellules aux failles
(Intercell connections-Faults file) au
format .dat.

```
FAULTS.dat - Bloc-notes
Fichier  Edition  Format  Affichage  Aide
FAULTS
-- FLT   I1 I2   J1 J2   K1 K2   FACE
'FLT1'   8 8   22 23   1 18   X /
'FLT1'   7 8   23 23   1 18   Y /
'FLT1'   6 6   24 24   1 18   X /
'FLT1'   6 6   24 24   1 18   Y /
'FLT1'   5 5   25 25   1 18   X /
'FLT1'   4 5   25 25   1 18   Y /
'FLT1'   3 3   26 26   1 18   X /
'FLT1'   3 3   26 26   1 18   Y /
'FLT1'   2 2   27 27   1 18   X /
'FLT1'   2 2   27 27   1 18   Y /
'FLT1'   1 1   28 28   1 18   X /
'FLT1'   1 1   28 28   1 18   Y /
--
'FLT2'  18 18   1 1   1 18   X /
'FLT2'  18 18   1 1   1 18   Y /
'FLT2'  17 17   2 2   1 18   X /
'FLT2'  16 17   2 2   1 18   Y /
'FLT2'  15 15   3 4   1 18   X /
'FLT2'  15 15   4 4   1 18   Y /
'FLT2'  14 14   5 5   1 18   X /
'FLT2'  14 14   5 5   1 18   Y /
'FLT2'  13 13   6 7   1 18   X /
'FLT2'  13 13   7 7   1 18   Y /
'FLT2'  12 12   8 19   1 18   X /
'FLT2'  12 12   19 19   1 18   Y /
/
MULTFLT
-- FLT   MULT
'FLT1'   0.01 /
'FLT2'   0.00 /
/
```

TUTORIEL PRATIQUE

1

Se connecter à Openflow Suite (version 2023) en cliquant sur l'icône du bureau. Une fois Openflow lancé, entrez votre identifiant (Login) et votre mot de passe (Password) pour vous connecter. Le serveur distribuant les licences (OFS2023) est automatiquement reconnu. Cliquez sur « OK » pour continuer, puis ouvrir l'un des projets sur lequel vous travaillez. Cliquez sur « Next » puis cocher les logiciels pour lesquels des licences sont disponibles avec « Show licences in use » puis faire « OK » pour continuer.

NB : dans notre cas, nous ne disposons que de licences pour Pumaflow, PVTflow et Dionysos.



2

Une fois le projet ouvert, la fenêtre « Project Preferences » apparaît. L'utilisateur peut y ajuster les différents paramètres en fonction des besoins de l'étude tels que le système d'unités des différentes variables qui vont par la suite être utilisées pour les simulations.



NB 1 : La partie « Perspective » permet d'arranger la disposition des différentes fenêtres pour chaque application disponible dans Openflow Suite 2023. Dans notre cas, ne travaillant que sur Pumaflow™, il ne faut cocher que la case « Pumaflow ». Les applications affichées dépendent directement de la sélection faite au préalable dans la fenêtre précédente.

Project Preferences
Set the global application settings.

Study
☒ Create a new study if project is empty

Date Format
The option globally defines the format for displaying dates.
12/25/2014

Z Convention
In the DEPTH convention, z is positive downwards.
☒ DEPTH ☐ ELEVATION

System of Units
Select the most suitable system of units for importing, viewing or editing your data.
Metric

Layer Numbering Convention
In the TOP convention, the layer k=1 is the top layer.
☒ TOP ☐ BOTTOM

Perspective
Select the initial layout (a perspective) best suited to your work.
☐ PVTFlow
☒ PumaFlow

System of Units List:
API gravity [°API]
Acoustic slowness [s/m]
Angle [°]
Area [m²]
Area per time [m²/day]
Arrhenius [1/(bar·day)]
Dimensionless []
Electrical potential [V]
Energy [J]
Energy per mass [J/g]
Energy per mole [J/mol]
Energy per time [J/day]

☐ Do not show this dialog when opening a new project **Finish** **Cancel**



NB 2 : L'ensemble des paramètres fixés ici peuvent être réajustés dans l'onglet « Settings » ultérieurement.

Open Perspective

- Administration
- CougarFlow
- Debug
- DionisosFlow
- FracaFlow
- Groovy
- Java
- Java Browsing
- Java Type Hierarchy
- KronosFlow
- Monitoring
- Optimization
- PVTFlow
- PumaFlow
- Remote System Explorer
- Study (default)
- Team Synchronizing

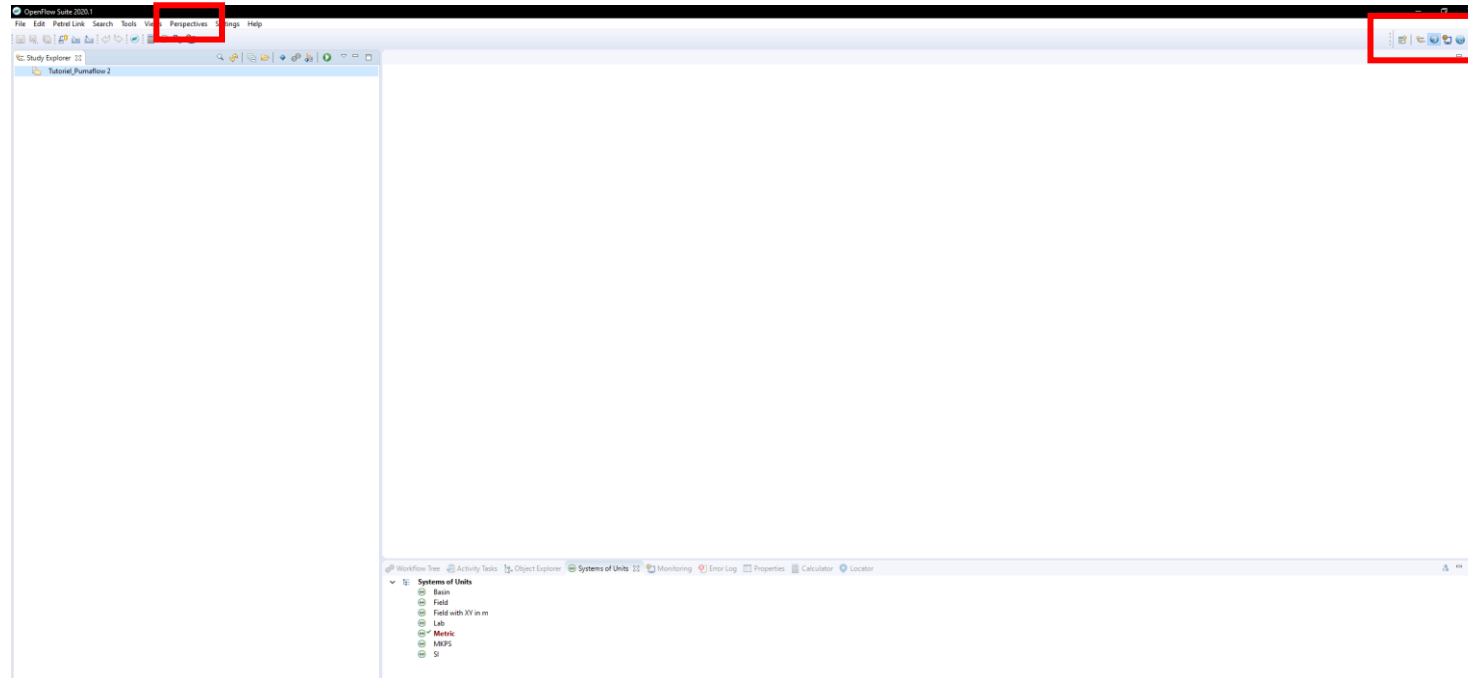
☒ Show all

OK **Cancel**

Exemple de la perspective (c'est-à-dire l'arrangement des fenêtres) par défaut dans Pumaflow™.

On peut choisir différents arrangements en fonction des applications et les sauvegarder respectivement dans l'onglet « Perspectives ».

On peut aussi basculer plus rapidement d'une perspective à l'autre grâce aux raccourcis en haut à droite de la fenêtre.



Une étude est généralement créée par défaut avec le nom du projet. On peut la renommer ensuite comme on le souhaite, dans le cas présent, Project_Final.

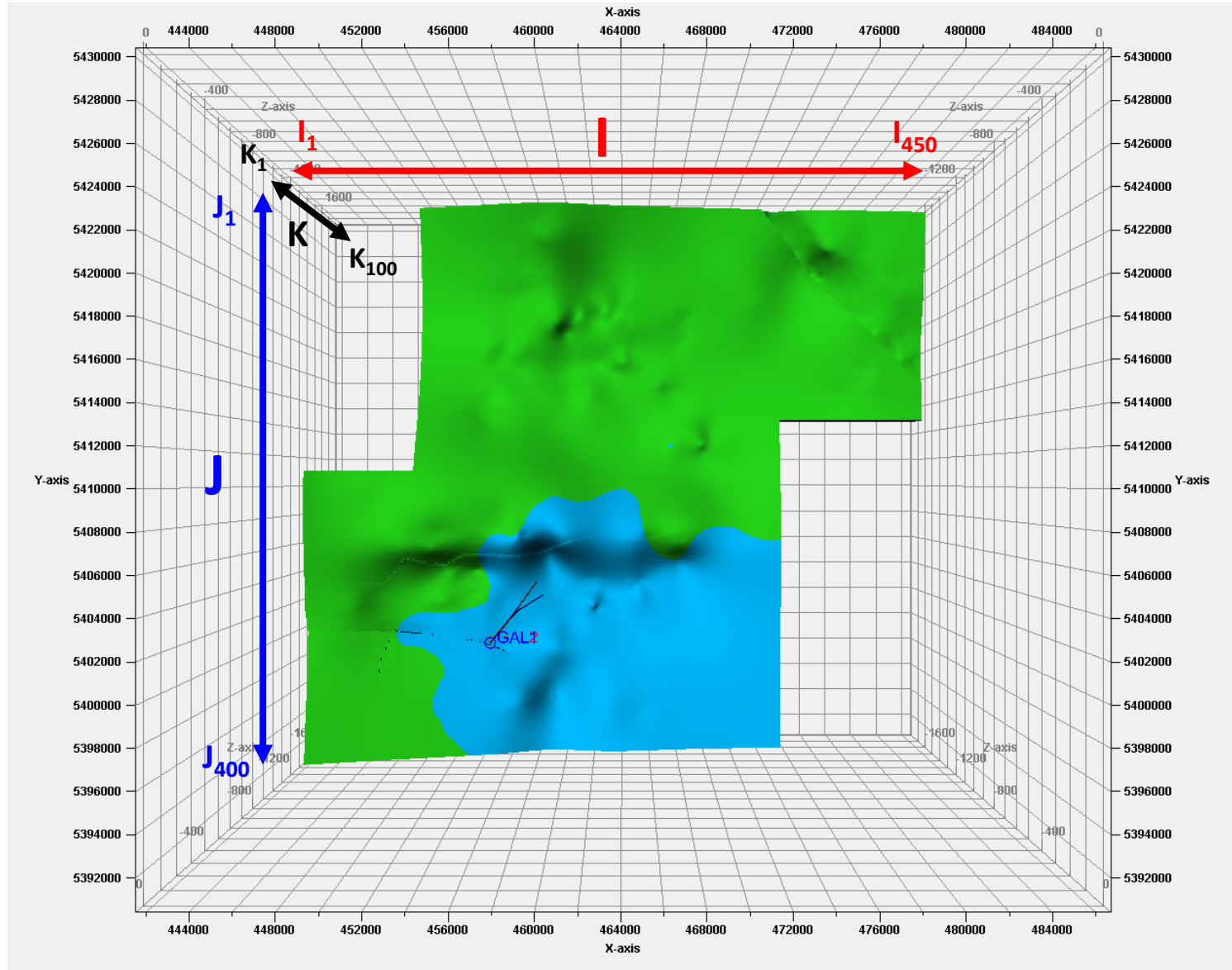


Il est possible de créer une nouvelle étude si besoin. Pour ce faire, il suffit de faire « clique-droit » dans l'onglet « Study Explorer » puis « New » puis « Study ».

3

Une fois l'étude créée, la première étape du travail consiste à exporter les grilles 3D construites sur Petrel©. Ces grilles sont exportées depuis Petrel© au format .GRDECL contenant les propriétés géométrique du maillage, ses propriétés de faciès et ses propriétés pétrophysiques. Le fichier d'une grille est divisé en quatre sections distinctes: COORD, ZCORN, ACTNUM et PROPERTIES. Ces sections peuvent être exportées dans des fichiers individualisés si le nombre de cellules de la grille est trop important. Les positions des mailles dans Petrel© peuvent être identifiées dans un repère en 3 dimensions. Le plan horizontal est défini par une direction I et une direction J, et le plan vertical selon une direction K (voir figure ci-dessous).

**450 (I) x 400 (J)
x 100 (K)**



Pour exporter une grille 3D, il est nécessaire de définir un système de coordonnées d'origine dans Petrel©. Trois configurations ont été testées :

3

Cas n°1 : Fixer les valeurs des X et Y manuellement à « 0 » dans le « Coordinate system origin ». Les valeurs des coordonnées dans le fichier exporté sont les alors mêmes que celles des axes X et Y qui borne le domaine dans Petrel© (c'est-à-dire correspondant à des distances exprimées en mètres). C'est cette configuration qu'il faut préférentiellement utilisé pour exporter les grilles 3D.

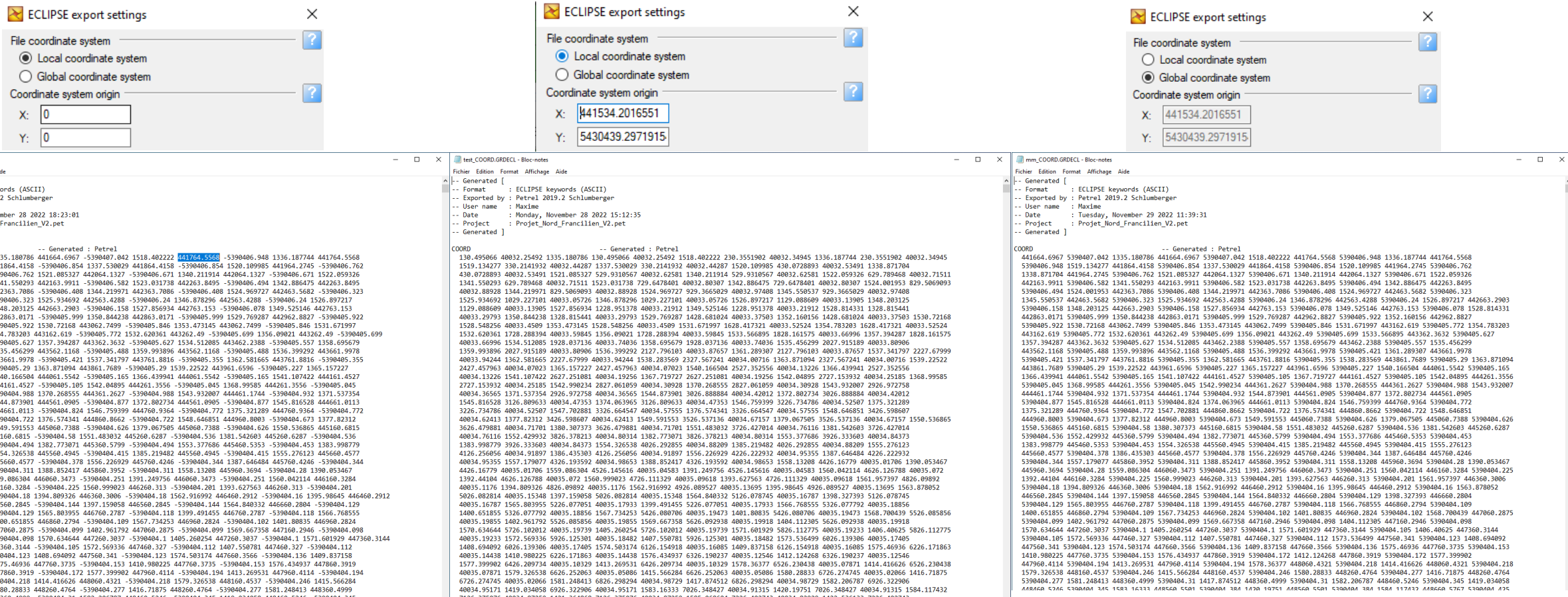
Cas n°2 : Laisser les valeurs de X et Y par défaut. Les valeurs de coordonnées exportées dans le fichier exportés sont alors retraitées et différent de celles affichées dans l'interface de visualisation 3D du logiciel.

Cas n°3 : Laisser les valeurs de X et Y par défaut en cochant cette fois-ci la case « Local coordinate system » à la place de « Local coordinate system ». Les valeurs de coordonnées exportées sont alors identiques au cas n°1 à la seule différence que les valeurs Y ne sont plus négatives.

Cas n°1

Cas n°2

Cas n°3



3

Il est ensuite nécessaire de configurer la manière dont les coordonnées de la grille seront exportées, c'est-à-dire les directions dans lesquelles ses coordonnées seront balayées en 3D. C'est une étape importante dont dépend l'organisation de la structure du fichier d'export. Cette configuration s'effectue dans la partie « Petrel cell origin » (voir screen ci-dessous). Quatre options d'export sont disponibles pour définir un point d'origine. Chacun de ses points correspond à un coin externe du domaine. Précisément pour l'étude, c'est l'option n°1 qui a été choisie ($I=0, J=0, K$). On définit ensuite le sens de lecture des cellules en sélectionnant l'option « Traverse first along I, then along J ».

ECLIPSE export settings

File coordinate system ?

☒ Local coordinate system
☐ Global coordinate system

Coordinate system origin ?

X:
Y:

Mapaxes

☒ Export MAPAXES keyword

Rotation: degrees ?

Petrel cell origin ?

☒ Cell origin at ($I=0, J=0, K$) **1**
☐ Cell origin at ($I=0, J=\max J, K$) **2**
☐ Cell origin at ($I=\max I, J=\max J, K$) **3**
☐ Cell origin at ($I=\max I, J=0, K$) **4**

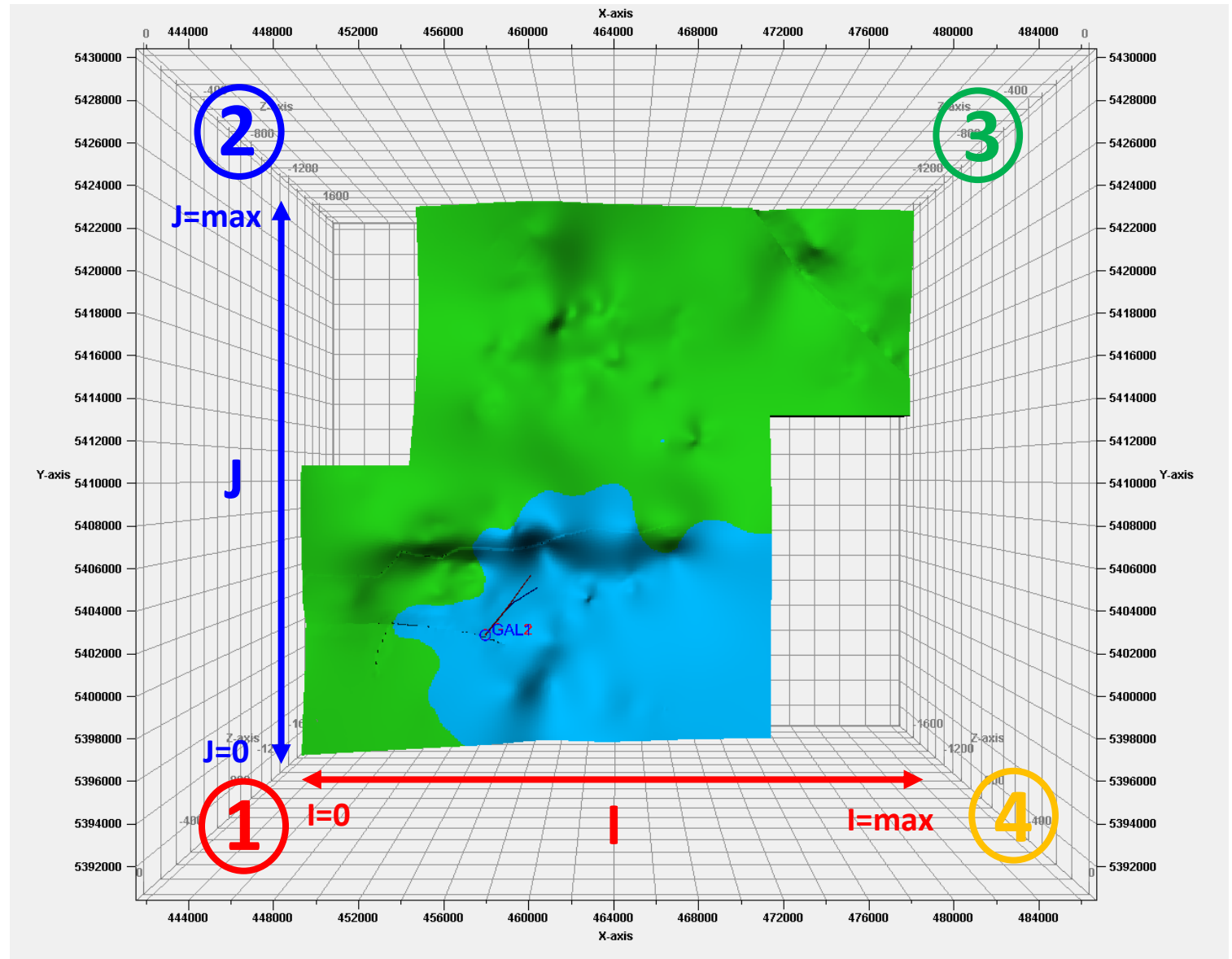
☒ Traverse first along I, then along J
☐ Traverse first along J, then along I ?

Other settings

Undefined property value:

☐ Suppress optional keywords ?
☐ Dual porosity format ?
☐ Export IJK as FAULTS ?

?



3 Une fois l'export effectué, le fichier de coordonnées des nœuds du maillage (COORD) est organisé de la manière suivante:

Paramétrage utilisé

ECLIPSE export settings

File coordinate system: ☒ Local coordinate system

Coordinate system origin: X: 0, Y: 0

Mapaxes: ☒ Export MAPAXES keyword, Rotation: 0 degrees

Petrel cell origin: ☒ User defined cell origin, ☐ Set K to max K

☒ Cell origin at (I=0, J=0, K)

☒ Traverse first along I, then along J

Other settings: Undefined property value: -999.25, ☐ Suppress optional keywords, ☐ Dual porosity format, ☐ Export IJK as FAULTS

Suggest 3D grid

OK Cancel

test2_COORD.GRDECL - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage Aide

-- Generated [

-- Format : ECLIPSE keywords (ASCII)

-- Exported by : Petrel 2019.2 Schlumberger

-- User na

-- Date 1^{er} novembre 28 2022 18:23

-- Project

-- Generated]

COORD

Generated : Petrel

441664.6967 -5390407.042 1335.180786 441664.6967 -5390407.042 1518.402222 441764.5568 -5390406.948 1336.187744 441764.5568

-5390406.948 1519.134277 441864.4158 -5390406.854 1337.530029 441864.4158 -5390406.854 1520.109985 441964.2745 -5390406.762

1338.871704 441964.2745 -5390406.762 1521.085327 442064.1327 -5390406.671 1340.211914 442064.1327 -5390406.671 1522.059326

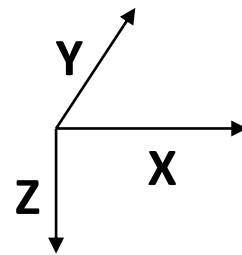
442163.9911 -5390406.582 1341.550293 442163.9911 -5390406.582 1523.031738 442263.8495 -5390406.494 1342.886475 442263.8495

-5390406.494 1524.001953 442363.7086 -5390406.408 1344.219971 442363.7086 -5390406.408 1524.969727 442463.5682 -5390406.323

1345.50537 442463.5682 -5390406.323 1525.934692 442563.4288 -5390406.24 1346.878296 442563.4288 -5390406.24 1526.897217

442663.2903 -5390406.158 1348.203125 442663.2903 -5390406.158 1527.856934 442763.153 -5390406.078 1349.525146 442763.153

-5390406.078 1528.814331 442863.0171 -5390405.999 1350.844238 442863.0171 -5390405.999 1529.769287 442962.8827 -5390405.922

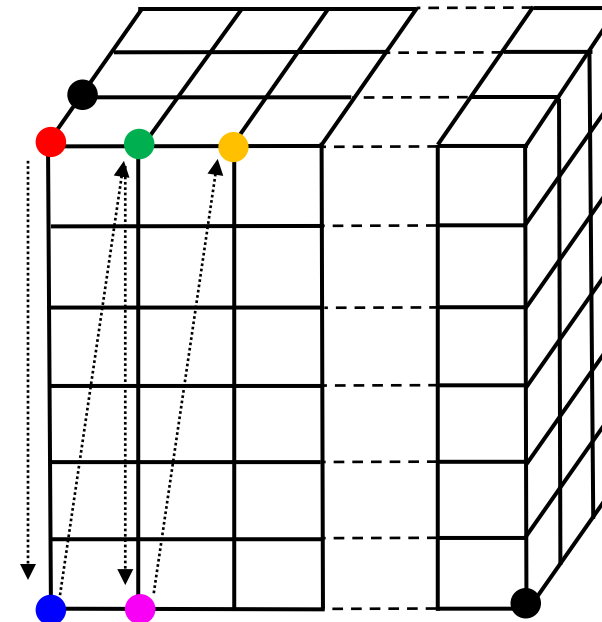


Nœud le plus haut

Les colonnes ne sont pas strictement verticales (décalage progressif)

Nœud le plus bas

Sommet modèle



Base modèle

$X_1, Y_1, Z_{top}, X_1, Y_1, Z_{bot}$
 $X_2, Y_1, Z_{top}, X_2, Y_1, Z_{bot}$
 ...
 $X_1, Y_2, Z_{top}, X_1, Y_2, Z_{bot}$

Total = $2 * 3 * I * J = 1085106$

Avec ici $I = 450 + 1$ (car un nœud supplémentaire car 400 divisions) et $J = 400 + 1$

Rq : nœuds « invisibles » car le modèle n'est pas cubique

Par ailleurs, le fichier décrivant la profondeur de chaque nœud des cellules du modèle (ZCORN) est organisé de la manière suivante:

ECLIPSE export settings

File coordinate system ?

☒ Local coordinate system
☐ Global coordinate system

Coordinate system origin ?

X:
Y:

Mapaxes ?

☒ Export MAPAXES keyword

Rotation: degrees ?

Petrel cell origin ?

☒ User defined cell origin
☐ Set K to max K

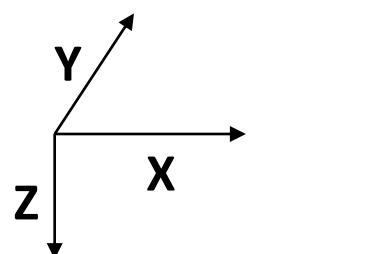
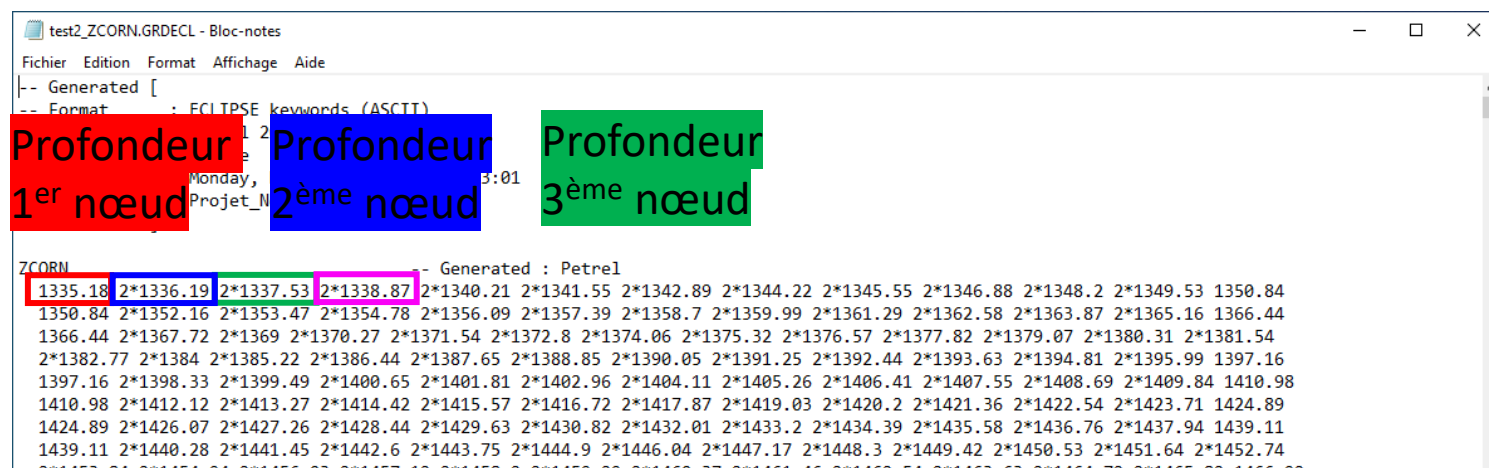
☒ Cell origin at (I=0, J=0, K)
☐ Cell origin at (I=0, J=max J, K)
☐ Cell origin at (I=max I, J=max J, K)
☐ Cell origin at (I=max I, J=0, K)
☒ Traverse first along I, then along J
☐ Traverse first along J, then along I ?

Other settings ?

Undefined property value:

☐ Suppress optional keywords ?
☐ Dual porosity format ?
☐ Export IJK as FAULTS ?

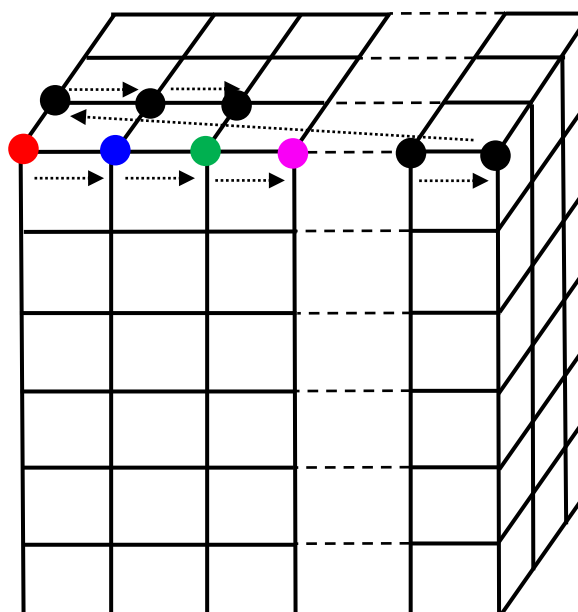
?



Nœud le plus haut

Nœud le plus bas

Sommet modèle



Base modèle

$Z(X_1, Y_1), Z(X_2, Y_1), Z(X_2, Y_1),$
 $Z(X_3, Y_1), Z(X_3, Y_1)...$
 $Z(X_1, Y_2), Z(X_2, Y_2), Z(X_2, Y_2)...$

$$Total = I * J * K * 8 = 1,44 * 10^8$$

**8 car chaque cellule à 8 coins*

*Rq : *2 car les nœuds sont répétés 2 fois pour deux cellules adjacentes (à part pour les nœuds aux bords du modèle).
En fin de ligne, les *2 disparaissent parfois (?) mais la valeur de profondeur est bien répétée quand même deux fois (écrite 2 fois à la place du *2)*

A 3D visualization of a geological model, likely a subsurface reservoir, showing a complex, irregular shape. The model is divided into two main regions: a green upper region and a blue lower region. The green region is labeled "267 cellules actives (actnum = 1)" and the blue region is labeled "342 cellules actives (actnum = 1)". The total number of cells is indicated as "205 cellules" and "450 cellules". The model is also divided into inactive regions, labeled "75 cellules inactives" and "108 cellules inactives". The model is shown in a 3D coordinate system with X, Y, and Z axes. The X-axis ranges from 44000 to 48000, the Y-axis from -1700 to -1500, and the Z-axis from -1600 to -1400. A rectangular section is highlighted in blue, corresponding to the section described in the text.

Pour la partie surlignée en bleu dans le fichier, ça correspond à la section rectangulaire supérieure du modèle pour $k=1$ (avant que le modèle ne change ensuite de géométrie latéralement vers des Y plus élevés)
 Pour vérifier le nombre de valeurs (= produit, ex: $342*1 = 1$ valeur) dans cette partie : **$205*2 = 410$ produits escomptés**
 Or **$21*19+11=411$** et non **410** ; 1 valeur en trop?

Enfin, un fichier contenant les propriétés de la grille est exporté (PROPERTIES). Ces propriétés sont en général les faciès, la porosité et la perméabilité. Toutefois, l'exemple présenté ci-dessous montre l'organisation d'un fichier pour une propriété de « volumes connectés » (connected volumes) mais le principe reste le même pour toute propriété.

```
test2.GRDECL - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide
|-- Generated [
-- Generated ]

PINCH -- Generated : Petrel
/

NOECHO -- Generated : Petrel

MAPUNITS -- Generated : Petrel
METRES /

MAPAXES -- Generated : Petrel
0 -1000 0 0 1000 0 /

GRIDUNIT -- Generated : Petrel
METRES /

SPECGRID -- Generated : Petrel
450 400 100 1 F /

COORDSYS -- Generated : Petrel
1 100 /

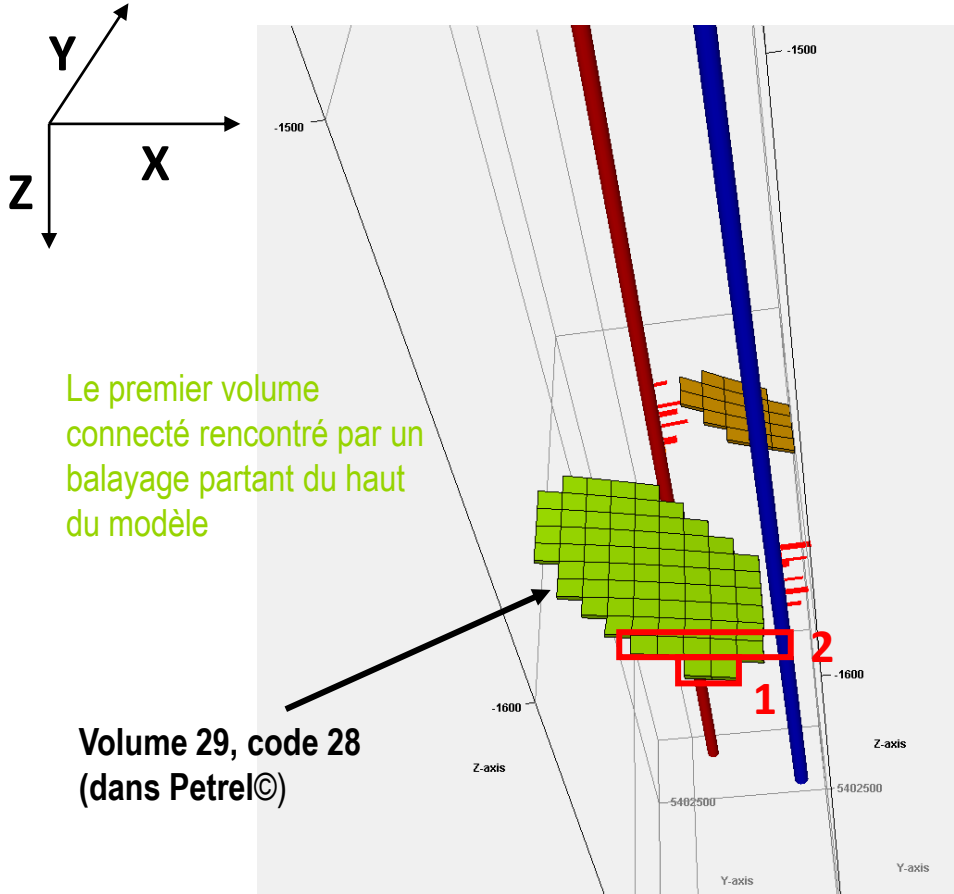
INCLUDE -- Generated : Petrel
'test2_COORD.GRDECL' /

INCLUDE -- Generated : Petrel
'test2_ZCORN.GRDECL' /

INCLUDE -- Generated : Petrel
'test2_ACTNUM.GRDECL' /

CONNECTEDVOLUMES 1 2 -- Generated : Petrel
-- Property name is Petrel : test
2026962*-999 2*28 446*-999 5*28 444*-999 6*28 443*-999 7*28 442*-999 8*28 442*-999 8*28 441*-999 9*28 441*-999 8*28 442*-999 2*28
5*28 443*-999 6*28 445*-999 4*28 2253*-999 3*27 446*-999 4*27 445*-999 5*27 445*-999 5*27 446*-999 3*27 172794*-999 3*28 2*-999
444*-999 4*28 446*-999 4*28 445*-999 5*28 445*-999 4*28 447*-999 28 2703*-999 4*27 445*-999 6*27 444*-999 6*27 443*-999 7*27 -999
442*-999 7*27 443*-999 6*27 445*-999 5*27 446*-999 2*27 176849*-999 3*27 446*-999 5*27 444*-999 6*27 444*-999 6*27 444*-999 2*27
4*27 444*-999 5*27 445*-999 4*27 168736*-999 10 448*-999 3*10 446*-999 4*10 13*-999 3*7 429*-999 5*10 12*-999 4*7 429*-999 2*10
3*10 12*-999 4*7 428*-999 5*10 13*-999 4*7 428*-999 4*10 14*-999 3*7 447*-999 2*7 430*-999 4*10 446*-999 5*10 444*-999 6*10 -999
443*-999 6*10 444*-999 6*10 444*-999 5*10 445*-999 5*10 446*-999 2*10 3164*-999 2*27 448*-999 27 167401*-999 2*7 448*-999 4*7
446*-999 3*7 1346*-999 2*7 -999 2*7 431*-999 2*10 10*-999 8*7 429*-999 3*10 6*-999 2*7 2*-999 8*7 428*-999 4*10 4*-999 14*7 -999
427*-999 4*10 4*-999 14*7 427*-999 5*10 3*-999 15*7 428*-999 5*10 3*-999 14*7 428*-999 5*10 4*-999 5*7 3*-999 4*7 428*-999 2*10
5*10 3*-999 5*7 3*-999 3*7 428*-999 8*10 442*-999 8*10 442*-999 8*10 442*-999 8*10 441*-999 8*10 442*-999 8*10 443*-999 6*10 -999
443*-999 5*10 445*-999 5*10 445*-999 5*10 445*-999 5*10 446*-999 3*10 447*-999 3*10 167864*-999 5*7 443*-999 11*7
440*-999 10*7 441*-999 8*7 444*-999 4*7 445*-999 6*7 439*-999 3*7 -999 8*7 436*-999 14*7 435*-999 15*7 435*-999 15*7 101*-999
334*-999 15*7 434*-999 15*7 430*-999 2*10 4*-999 14*7 428*-999 5*10 3*-999 7*7 2*-999 4*7 428*-999 6*10 4*-999 5*7 435*-999 2*10
4*10 444*-999 6*10 443*-999 7*10 443*-999 6*10 445*-999 5*10 445*-999 4*10 445*-999 6*10 444*-999 6*10 444*-999 6*10 101*-999
343*-999 5*10 445*-999 5*10 445*-999 4*10 446*-999 4*10 16*-999 4*21 427*-999 2*10 16*-999 5*21 444*-999 6*21 444*-999 6*21 -999
442*-999 7*21 443*-999 7*21 443*-999 6*21 443*-999 5*21 446*-999 3*21 163796*-999 5*7 442*-999 12*7 439*-999 13*7
437*-999 12*7 440*-999 7*7 446*-999 2*7 450*-999 2*7 446*-999 4*7 438*-999 4*7 4*-999 4*7 437*-999 5*7 3*-999 5*7 437*-999 5*7
--
```

Nombre de maille suivi de la valeur de la propriété (ici les -999 correspondent à l'absence de volume connecté). Pour les propriétés de porosité ou perméabilité, les fichiers sont beaucoup plus lourds car chaque cellule contient une valeur qui lui est propre.



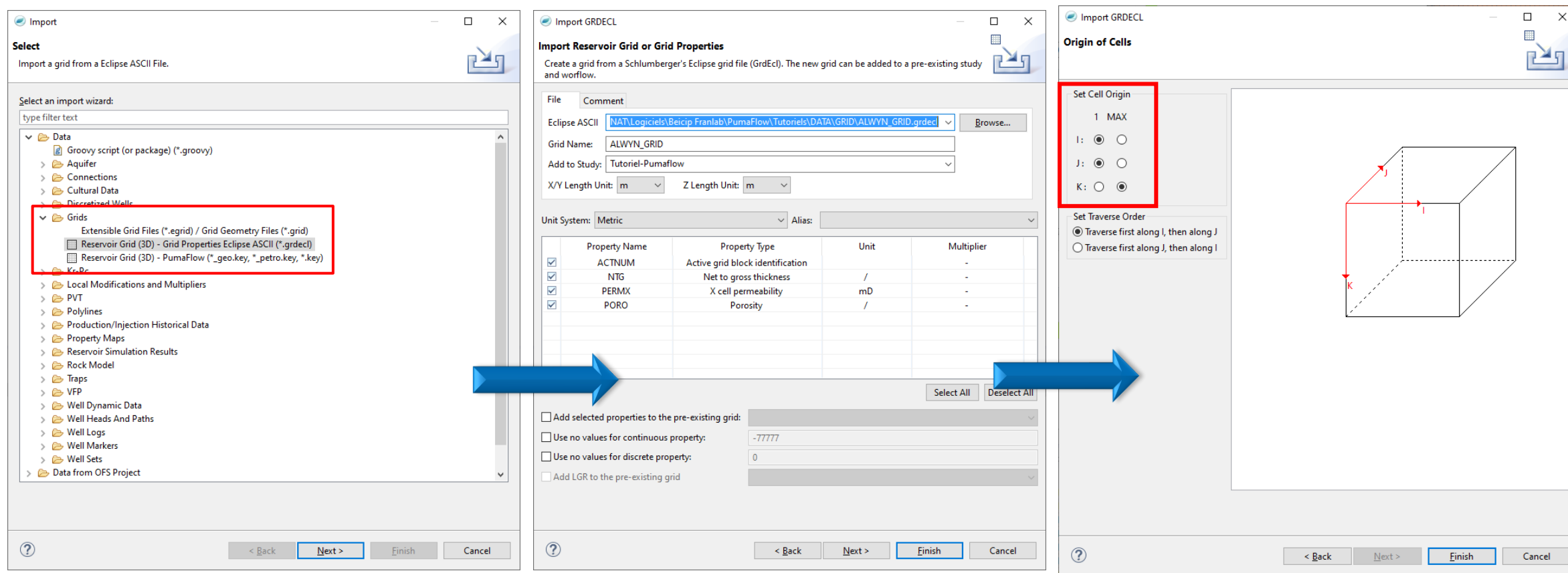
Le premier volume connecté rencontré par un balayage partant du haut du modèle

Volume 29, code 28 (dans Petrel©)

25	Volume 26				
26	Volume 27				
27	Volume 28				
28	Volume 29				
29	Volume 30				

4

Une fois les grilles exportées, la deuxième étape du travail consiste à les importer dans Pumaflow™. Cet import se fait de la manière suivante: (1) « cliquer droit » dans l'onglet « Study Explorer » puis « import » puis ouvrir le dossier « Grids »; (2) sélectionner le type de fichier (ici Reservoir Grid (3D) – Grid Properties ASCII (*.GRDECL)) puis sélectionner la grille à importer puis cliquer sur « next »; (3) nommer la grille (Grid name) puis l'ajouter à la bonne étude (Add to study) puis définir le système d'unité, les types de propriétés ainsi que leurs unités respectives; et (4) choisir l'origine de la grille (Origin of Cells) puis cliquer sur « Finish ». Pour rappel, le système défini dans Petrel© au moment de l'export des grilles est le suivant : I=0, J=0, K. L'équivalent du 0 dans Pumaflow™ est 1, et le K correspond au max. Le système à choisir est donc le suivant: I=1, J=1, K=max. Concernant la partie « Set Traverse Order », on choisit le même paramétrage que définit pour Petrel© à savoir « Traverse first along I, then along J ».

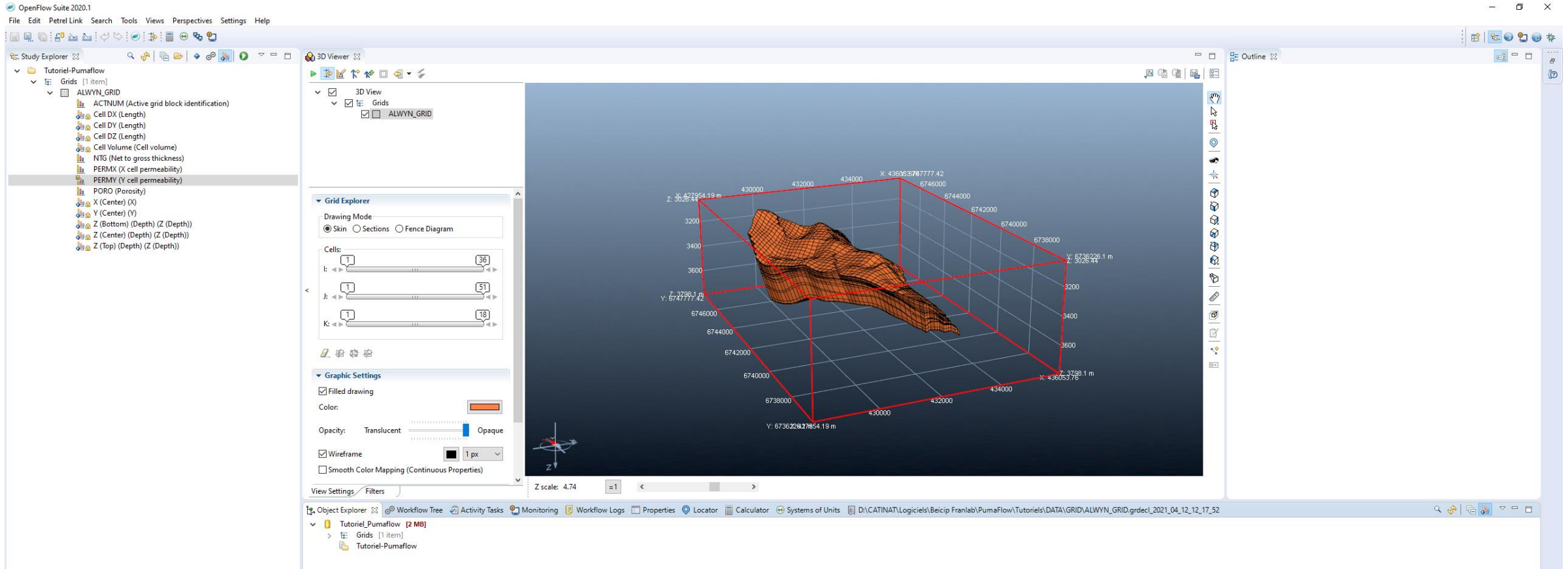


!

NB : A l'étape « Import GRDECL », il est possible d'exclure certaines cellules du maillage en ne leur assignant aucune « valeur ». Ces cellules dans Petrel© sont souvent assignées d'une valeur -999.25. Pour ce faire, il suffit de cocher les deux options « Use no values for continuous property » et « Use no values for discrete property » et de rentrer la valeur -999.25. Ces valeurs ne seront donc « pas prises en compte » au moment de la lecture de la grille dans Pumaflow™.

Chaque grille importée contient des propriétés qui lui sont propres.

Pour visualiser la grille en 3D, il suffit de faire « clique-droit » sur cette dernière et sélectionne l'outil « 3D viewer » dans la section « Open with ».



NB : Pour rappel, la propriété ACTNUM correspond à la représentation des cellules qui seront utilisées pour la simulation. Si l'ACTNUM est égal à 1, les cellules sont utilisées, et à l'inverse si l'ACTNUM est égal à 0, les cellules ne sont pas utilisées et sont considérées comme « mortes ».

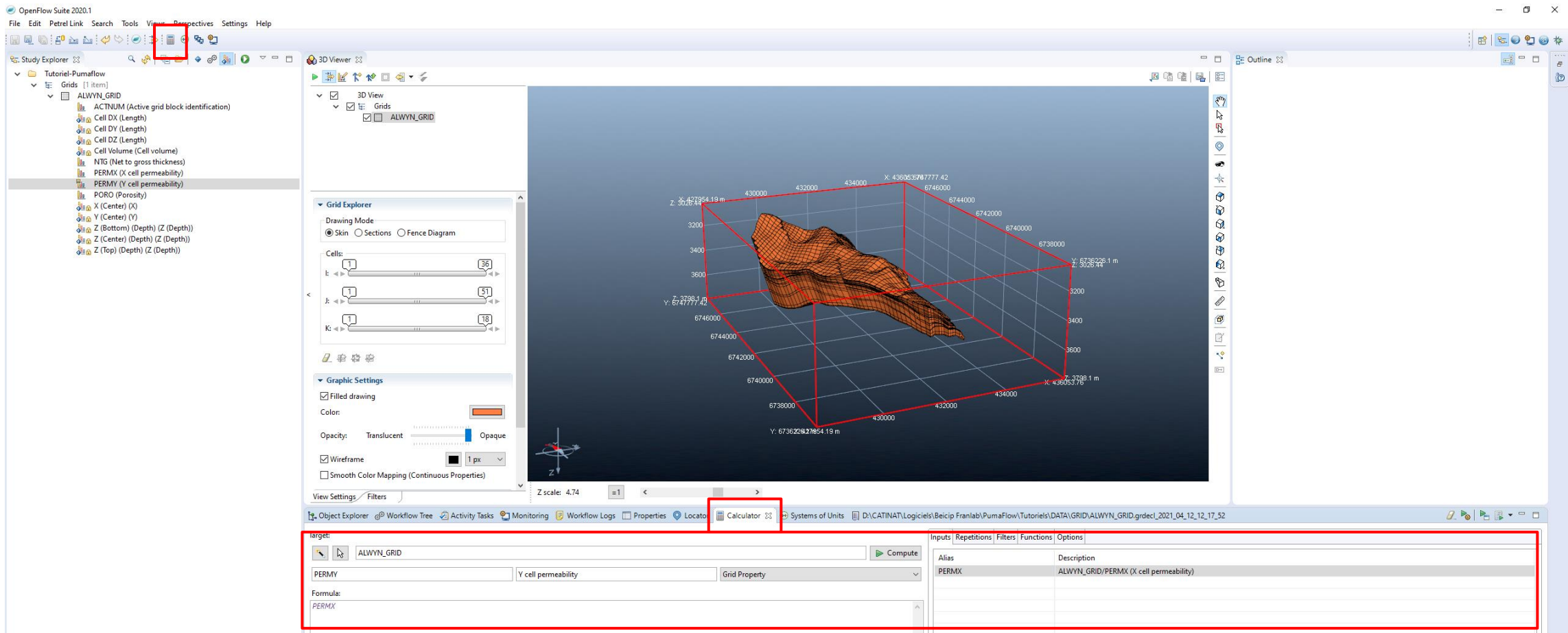
5

Une fois la grille importée, il faut définir des valeurs de perméabilités dans les directions Y et Z. Pour ce faire, on utilise l'outil « Calculator » de Pumaflow™. La procédure est la suivante: (1) on « drop » la grille dans laquelle les opérations vont être effectuées; (2) on nomme la nouvelle propriété à calculer; (3) on définit son type; (4) on « drop » les propriétés de la grille qui sont nécessaires à son calcul dans la section « inputs »; (5) on écrit la formule nécessaire pour calculer la nouvelle propriété; et (6) on clique sur « Compute ».

Dans notre cas, il suffit tout simplement de marquer « PERMX » pour que les perméabilités des cellules en Y et Z aient les mêmes valeurs. Dans l'exemple ci-dessous, la nouvelle propriété « PERMY » est créée et définie comme étant équivalente à PERMX.

La même opération est réalisée pour la perméabilité verticale (PERMZ).

Si des mesures de laboratoires mettent en évidence une anisotropie de perméabilité dans la direction verticale par rapport au plan horizontal, il est possible d'appliquer par exemple un coefficient aux valeurs de perméabilité en Z. Néanmoins, les valeurs de perméabilité décrites dans la littérature pour l'aquifère du Dogger du bassin de Paris ne présentent aucune anisotropie (Delmas et al., 2010, Makhloufi et al., 2013; Thomas et al., 2023). Les valeurs de perméabilité dans les trois dimensions ont donc été considérées comme isotropes dans le cadre de ce travail.



6

Pour que la simulation puisse s'opérer correctement, il est nécessaire de corriger les cellules affectées d'une valeur nulle ou négative. Pour ce faire, on peut également utiliser le « Calculator » en appliquant la formule suivante: « if(PORO<=0, NaN, PORO) ». Chaque cellule affectée d'une valeur négative ou égale à 0 ne sera donc pas prise en compte pour l'écoulement de fluide lors des simulations dynamiques car transformée en NaN (Not a Number) qui sont en quelques sorte des valeurs « vides ». On peut effectuer ces corrections pour toutes les propriétés pétrophysiques sur Pumaflow™ ou alors les corriger en amont dans Petrel©.

The screenshot displays the OpenFlow Suite 2020.1 interface. The main 3D View shows a geological model with various layers labeled on the right: Upper Offshore, Oolitic Shoal, Micritic Lagoon, Granular Lagoon, and Shoal Reservoir. The 3D View also shows a grid of cells and wells.

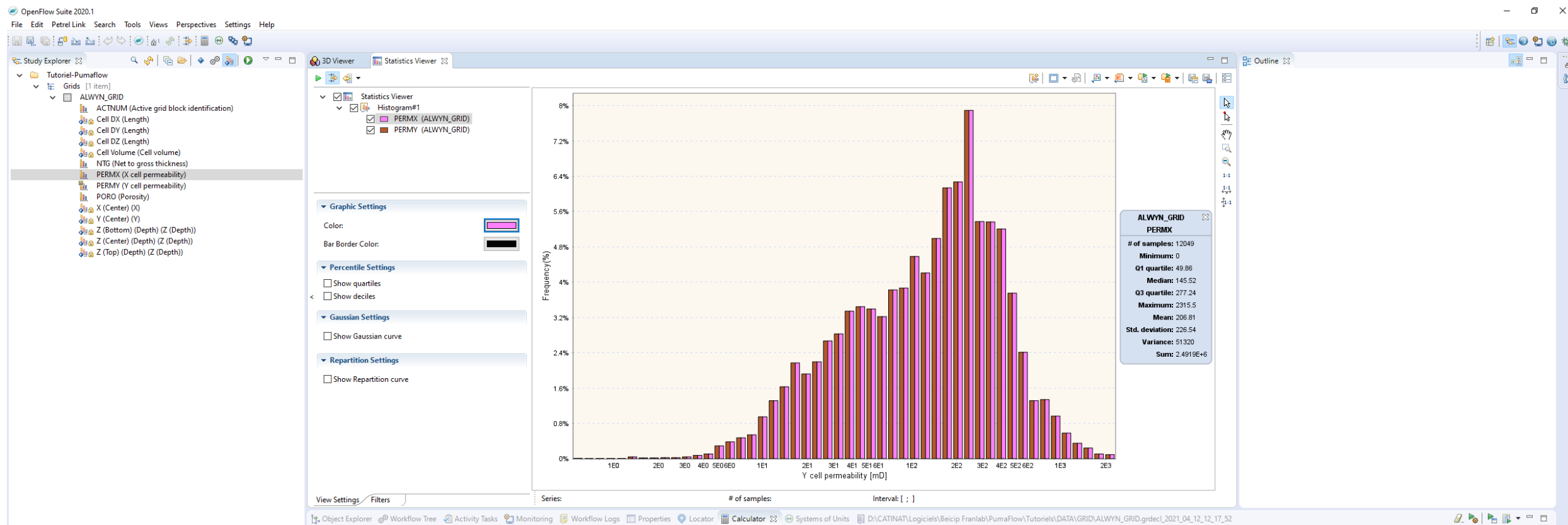
The Calculator tool is open at the bottom, showing the formula: `if(PORO<=0, NaN, PORO)`. The formula is entered in the Formula field, and the result is displayed as NaN.

The Calculator tool also shows the following table:

Alias	Description
PERMX	Cachan_grid/PERMX (X cell permeability)
PORO	Cachan_grid/PORO (Porosity)

7

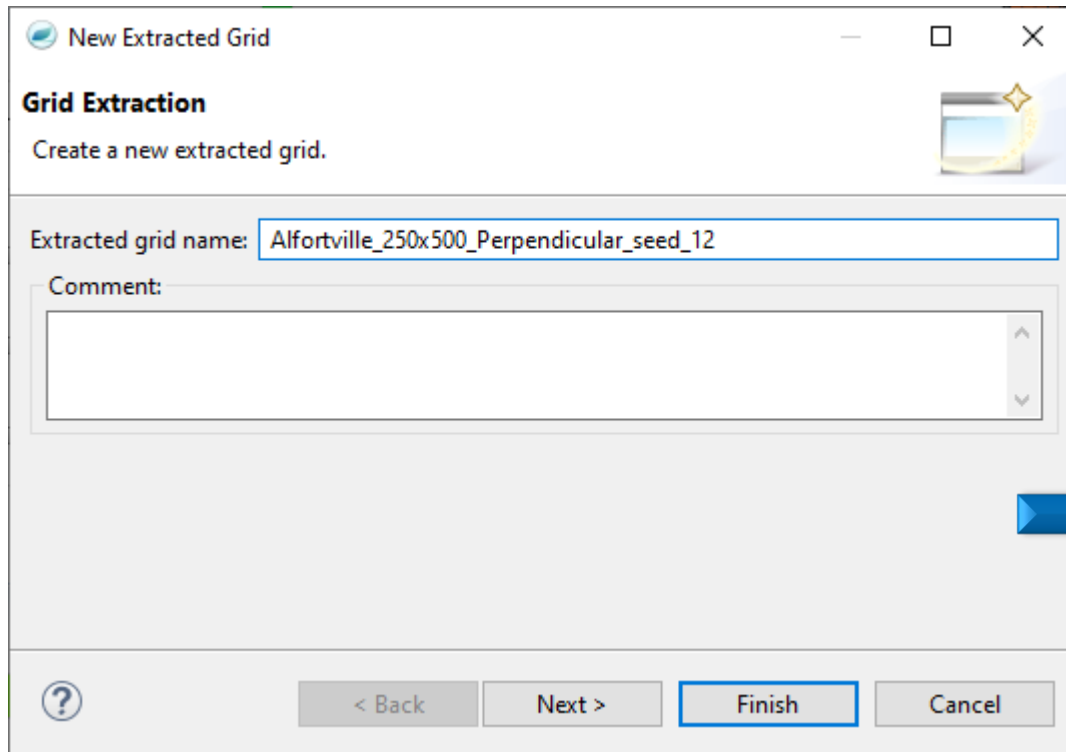
Pour s'assurer de la fiabilité des opérations effectuées, on peut ensuite visualiser statistiquement les données avec l'outil « Statistic Viewer ». Cet outil peut également être utilisé pour contrôler les propriétés de la grille importées pour vérifier par exemple leurs plages de valeurs ou leurs unités.



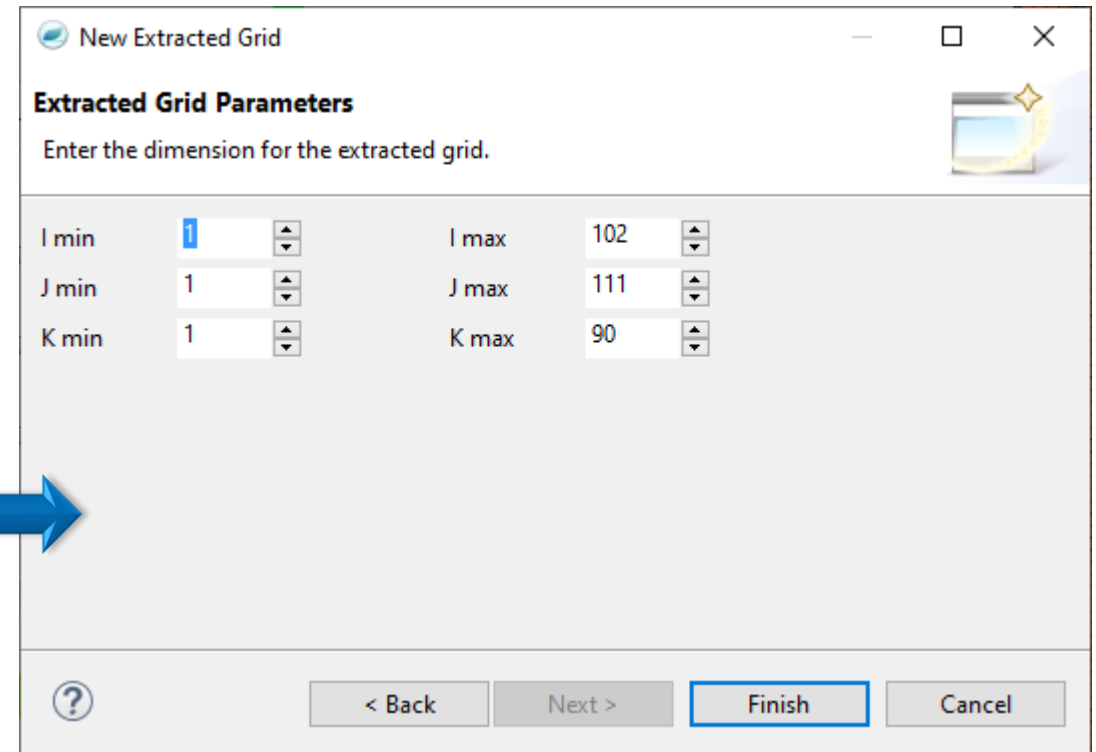
8

Une fois toutes les opérations et vérifications réalisées, il est possible d'extraire une partie de la grille sur laquelle on souhaite faire les simulations. En effet, dans notre cas, la grille 3D construite sur Petrel© intégrait tout le domaine d'étude. Il était alors nécessaire d'en extraire une partie correspondant au périmètre de simulation. Pour ce faire il suffit simplement de faire « clique-droit » sur la grille puis de cliquer sur « New » puis « Extracted Grid ». On peut ensuite définir le dimensionnement souhaité en définissant les valeurs minimum et maximum en I, J et K. Dans notre cas, les valeurs étaient les suivantes (zone d'Alfortville):

- I= 118:219
- J= 225:335
- K= 11:100 (= sans la couverture callovienne)



The screenshot shows the 'New Extracted Grid' dialog box in the 'Grid Extraction' step. The title bar reads 'New Extracted Grid'. Below the title, the text 'Grid Extraction' is displayed, followed by the instruction 'Create a new extracted grid.' To the right of this text is a small icon of a document with a star. The main area contains a text field for 'Extracted grid name:' with the value 'Alfortville_250x500_Perpendicular_seed_12'. Below this is a 'Comment:' label followed by a large, empty text area. At the bottom of the dialog, there are four buttons: a help button (question mark icon), '< Back', 'Next >', and 'Finish' (which is highlighted with a blue border). A large blue arrow points from this dialog to the next one.



The screenshot shows the 'New Extracted Grid' dialog box in the 'Extracted Grid Parameters' step. The title bar reads 'New Extracted Grid'. Below the title, the text 'Extracted Grid Parameters' is displayed, followed by the instruction 'Enter the dimension for the extracted grid.' To the right of this text is a small icon of a document with a star. The main area contains six spinners arranged in two columns. The left column has 'I min' (value 1), 'J min' (value 1), and 'K min' (value 1). The right column has 'I max' (value 102), 'J max' (value 111), and 'K max' (value 90). At the bottom of the dialog, there are four buttons: a help button (question mark icon), '< Back', 'Next >', and 'Finish' (which is highlighted with a blue border).

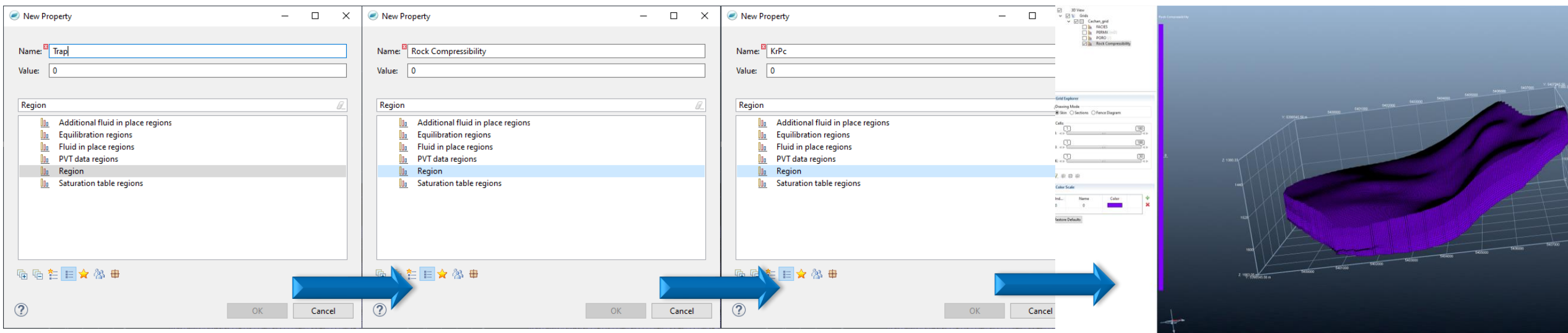
9

Travaillant sur un réservoir géothermique et ne disposant pas de modèles « pétroliers » à importer directement, il a donc fallu les construire manuellement à l'aide de l'interface de Pumaflow™. Avant de les construire, il a d'abord fallu créer de nouvelles propriétés. Pour ce faire, il suffit de faire « clique-droit » sur la grille puis « New » puis « Property ». On peut dès lors définir 3 nouvelles propriétés qu'on appelle de la manière suivante :

- (1) « Rock Compressibility » (value=0, type : région).
- (2) « Trap » (value=0, type : région).
- (3) « Kr-Pc » (value=0, type : région).

Dans Pumaflow™, il est nécessaire d'associer chaque modèle créé individuellement (tel que le modèle « Rock compressibility » par exemple) à des ensembles de cellules dans la grille sélectionnée. Ces ensembles de cellules sont appelées « Régions ». Les 3 propriétés nouvellement créées sont donc définies comme des régions. Elles ne correspondent simplement qu'à des grilles cellulaires affectées d'une « valeur nulle » que l'on peut comparer à des « sacs vides » auxquelles seront associés ultérieurement les différents modèles construits dans le logiciel. Dans notre cas, aucune zone préférentielle n'est à distinguer en fonction des différents modèles, une seule région est donc considérée pour l'ensemble de la grille.

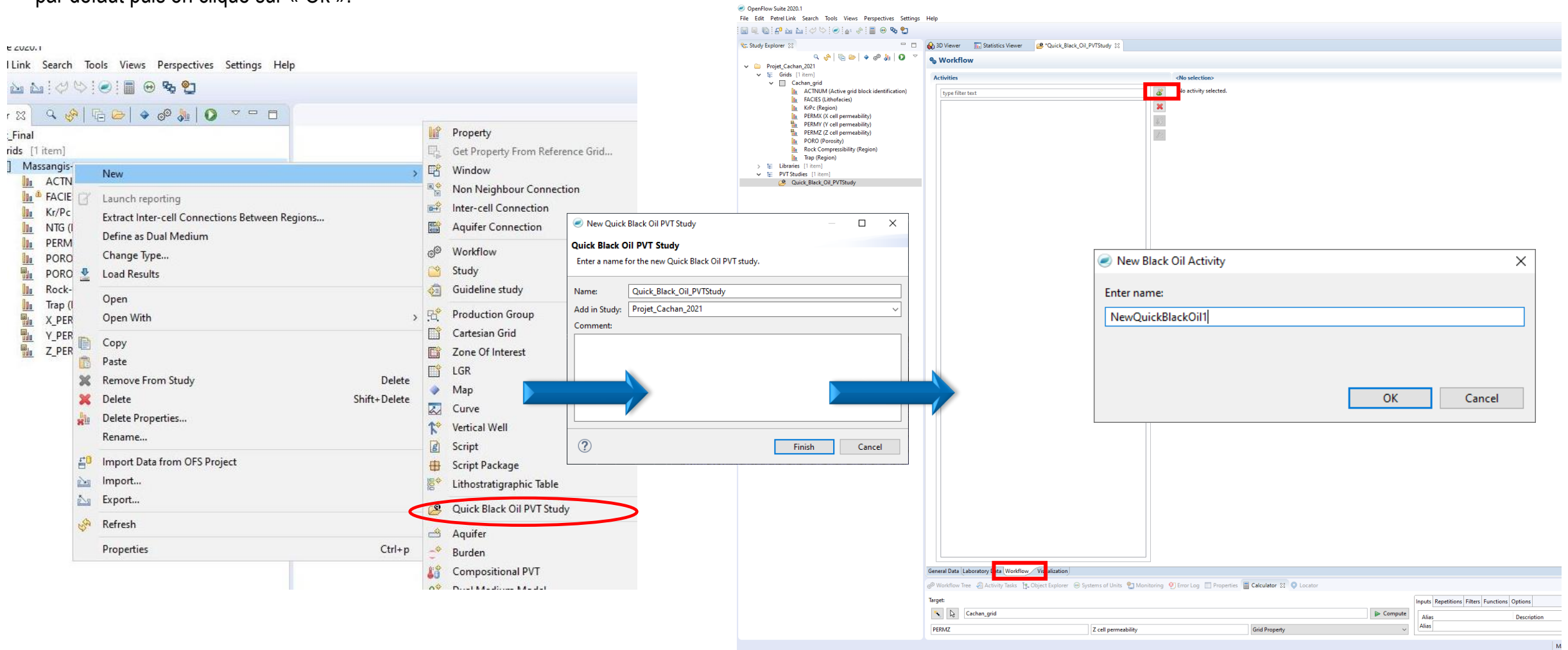
A titre d'exemple, on peut assimiler deux modèles Kr-Pc différents à deux régions différentes dans la grille, ou bien alors associer à une seule région (grille complète) un unique modèle de compressibilité. Ces paramètres peuvent être utiles dans le domaine pétrolier mais n'ont aucun intérêt pour la présente étude.



(A) Création du modèle PVT.

Pour créer le modèle PVT, il suffit de faire « clique-droit » sur la grille puis sélectionner « New » puis « Quick Black Oil model PVT Study » puis « Finish ». Il est possible de renommer avant le modèle si besoin ou bien de laisser le nom par défaut.

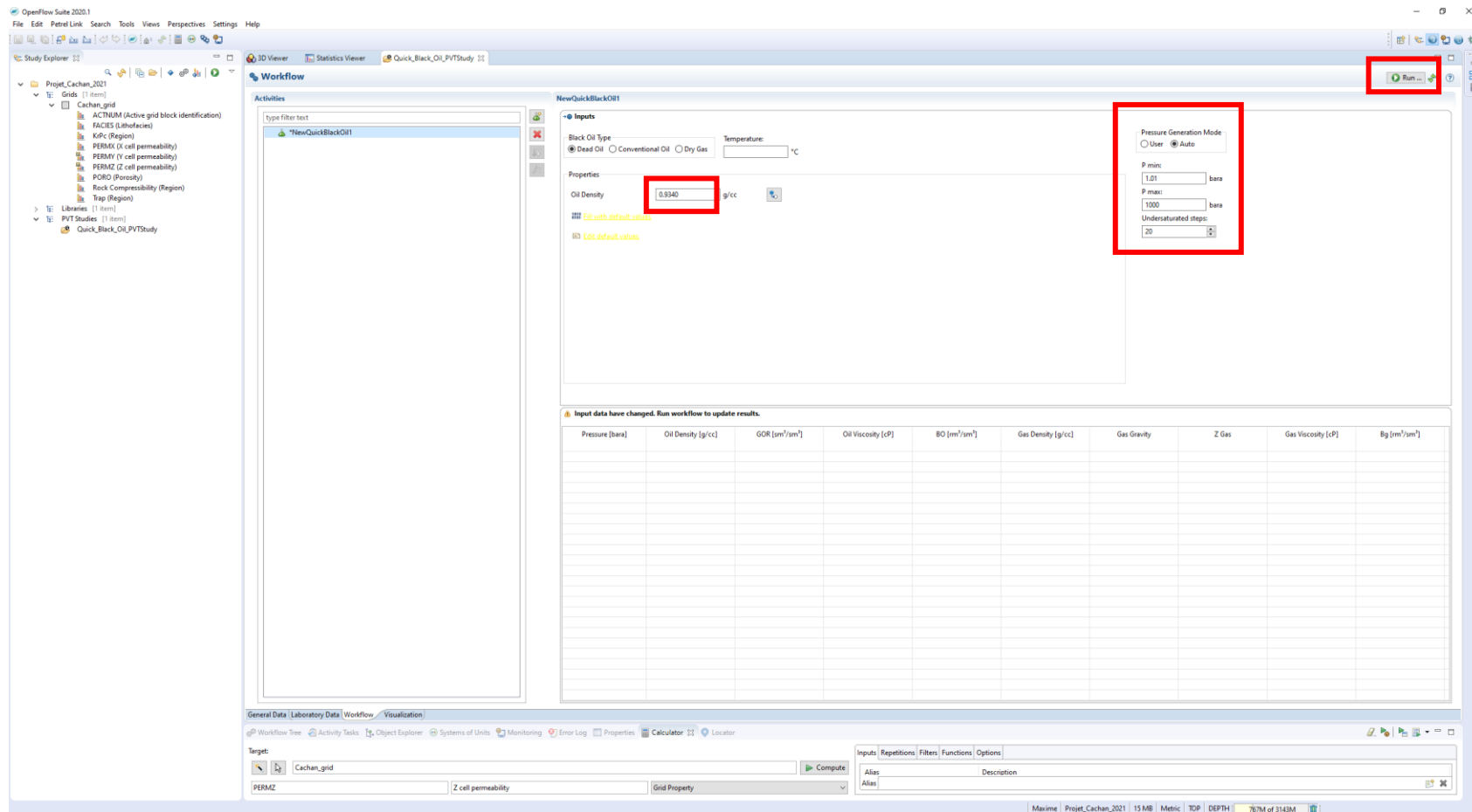
Il faut ensuite enregistrer pour que l'onglet apparaisse dans le « Study Explorer ». On clique ensuite sur « New Black Oil Activity » (bêcher vert) dans l'onglet « Workflow » ouvert par défaut puis on clique sur « Ok ».



Le modèle PVT est indispensable pour effectuer les simulations car le logiciel est calibré pour l'industrie pétrolière (deux phases de fluides sont donc requises au minimum). Dans notre cas, comme nous ne souhaitons faire que des simulations d'écoulement monophasique (c'est-à-dire uniquement composé d'eau dans le cas d'un réservoir géothermique), l'huile sera donc évacuée du modèle (les explications seront fournies ultérieurement dans le tutoriel). Néanmoins, la création d'un modèle PVT caractérisant les propriétés de l'huile est tout de même requis. Pour ce faire, plusieurs paramètres sont nécessaires mais n'auront aucun impact sur les simulations réalisées par la suite.

La démarche est la suivante: (1) cliquer sur dans l'onglet « Workflow » puis sélectionner le type d'huile « Dead Oil » (huile lourde); (2) laisser ensuite la valeur par défaut de 0.9340 g/cc correspondant à la densité de l'huile dans la section « Oil Density » (2 unités différentes sont possibles en cliquant sur le symbole « Switch » g/cc ou API); (3) définissez la température de l'huile comme égal à celle du réservoir géothermique (par exemple celle au toit du Bathonien dans la zone étudiée).

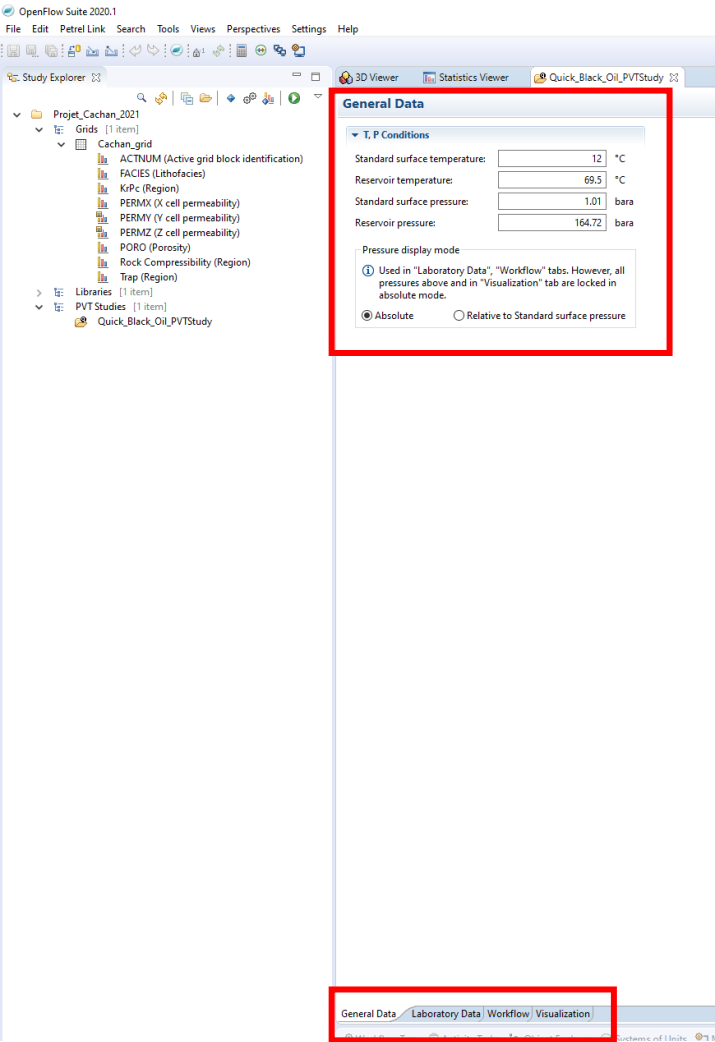
Ensuite, on définit dans le même onglet: (1) une valeur de pression minimale égale 1.01 bars (par défaut); (2) une valeur de pression maximale de 1000 bars (par défaut); et (3) un pas de valeur que l'on peut fixer à 20 par exemple. Ces palettes de valeurs sont normalement utilisées dans le domaine pétrolier pour définir le comportement de l'huile (comme sa viscosité ou sa densité par exemple) en fonction de l'évolution de la pression dans le réservoir. Une fois toutes les valeurs rentrées, on clique sur « Run » et un tableau, avec différentes valeurs qui caractérisent les propriétés de l'huile, est automatiquement généré.



On peut ensuite naviguer dans les 3 autres onglets disponibles « General Data », « Laboratory Data » et « Visualization ».

Dans l'onglet « General Data », rentrez d'abord une température de surface de 12°C ou 15°C (correspondant à celle du Bassin de Paris), puis la température moyenne du réservoir de la zone considérée (ici 69.5°C par exemple), puis définissez une valeur pression de surface à 1.01 bars, et enfin insérer la pression statique moyenne du réservoir (ici 164.72 bars).

Une fois les paramètres rentrés, sauvegarder et fermer la fenêtre.



NB : L'onglet « Visualization » permettrait de visualiser les données sous forme de graphes si nous disposions de données expérimentales, qui seraient elles-mêmes insérées en amont dans l'onglet « Laboratory Data ». Ces onglets n'ont pas été utilisés dans le cadre de cette étude.

Ensuite, pour pouvoir générer le modèle PVT, réouvrez à nouveau le « Quick_Black_Oil_PVTStudy ». Une fois réouverte, les différentes valeurs de densité de l'huile, viscosité... en fonction des différentes pressions échantillonnées avec le pas précédemment fixé sont calculées et visibles dans le tableau de la partie « Results » de l'onglet « Workflow ».

Une nouvelle icône est désormais accessible, cliquez sur cette dernière nommée « Generate PVT Model » (cf. thermomètres rouges et bleus).

Il est ensuite possible de nommer le modèle PVT et d'y intégrer une moyenne de la salinité de fluide géothermal (ici 16.7 g/L). L'unité étant en kg/kg, une conversion doit être opérée car les salinités sont généralement exprimées en g/L (l'opération peut être effectuée en considérant que 1 kg = 1 L). Le « Correlated Mode » ou « Tabulated Mode » sélectionné peut être modifié ultérieurement. Une fois la salinité définit, cliquez sur « Finish » puis enregistrer, et un autre onglet « PVT » apparaît automatiquement dans le « Study Explorer ».

Generate PVT Model

Black Oil

PVT will be generated using pressure vector previously defined in the activity. Select the water properties only.

PVT Name:

NewQuickBlackOil1

Water Computation:

☒ Correlated Mode ☐ Tabulated Mode

Salinity

0.0167 kg/kg

?

< Back

Next >

Finish

Cancel

OpenFlow Suite 2020.1

File Edit Petrel Link Search Tools Views Perspectives Settings

Study Explorer

Projet_Cachan_2021

Grids [1 item]

Cachan_grid

ACTNUM (Active grid block identification)

FACIES (Lithofacies)

KrPc (Region)

PERMX (X cell permeability)

PERMY (Y cell permeability)

PERMZ (Z cell permeability)

PORO (Porosity)

Rock Compressibility (Region)

Trap (Region)

Libraries [1 item]

PVT [1 item]

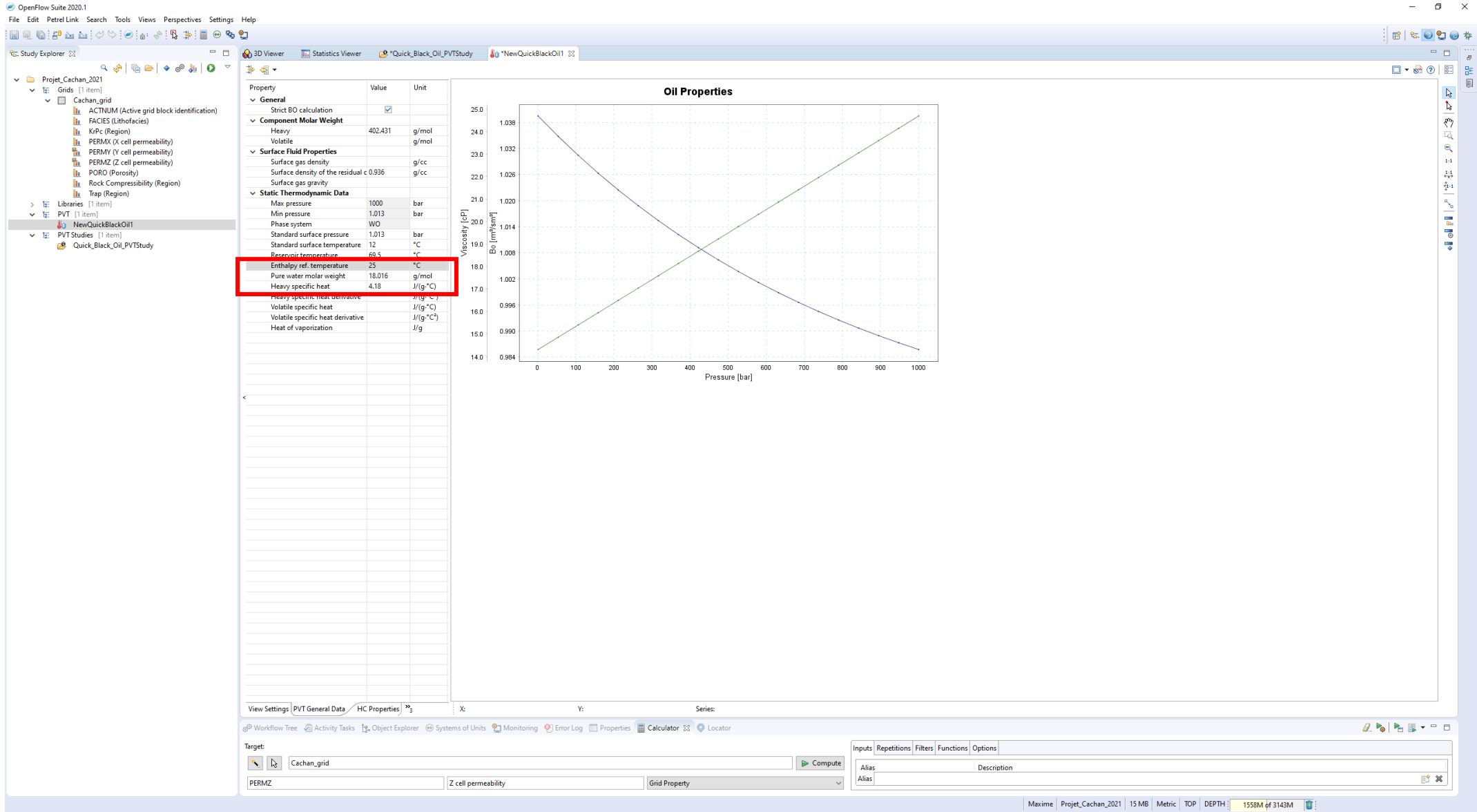
NewQuickBlackOil1

PVT Studies [1 item]

Quick_Black_Oil_PVTStudy

Ouvrez ensuite le nouveau modèle PVT créé. Une fenêtre apparaît et est composée de 6 onglets différents : « View Settings », « PVT General Data » et « HC Properties » et 3 autres non visibles (petite flèche) « Water properties », « Asphaltene » et « Correlated Density ». Le « PVT General Data » est ouvert par défaut.

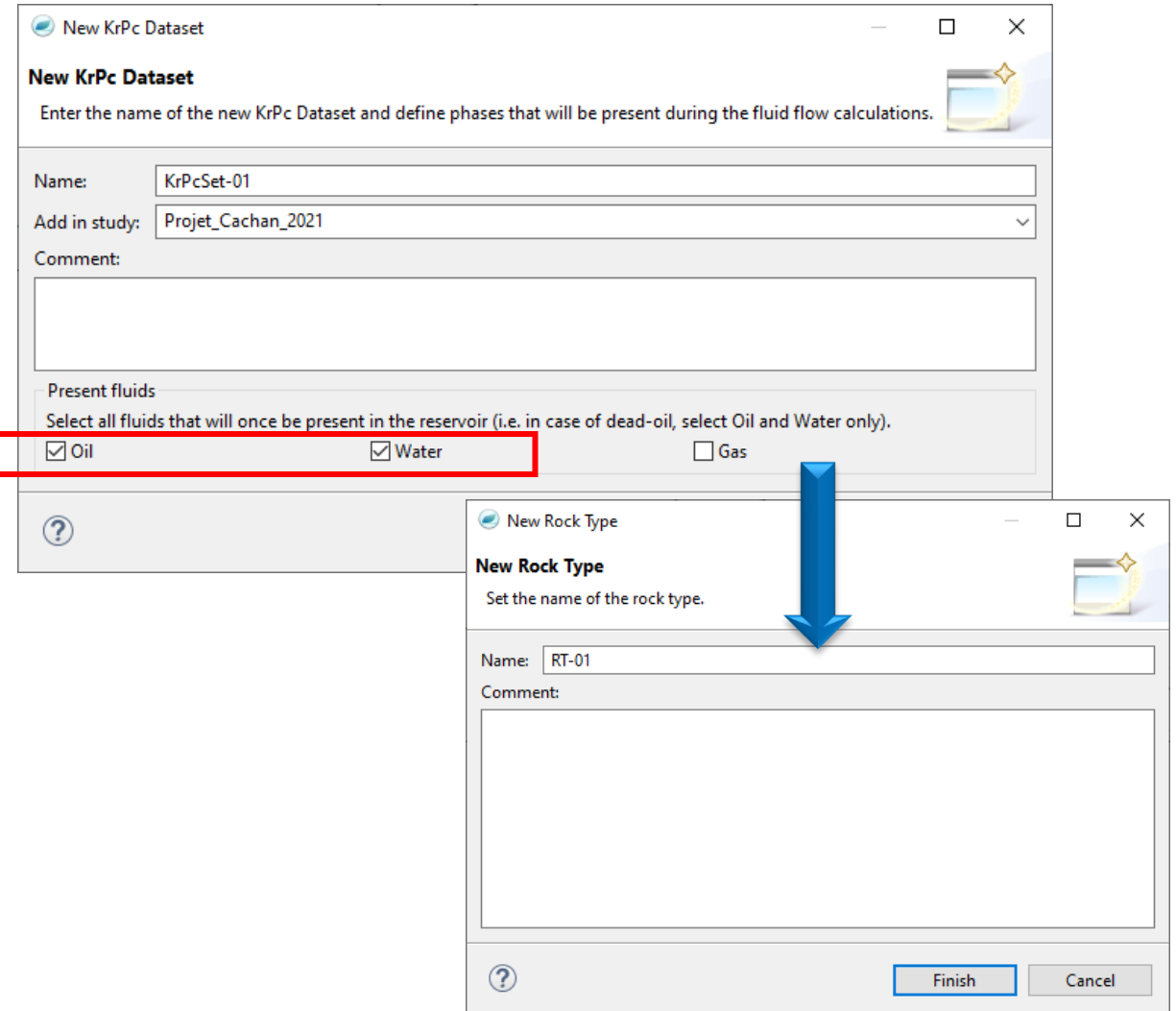
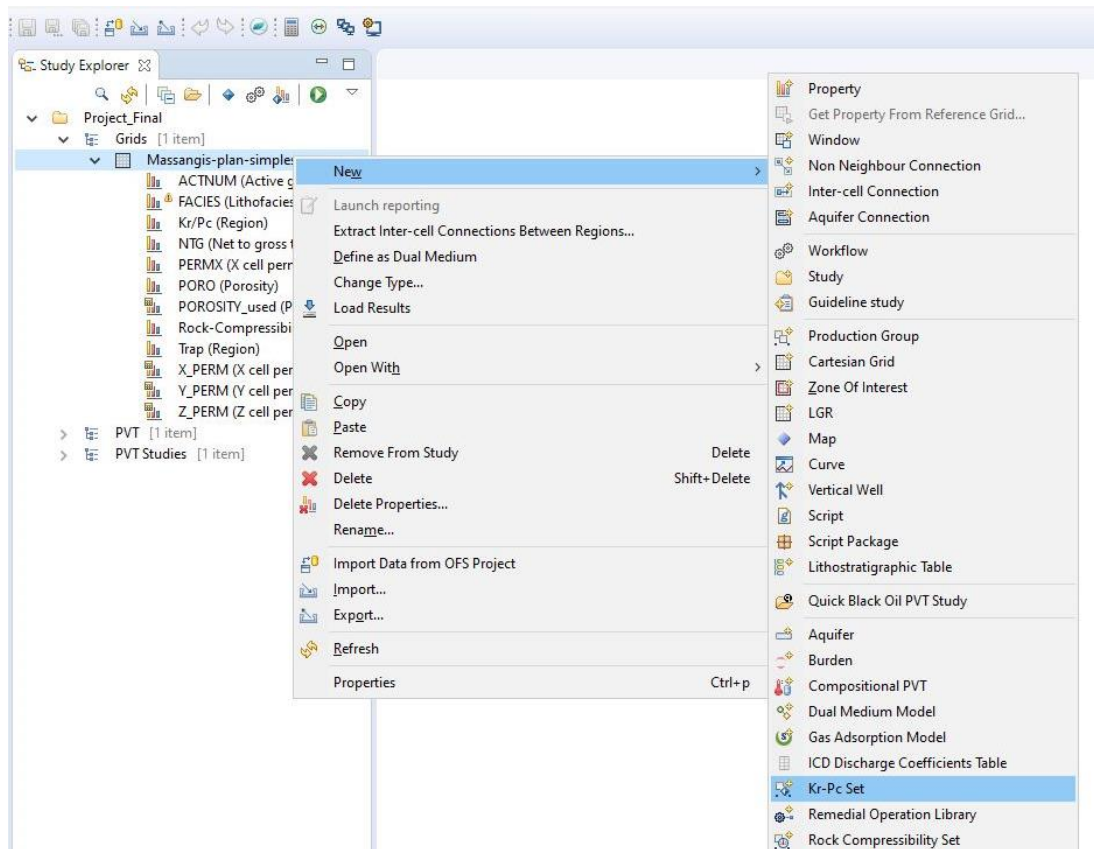
Dans cet onglet, il est possible de définir les propriétés de l'huile (sans ces propriétés, la simulation ne pourra pas fonctionner). Comme l'huile sera évacuée du modèle ultérieurement, ces paramètres peuvent être fixés de la manière suivante: (1) définissez une valeur d'« Enthalpy ref. temperature » égale à 25 °C; et (2) une valeur de « Heavy specific heat » égal à 4.18 J/(g.°C) (égale à 25 °C pour l'eau). Laissez ensuite tous les autres paramètres par défaut.



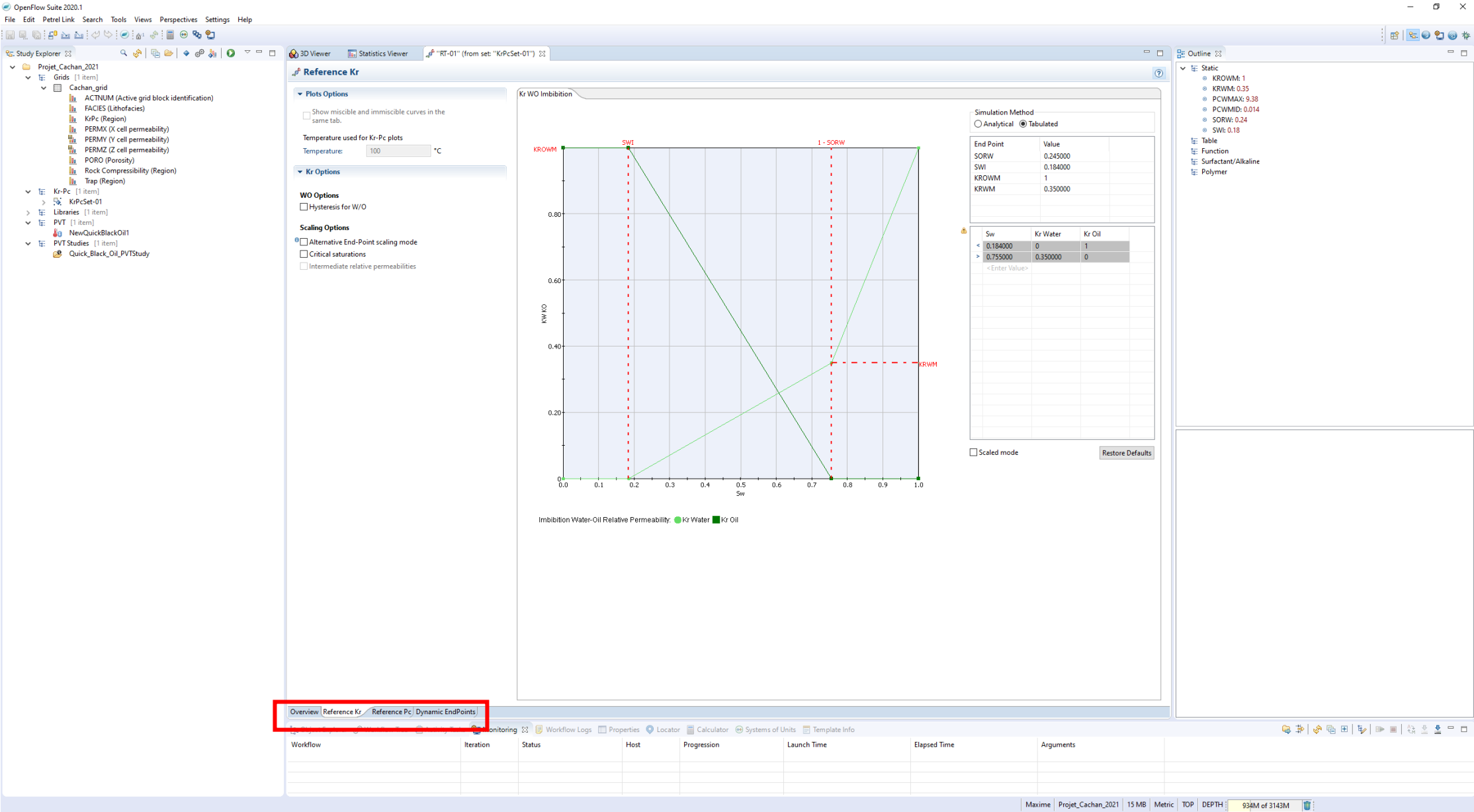
On pourrait éventuellement choisir le mode « Tabulated » si l'on disposait de véritables données expérimentales pour définir les propriétés (viscosité, densité) de l'eau comme étant fonction de tables de pressions et de températures. N'ayant aucune données dans notre cas, sélectionnez le « Correlated Mode » qui postule que la salinité de l'eau est constante. Les onglets « Asphaltène » et « Correlated Density » n'ont pas à être utilisés.

(B) Création du modèle Kr-Pc.

Pour construire le modèle Kr-Pc, faites un « Clique-droit » sur la grille puis sélectionner « New » puis « New Kr-Pc Set ». Il s'agit ici de créer un modèle caractérisant la miscibilité réciproque des fluides contenus dans le réservoir, c'est-à-dire définir par exemple le comportement de l'eau par rapport à l'huile. Les simulations étant calibrée en diphasique, cochez uniquement la case « Water » et la case « Oil ». Ouvrez ensuite l'onglet nouvellement créé, puis faites « clique-droit » sur le « KrPcset-01 » généré, puis « New » puis « Rock Type » et « Finish ».



Une nouvelle fenêtre s’ouvre automatiquement présentant 4 onglets différents : « Overview », « Reference Kr », « Reference Pc » et « Dynamic EndPoints ». Laissez toutes les valeurs par défaut suggérées dans chaque onglet puis enregistrer.



(C) Création du modèle « Rock compressibility ».

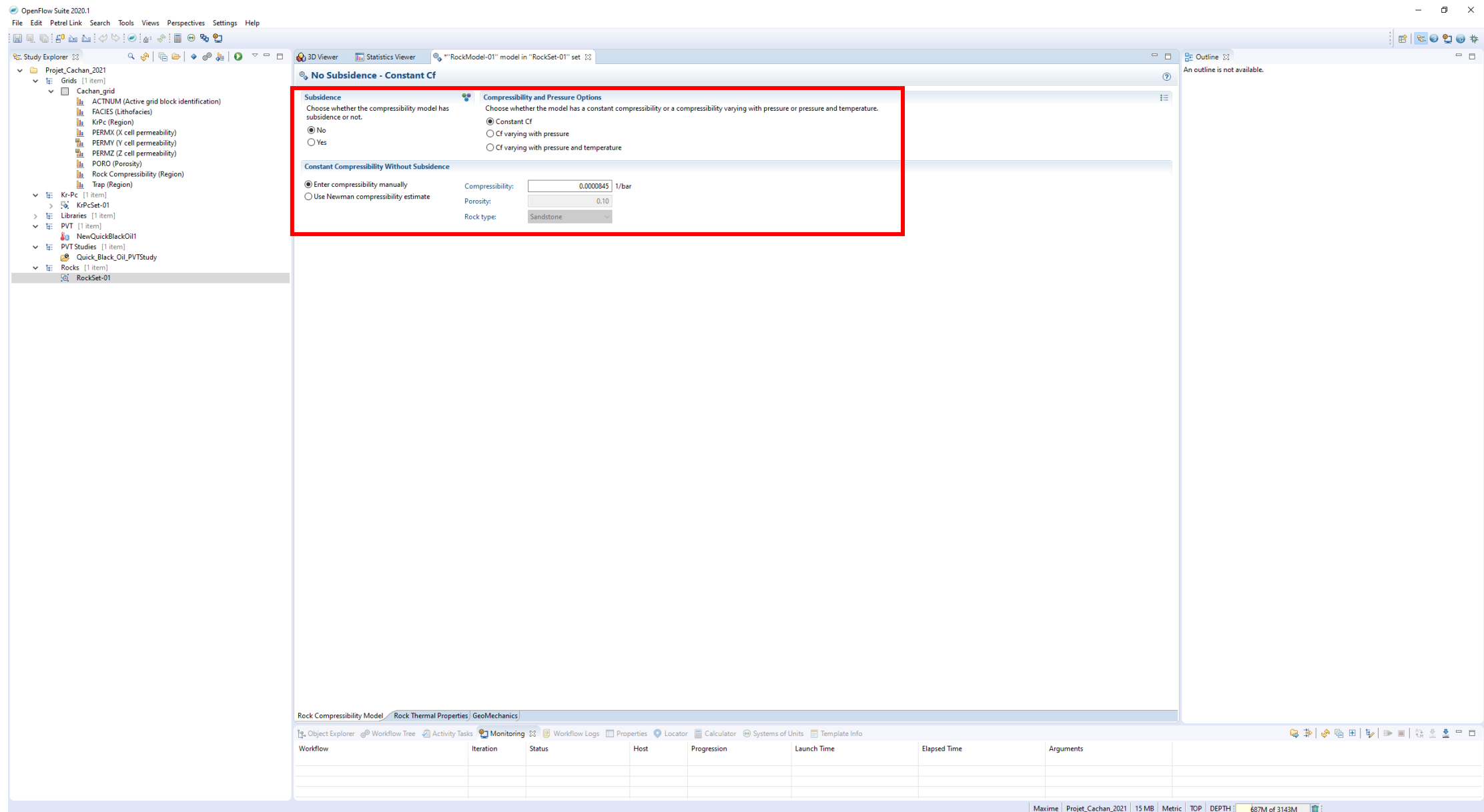
Pour créer le modèle « Rock compressibility », faites un « Clique-droit » sur la grille puis « New » puis « Rock Compressibility Set » puis cliquez sur « Finish ». Il est possible de créer plusieurs modèles de compressibilité dans un même « Set ». Ensuite, faites « Clique-droit » sur le « RockSet » généré puis « New » puis « Rock Compressibility Model » puis « Finish ».

The image illustrates the process of creating a Rock Compressibility Model in two steps, shown in two screenshots separated by a blue arrow.

Left Screenshot: The 'Study Explorer' shows a project named 'Project_Final' with a grid named 'Massangis-plan-sim'. A right-click context menu is open, and the 'New' option is selected. In the 'New' submenu, 'Rock Compressibility Set' is highlighted with a red circle. Below the menu, the 'New Rock Compressibility Set' dialog box is visible, showing the 'Name' field set to 'RockSet-01' and the 'Add in study' dropdown set to 'Projet_Cachan_2021'. The 'Finish' button is highlighted.

Right Screenshot: The 'Study Explorer' shows the same project, but now a 'RockSet' named 'RockCompress-simp' has been created under the 'Rocks' folder. A right-click context menu is open for this 'RockSet', and the 'New' option is selected. In the 'New' submenu, 'Rock Compressibility Model' is highlighted with a red circle. Below the menu, the 'New Rock Compressibility Model' dialog box is visible, showing the 'Name' field set to 'RockModel-01'. The 'Finish' button is highlighted.

Une nouvelle fenêtre apparaît alors composée de 3 onglets différents : « Rock Compressibility Model », « Rock Thermal Properties » et « GeoMechanics ». Dans l'onglet « Rock Compressibility Model », sélectionnez « No » dans la section « Subsidence » puis « Constant Cf » dans la section « Compressibility and Pressure Options » car les simulations sont réalisées sur de courtes durées. Rentrez par la suite une valeur de compressibilité moyenne (ici égale à $8.45 \times 10^{-5} \text{ bar}^{-1}$) définie comme une constante.



Dans l'onglet « Rock Thermal Properties », laisser par défaut les valeurs dans la section « Rock Volume Heat Capacity » et celle « Thermal Conductivity ».

L'onglet « Geomechanics » n'a pas besoin d'être utilisé.

OpenFlow Suite 2020.1

File Edit Petrel Link Search Tools Views Perspectives Settings Help

Study Explorer

Projct_Cachan_2021

Grids [1 item]

Cachan_grid

ACTNUM (Active grid block identification)

FACIES (Lithofacies)

KrPc (Region)

PERMX (X cell permeability)

PERMY (Y cell permeability)

PERMZ (Z cell permeability)

PORO (Porosity)

Rock Compressibility (Region)

Trap (Region)

Kr-Pc [1 item]

KrPcSet-01

Libraries [1 item]

PVT [1 item]

NewQuickBlackOil1

PVT Studies [1 item]

Quick_Black_Oil_PVTStudy

Rocks [1 item]

RockSet-01

3D Viewer

Statistics Viewer

""RockModel-01"" model in ""RockSet-01"" set

Outline

An outline is not available.

Rock Thermal Properties

Rock Volumetric Heat Capacity

Set the parameters for the following formula: "Rock Volumetric Heat Capacity = Roc1 + Roc2 * T" where T is the temperature in the units system

Roc1:

1.31

J/(cm³.K)

Roc2:

0.0029

J/(cm³.K²)

Thermal Conductivity

Set the parameters for the following formula: "Thermal Cond. = Lambda_ref - Alpha * (T - T_ref) * (Lambda_ref - Beta)" where T is the absolute temperature in appropriate units and Beta is a constant equal to 1.42 W/(m.*C)

Lambda_ref:

2.4

W/(m.*C)

Alpha:

0.0023

1/°C

T_ref:

52

°C

Rock Compressibility Model

Rock Thermal Properties

GeoMechanics

Object Explorer

Workflow Tree

Activity Tasks

Monitoring

Workflow Logs

Properties

Locator

Calculator

Systems of Units

Template Info

Workflow

Iteration

Status

Host

Progression

Launch Time

Elapsed Time

Arguments

Maxime

Projct_Cachan_2021

15 MB

Metric

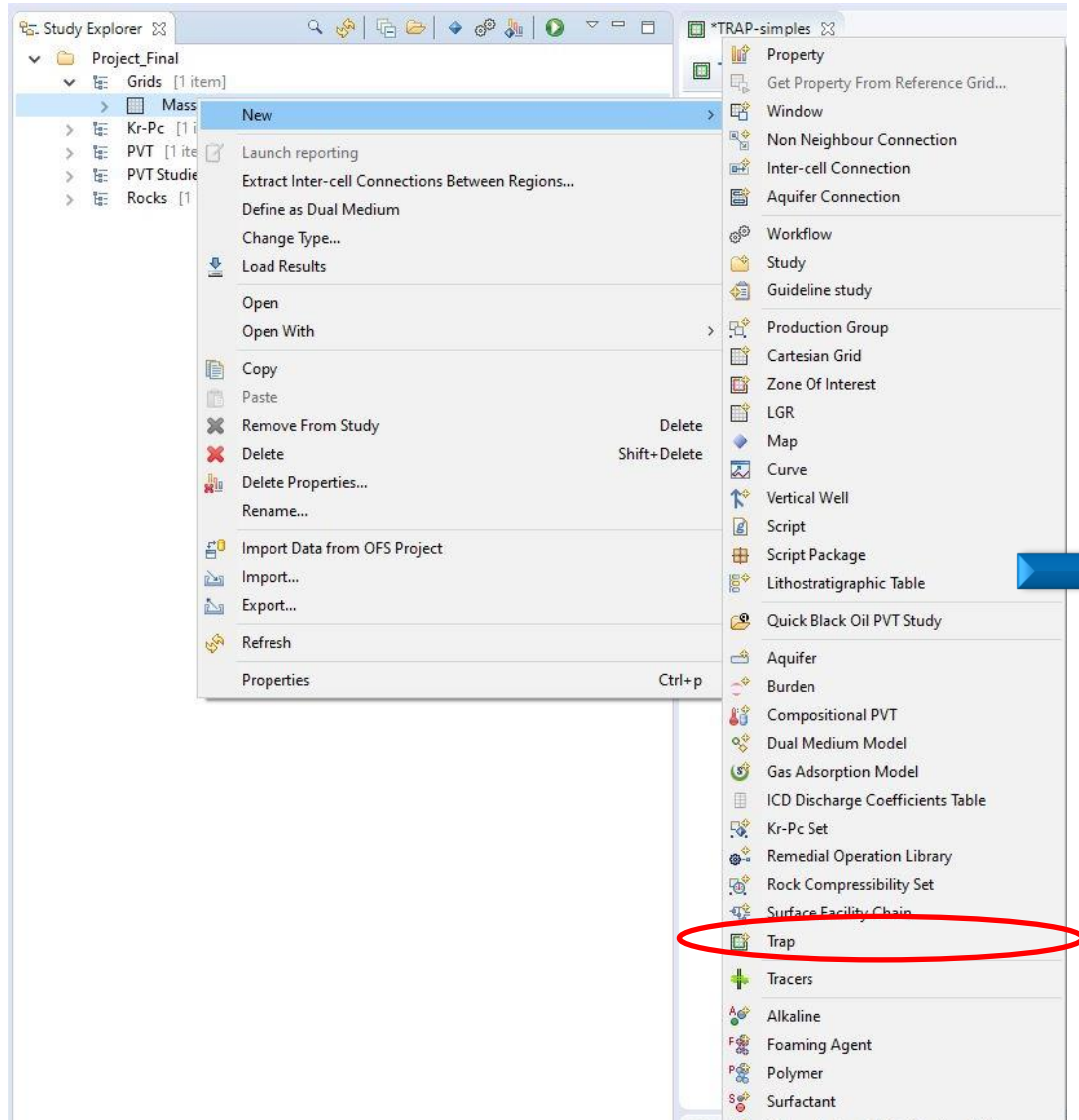
TOP

DEPTH

747M of 3143M

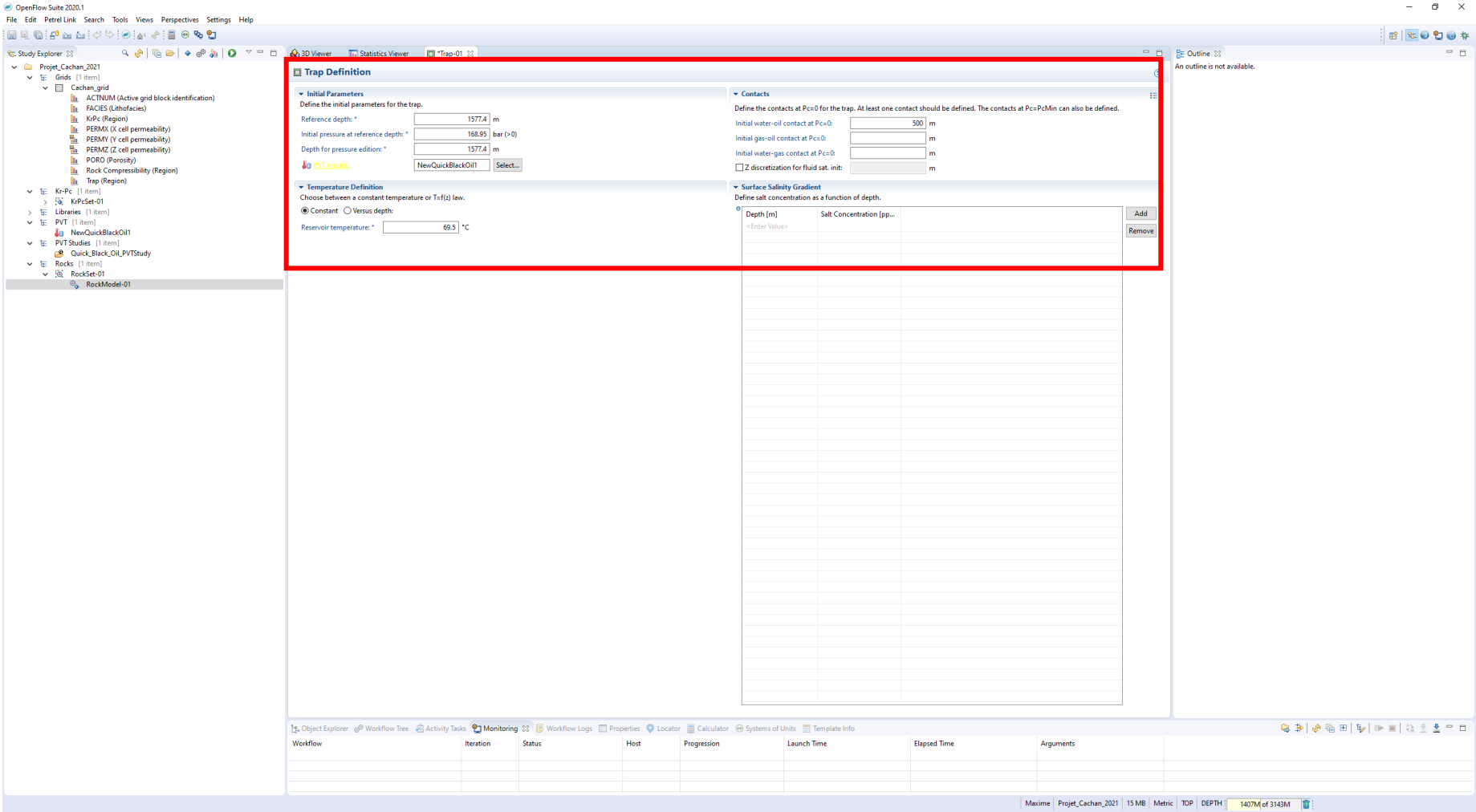
(D) Création du modèle Trap.

Pour construire le modèle « Trap », faites un « Clique-droit » sur la grille puis « New » puis « Trap » et « Finish ».



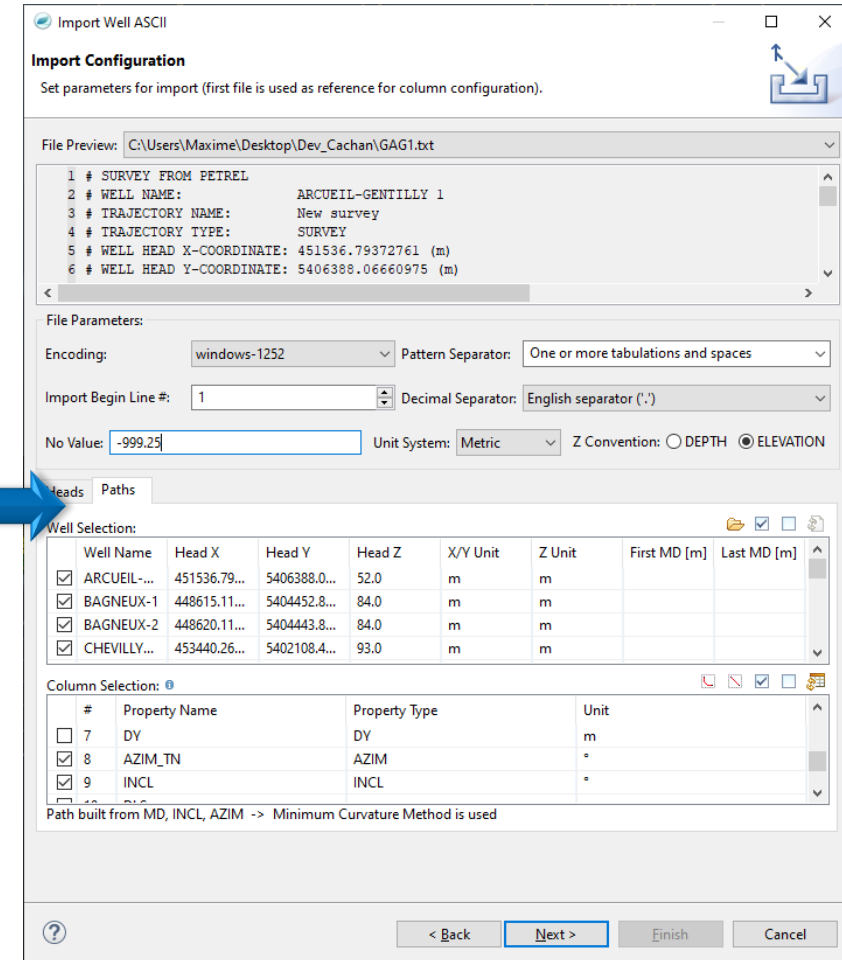
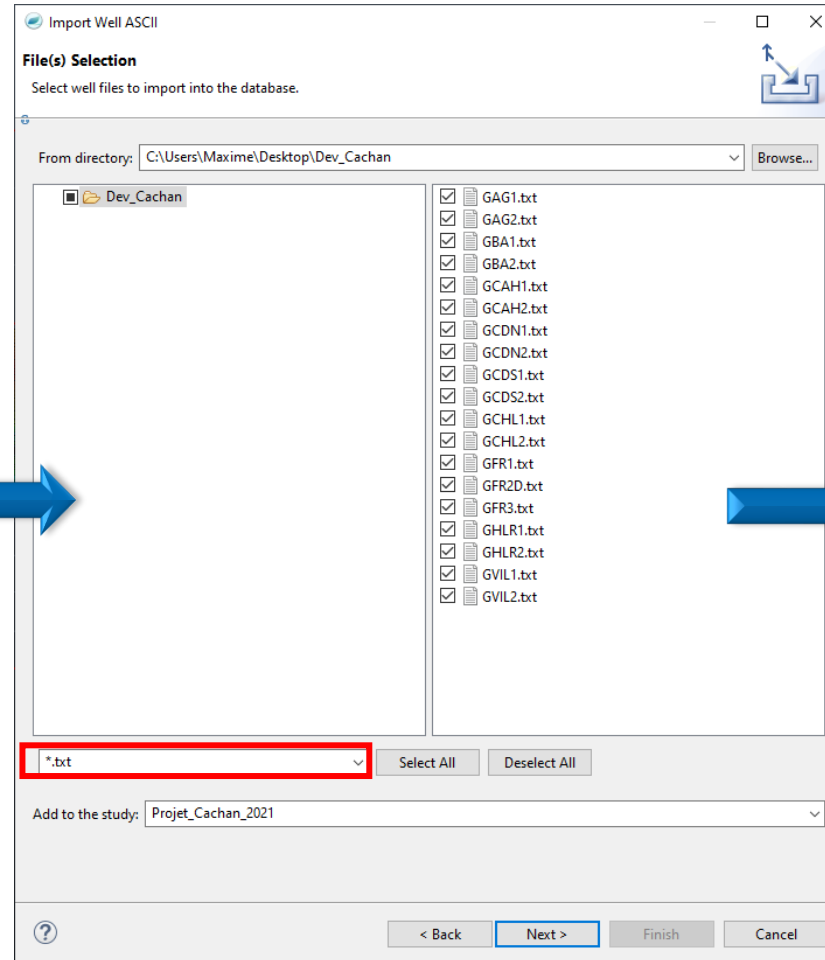
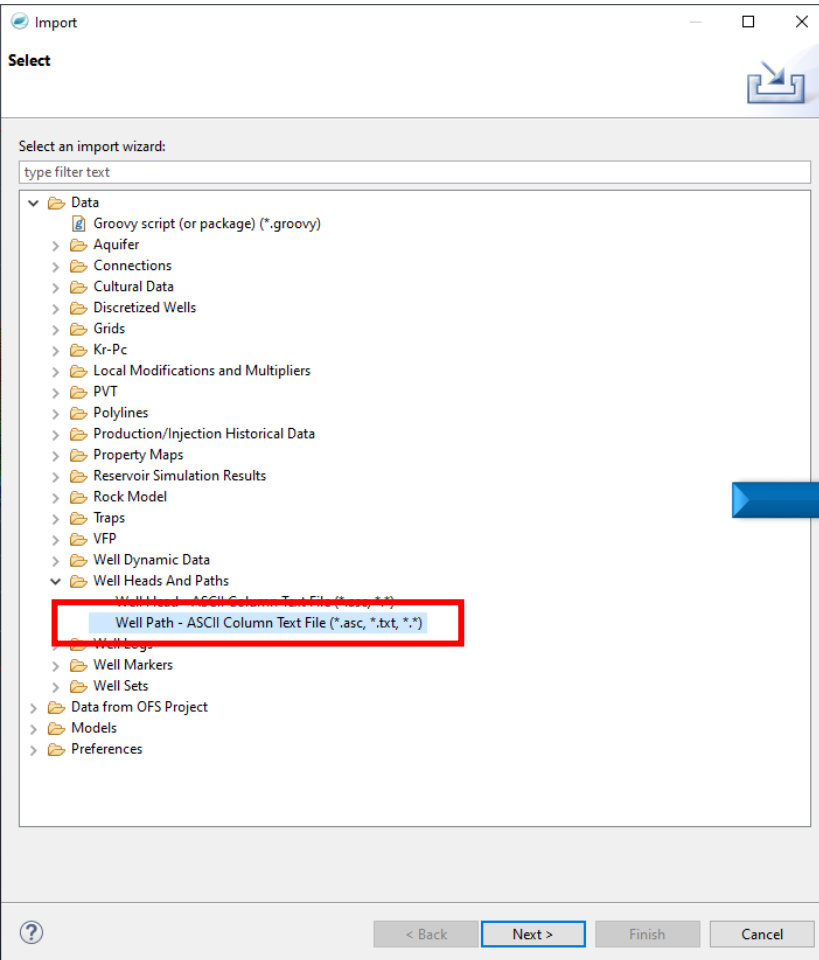
The 'New Trap' dialog box is shown. It has a title bar with a close button. The main text says 'New Trap' and 'Enter a name for the new trap and select (or create) a study.' Below this, there are three input fields: 'Name:' with the value 'Trap-01', 'Add in study:' with the value 'Projet_Cachan_2021', and 'Comment:' with an empty text area. At the bottom right, there are two buttons: 'Finish' and 'Cancel'.

Une fois le modèle créé, une nouvelle fenêtre apparaît automatiquement dans laquelle il faut définir 3 nouveaux paramètres dans la section « Initial Parameters ». La démarche est la suivante: (1) définissez d'abord une profondeur de référence « Reference Depth » (elle est en générale égale à la profondeur moyenne du réservoir); (2) la pression du réservoir à cette profondeur de référence; (3) définissez une profondeur équivalente dans la partie « Depth for pressure edition »; et (4) ajoutez le modèle PVT construit précédemment dans la partie « PVT Model ». Une fois cela réalisé, les autres parties de la fenêtre apparaissent. Dans la section « Contacts », définissez une valeur de profondeur bien supérieure à celle du toit de votre modèle dans la partie « Initial water-oil contact at Pc=0 » de façon à évacuer l'huile lors des calculs numériques. Comme aucune phase gazeuse n'est considérée dans le réservoir, ne remplissez pas les deux autres paramètres (GOC et WGC). Enfin dans la partie « Temperature Definition », définissez une valeur de température constante au sein du réservoir (ici 69.5°C).



11

Une fois tous les modèles construits, il est nécessaire d'importer les trajectoires des puits géothermiques (Well path). Les fichiers de trajectoires sont exportés depuis Petrel© et par la suite convertis manuellement au format .txt. Il n'est pas nécessaire d'importer un fichier de coordonnées car ces dernières sont directement intégrées dans l'entête des fichiers des déviations. Pour importer les trajectoires, la démarche est la suivante: (1) faites un « Clique-droit » sur la grille puis sélectionnez « Import » puis « Well Path - ASCII Column Text File (*.asc, *.txt, *.*) »; (2) recherchez ensuite le dossier contenant les fichiers en cliquant sur « Browse » puis choisissez l'extension « *.txt » pour qu'ils soient reconnus dans Pumaflow™ puis cliquez sur « Next »; et (3) vérifiez enfin les paramètres d'import et cliquez sur « Next » puis « Finish ».



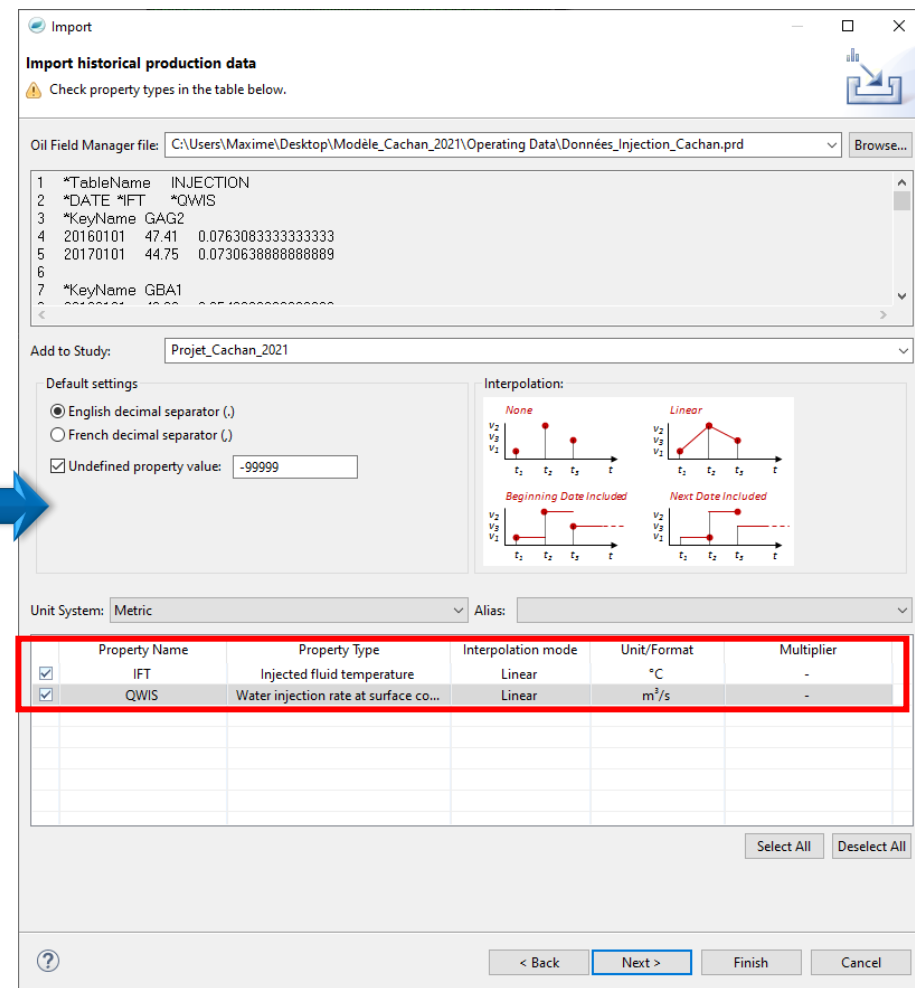
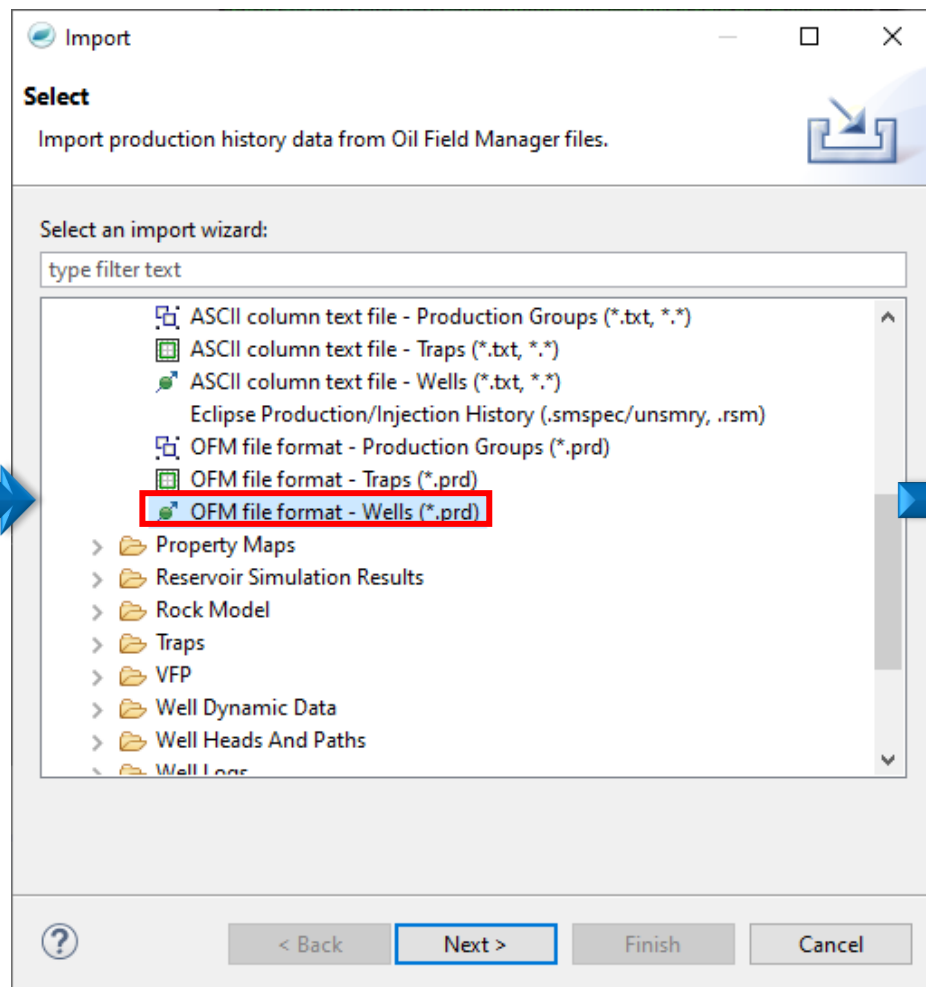
NB : Bien penser à vérifier que le « Local Coordinate System » est coché dans Petrel© au moment de l'export sinon les trajectoires des puits ne seront pas référencés dans Pumaflow™.

12

Une fois les trajectoires des puits importés, il est nécessaire d'importer les fichiers des historiques d'exploitation des puits. Ces fichiers sont créés manuellement avec une mise en forme spécifique à Pumaflow™ (ci-dessous un exemple de fichier) dont les extensions doivent être converties en « .prd ». Une fois les fichiers d'injection et de production créés, faites un « Clique-droit » sur la grille puis cliquez sur « Import », puis sélectionnez le format « OFM file format – Wells (*.prd) » et cliquez sur « Next ». Vous pouvez ensuite définir les types de propriétés importées (ici le débit d'injection et la température du fluide injecté), leurs unités respectives ainsi que le mode d'interpolation avant de cliquer sur « Next » puis « Finish ».

Données_Injection_Cachan.prd - Bloc-notes

Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide
*TableName	INJECTION			
*DATE	*IFT	*QWIS		
*KeyName	GAG2			
20160101	47.41	0.0763083333333333		
20170101	44.75	0.0730638888888889		
*KeyName	GBA1			
20160101	49.66	0.0549888888888889		
20170101	51.43	0.0579222222222222		
*KeyName	GCDN1			
19850101	51.5	0.0263888888888889		
19860101	49	0.0276388888888889		
19870101	49	0.0266666666666667		
19880101	51.5	0.0298611111111111		
19890101	51.5	0.0305555555555556		
19900101	53.67	0.0138833333333333		
19910101	50.52	0.0398888888888889		
19920101	50.37	0.0308333333333333		
19930101	46	0.0283333333333333		
19940101	48	0.0290277777777778		
19950101	46.32	0.0371		
19960101	55.43	0.0335388888888889		
19970101	47.51	0.0333333333333333		
19980101	50.44	0.0354555555555556		
19990101	44.85	0.0330555555555556		
20000101	47.72	0.0357416666666667		
20010101	49.81	0.0349166666666667		
20020101	49.34	0.0368055555555556		
20030101	43.01	0.0343888888888889		
20040101	41	0.0343055555555556		
20050101	45.74	0.0384694444444444		
20060101	45.74	0.0384694444444444		
20070101	45.74	0.0384694444444444		
20080101	45.74	0.0384694444444444		
20090101	45.74	0.0384694444444444		
20100101	50.48	0.0426333333333333		
20110101	54.14	0.0371		
20120101	49.57	0.0410944444444444		
20130101	51.5	0.0415361111111111		
20140101	51.4	0.0420055555555556		
20150101	52.3	0.0410194444444444		
20160101	52.12	0.0414333333333333		
20170101	51.73	0.0413		
20180101	51.73	0.0413		



NB : Les noms ou les abréviations des puits doivent être exactement les mêmes que ceux définis dans les fichiers de trajectoires pour que les données soient importées correctement. Dans le cas contraire, les fichiers dont les noms des puits sont erronés seront importés dans un nouveau puits créé automatiquement.

13

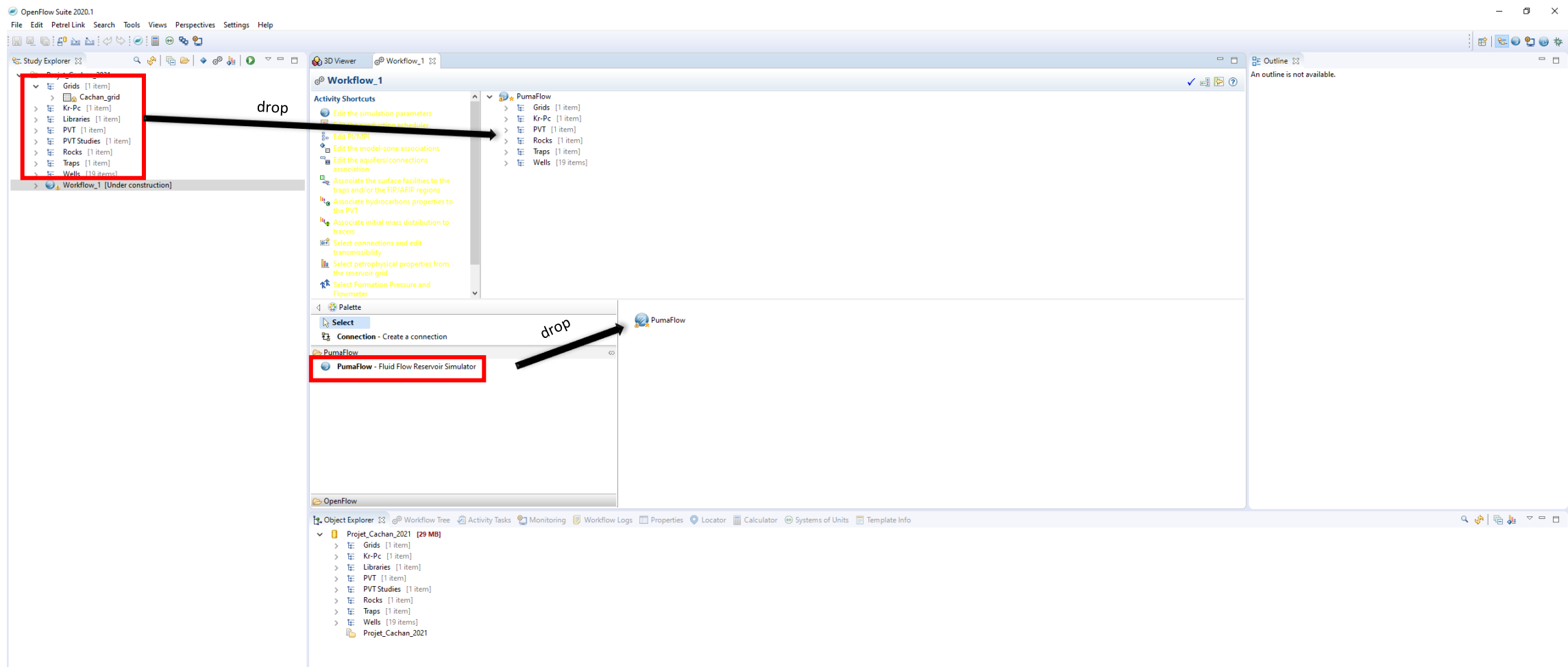
Une fois les données d'exploitation importées pour chaque puits, il est nécessaire de construire un workflow qui constitue l'étape cruciale avant de lancer la simulation. Pour ce faire, faites un « Clique-droit » dans le « Study Explorer » puis cliquez sur « New » puis sur « Workflow ». Vous pouvez ensuite le nommer de la manière qui vous semble la plus pertinente.

The image shows a 'New Workflow' dialog box with the following elements:

- Title Bar:** 'New Workflow' with standard window controls (minimize, maximize, close).
- Workflow Section:**
 - Workflow:** A sub-header with a small icon.
 - Description:** 'It describes a series of activities and algorithms applied on data, such as reservoir simulation.'
- Form Fields:**
 - Workflow name:** A text input field containing 'Workflow'.
 - Add to the study:** A dropdown menu showing 'Projet_Cachan_2021'.
 - Use a template:** A checkbox that is unchecked, followed by a disabled dropdown menu.
 - Comment:** A large text area for entering a comment.
 - Switch to study perspective:** A checked checkbox.
- Footer:**
 - A help icon (question mark in a circle) on the left.
 - 'Finish' and 'Cancel' buttons on the right.

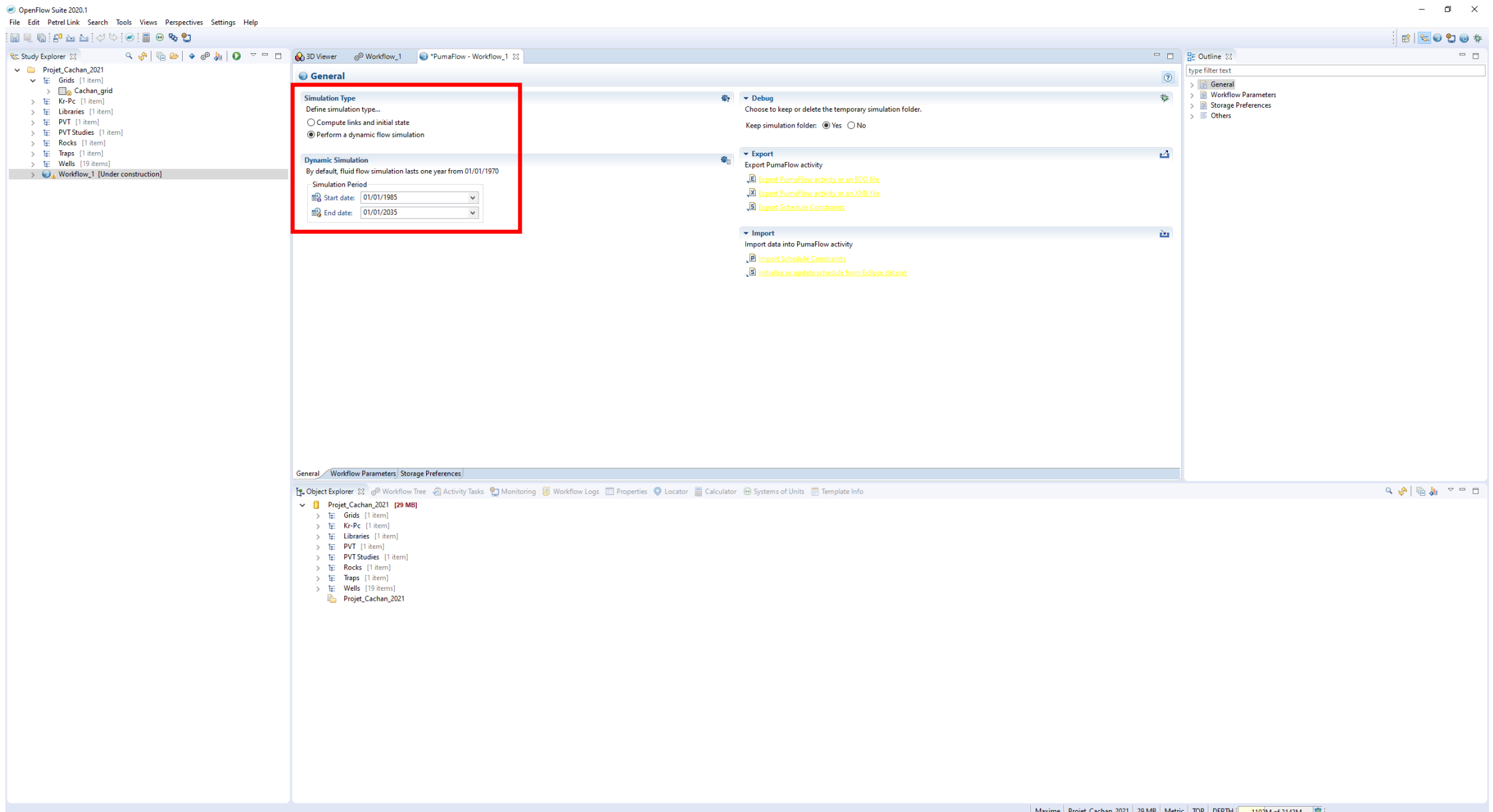
14

Double-cliquez ensuite sur le workflow créé. Une fenêtre s'ouvre ensuite automatiquement. Une fois la fenêtre ouverte, ouvrez le dossier « Pumaflow » puis sélectionnez « Pumaflow – Fluid Flow Reservoir Simulator » et « dropper » le dans la fenêtre adjacente. Une fois cela fait, sélectionnez ensuite tous les « items » intégrés au « Study Explorer » (à l'exception du « PVT Studies » et « Librairies ») et glissez les dans la fenêtre supérieure droite en dessous de « Pumaflow ». Les items sélectionnés correspondent aux données et aux modèles qui vont être utilisées pour effectuer la simulation. Cliquez enfin sur Pumaflow pour faire apparaître le menu déroulant sous la section « Activity Shortcuts ».



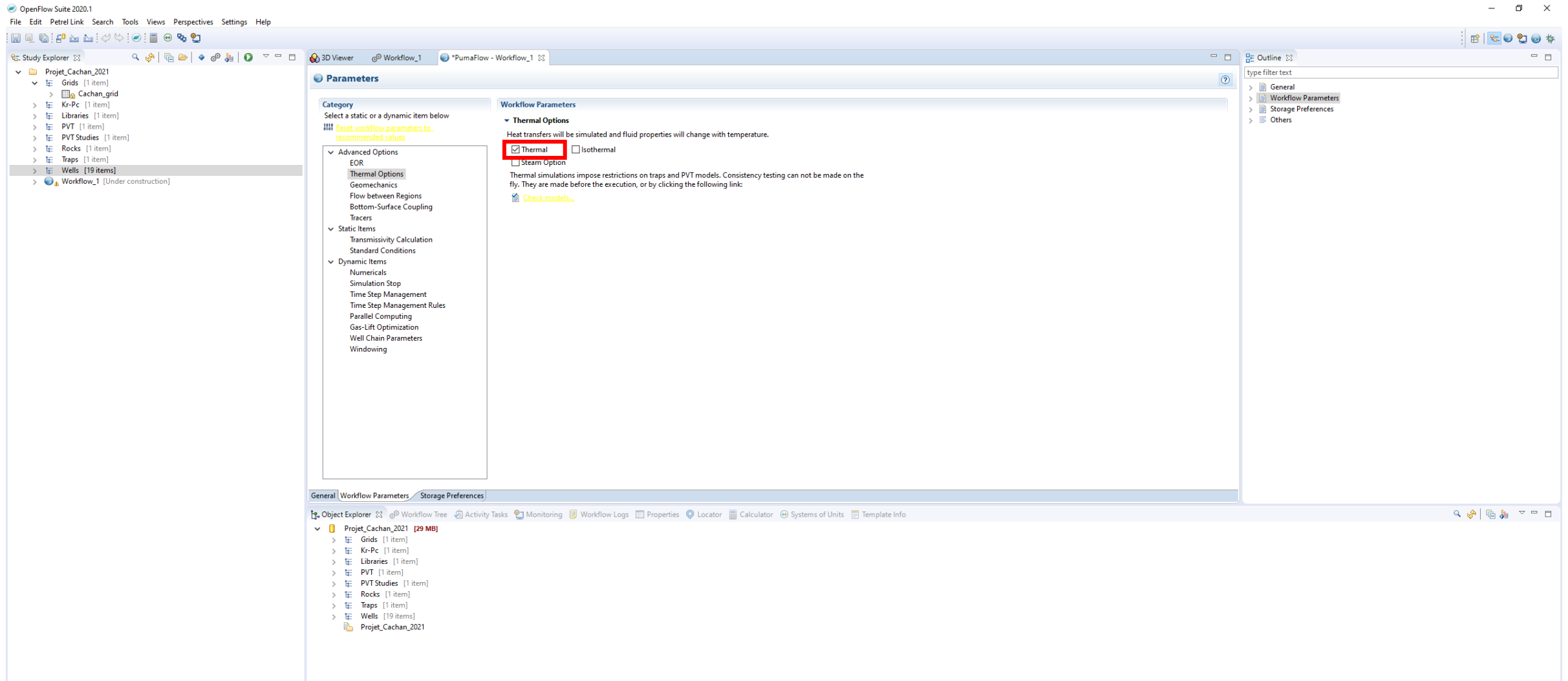
15

Il convient ensuite de définir les différents paramètres du workflow. Pour cela, cliquez sur « Edit the simulation parameters » dans la fenêtre « Activity Shortcuts ». Dans l'onglet « Général » ouvert par défaut, cochez « Perform a dynamic flow simulation » puis définissez la durée de la simulation souhaitée dans « Start date » et « End date ». Vous pouvez également choisir de conserver ou non les fichiers temporaires de simulations dans la section « Debug ».



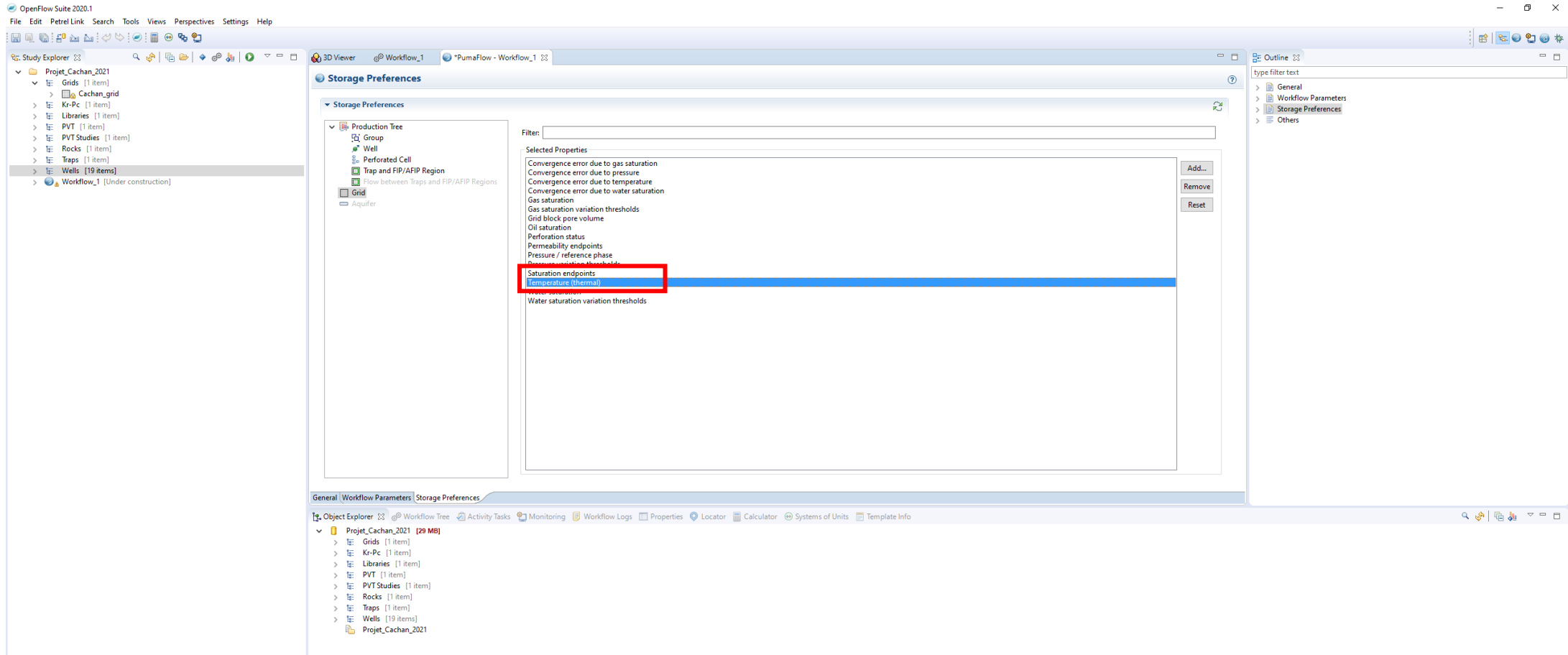
16

Ouvrez ensuite l'onglet « Workflow Parameters ». Dans cet onglet, il est possible de modifier une multitude de paramètres. Un paramètre en particulier doit être défini pour effectuer une simulation thermique. Pour ce faire, ouvrez la section « Thermal Option » et sélectionnez « Thermal » puis décochez « Steam » (vapeur) car aucune phase de gaz (vapeur) n'est à considérer.



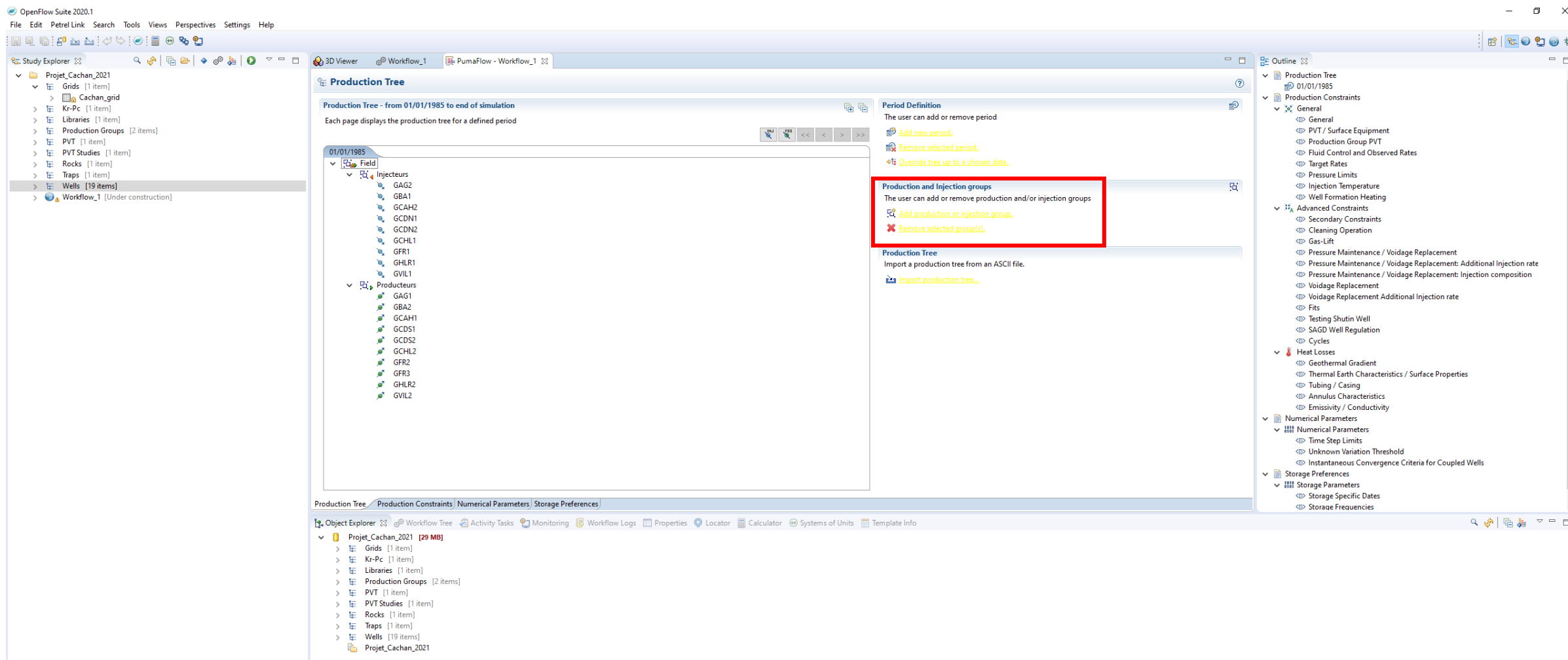
17

Ouvrez ensuite l'onglet « Storage Preference ». Cet onglet permet de définir les divers résultats de sortie (« outputs ») qui seront fournis à la fin des simulations. De nombreux outputs sont définis par défaut dans Pumaflow™ dont certains n'ont aucune utilité dans le cadre de l'exploitation d'un réservoir géothermique. Les résultats peuvent être fournis par groupes de puits (qui seront définis ultérieurement), pour des puits individuellement, au niveau des perforations de chaque puits (cellules traversées par les puits) ou bien pour des pièges en particulier. Afin de pouvoir observer l'évolution des bulles froides autour des puits injecteurs, une des données de sortie les plus importantes à ajouter dans la section « Grid » est la « Temperature (thermal) ». Pour observer les décroissances de température aux puits producteurs, le paramètre « Bottom Hole Temperature » doit également être ajouté dans la section « Well ». Une fois les données de sorties sélectionnées, enregistrer et fermez la fenêtre.



18

Cliquez ensuite sur « Edit production scheduler » dans la section « Activity Shortcuts ». L'onglet « Production Tree » s'ouvre automatiquement par défaut. Définissez dans cet onglet deux groupes de puits différents (injecteur et producteur) à l'aide de l'option « Add production or injection group » et associez manuellement chaque puits à un groupe en fonction de sa nature.



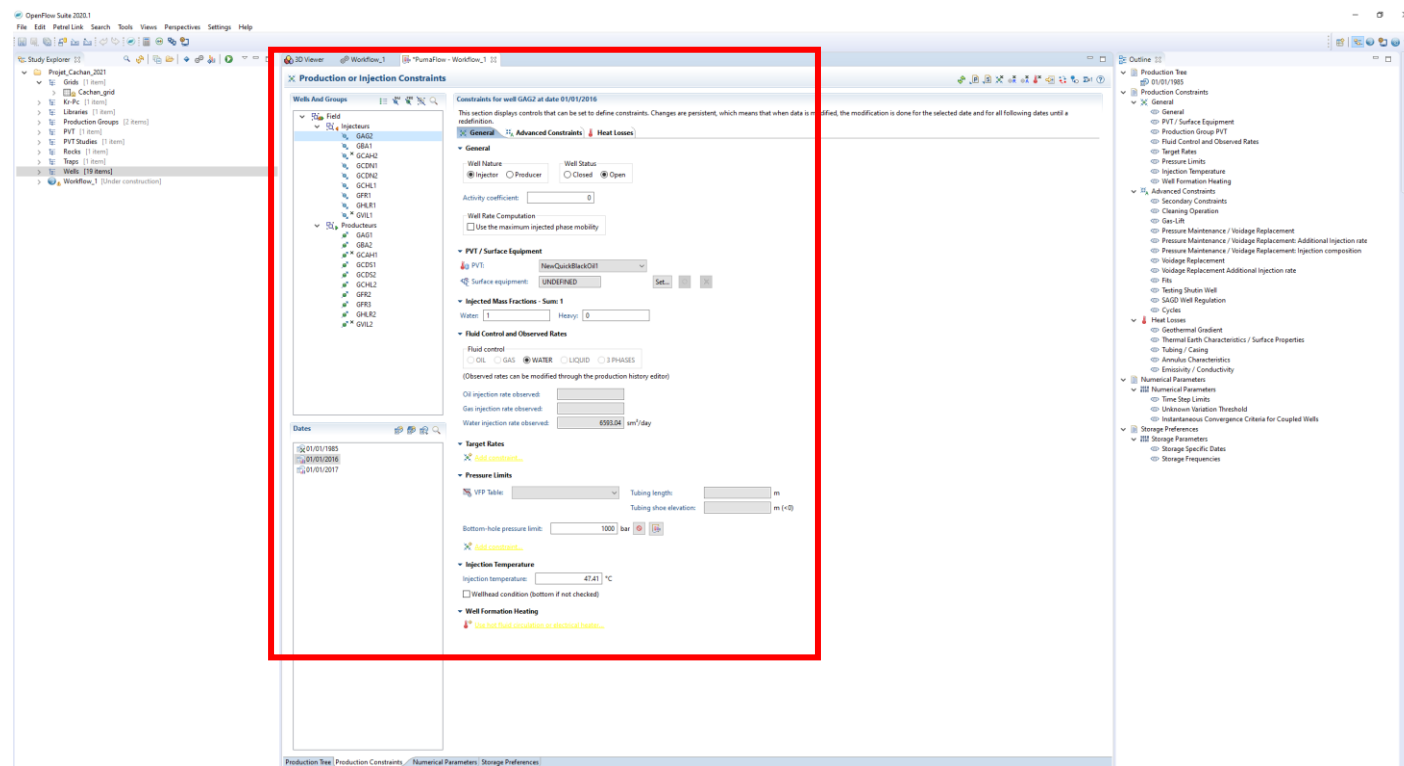
19

Ouvrez ensuite le second onglet appelé « Production Constraints » puis cliquez sur « Field ». Dans la partie « Heat losses », vous pouvez insérer une valeur de gradient géothermique en fonction de la zone étudiée (ici égal à $0.03 \text{ }^{\circ}\text{C/m}$). Dans la section « Thermal Earth Characteristic/Surface properties », vous pouvez ajouter la valeur de la conductivité thermique des roches du réservoir (ici égale à $1.5 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$) et intégrer une température de surface (ici 12°C). Les autres paramètres peuvent être laissés par défaut.

The screenshot displays the OpenFlow Suite 2020.1 interface. The main window is titled 'Production or Injection Constraints' and is divided into several panes:

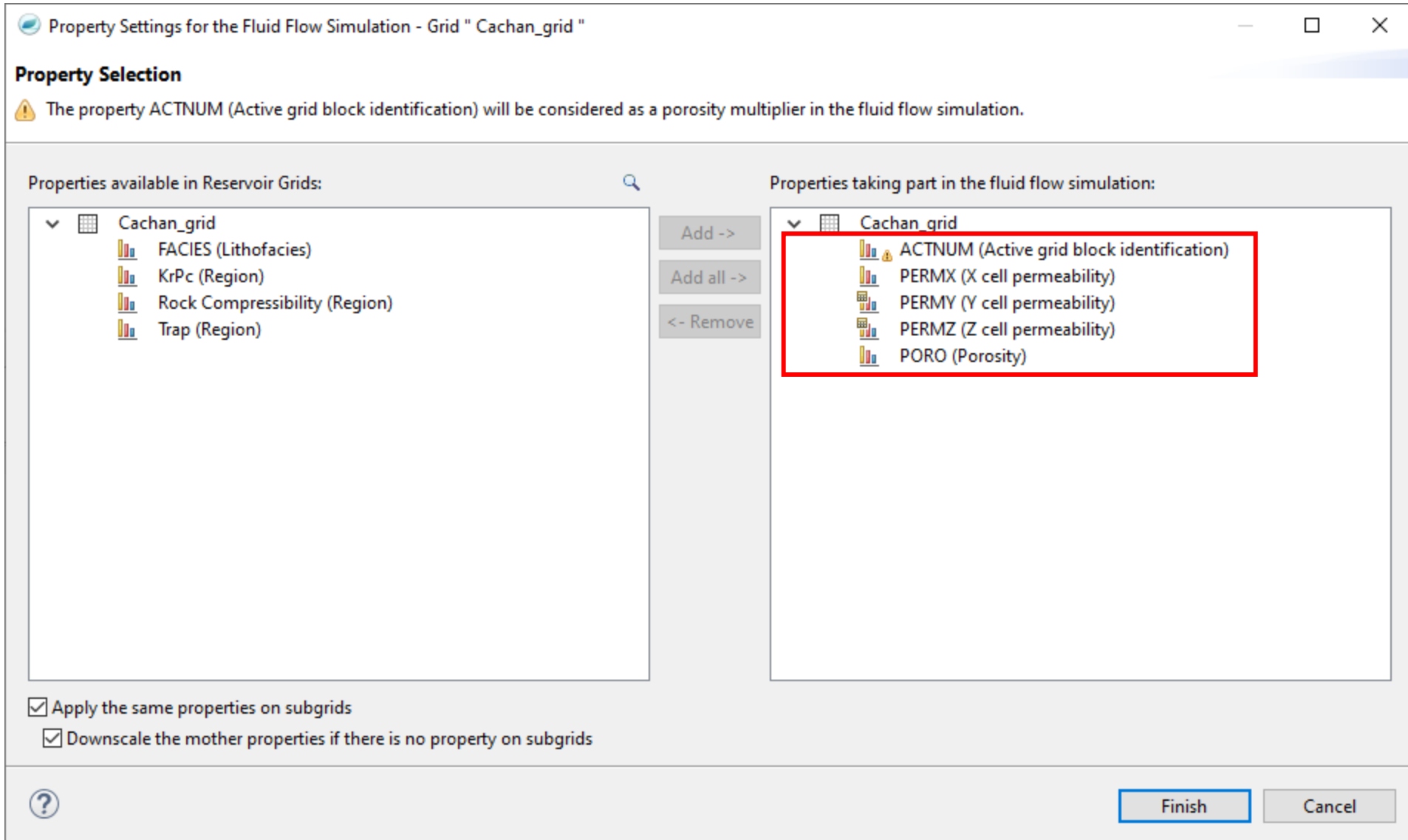
- Study Explorer (Left):** Shows a project tree for 'Projet_Cachan_2021' with various components like Grids, Libraries, Production Groups, PVT, PVT Studies, Rocks, Traps, and Wells.
- 3D Viewer (Top Center):** Displays a 3D model of the well field.
- Production or Injection Constraints (Main Panel):**
 - Wells And Groups:** A tree view showing the 'Field' group and its associated wells (Injecteurs and Producteurs).
 - Constraints for group Field at date 01/01/1985:**
 - General:** Contains the 'Geothermal Gradient' section, which states 'The geothermal gradient does not depend on the selection of wells and dates.' The value is set to $0.030 \text{ }^{\circ}\text{C/m}$.
 - Thermal Earth Characteristics / Surface Properties:** This section is highlighted with a red box. It contains the following parameters:
 - Average thermal earth conductivity: $1.5 \text{ W/(m}\cdot^{\circ}\text{C)}$
 - Average thermal earth diffusivity: $0.080 \text{ m}^2/\text{day}$
 - Surface temperature: $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Z discretisation for heat loss calculations: 100 m
 - Dates:** A list of dates from 01/01/1985 to 01/01/1990.
- Outline (Right):** A hierarchical tree view showing the structure of the simulation, including Production Tree, Production Constraints, General, Advanced Constraints, Heat Losses, Numerical Parameters, and Storage Preferences.

Une fois ces paramètres fixés, cliquez sur l'onglet « General » pour voir les paramètres définis pour chaque puits (section « Well and groups ») en fonction des dates d'exploitation (section « Dates »). Vous trouverez dans cet onglet : (1) la nature du puits « Well nature » (injecteur ou producteur); et (2) son statut « Well status » (ouvert ou fermé directement reconnu de par l'import des fichiers des historiques d'exploitation). Lorsque le puits est ouvert, le coefficient d'activité (« Activity coefficient ») est égal à 1 (le puits est 100% actif), et lorsqu'il est fermé, il est égal à 0. Par ailleurs, le modèle PVT est automatiquement reconnu (section PVT / Surface Equipment) et la section « Injected Mass Fractions – Sum : 1 » n'est pas à modifier (Water = 1). Pour les dates où le puits est actif et en exploitation, les différents débits de production ou d'injection sont automatiquement reconnus dans la partie « Water injection/production rate observed » de la section « Fluid Control and Observed Rates ». Dans la section « Target rates », il est possible de fixer si besoin des contraintes de production. D'autre part, dans la section « Pressure limits », vous pouvez y définir la valeur de pression de fond de puits maximale (en injection et production). Concernant la pression d'injection maximale, elle peut être fixée à une valeur limite très élevée (ici 1000 bars) pour pouvoir honorer les débits d'injection souhaités. La pression d'injection doit être supérieure à la pression du réservoir pour que les fluides puissent y être injectés. Enfin, la température du fluide injecté est automatiquement reconnu par le logiciel et peut être vérifié dans la section « Injection temperature ». La section « Well formation heating » n'a pas été utilisée et les 2 autres onglets (« Numerical Parameters » et « Storage Preferences ») peuvent être consultés pour modifier les paramètres numériques des simulations ainsi que les fréquences des résultats de sortie (pas de temps).



21

Retournez ensuite dans la section « Activity Shortcuts » et cliquez sur « Select petrophysical properties from the reservoir grid » pour sélectionner les propriétés destinées à être utilisées lors du processus de simulation. Les propriétés sélectionnées ici sont l'ACTNUM, la porosité (PORO) et les perméabilités en X, Y et Z (PERMX, PERMY et PERMZ). Cliquez ensuite sur « Finish » pour revenir au menu principal.



22

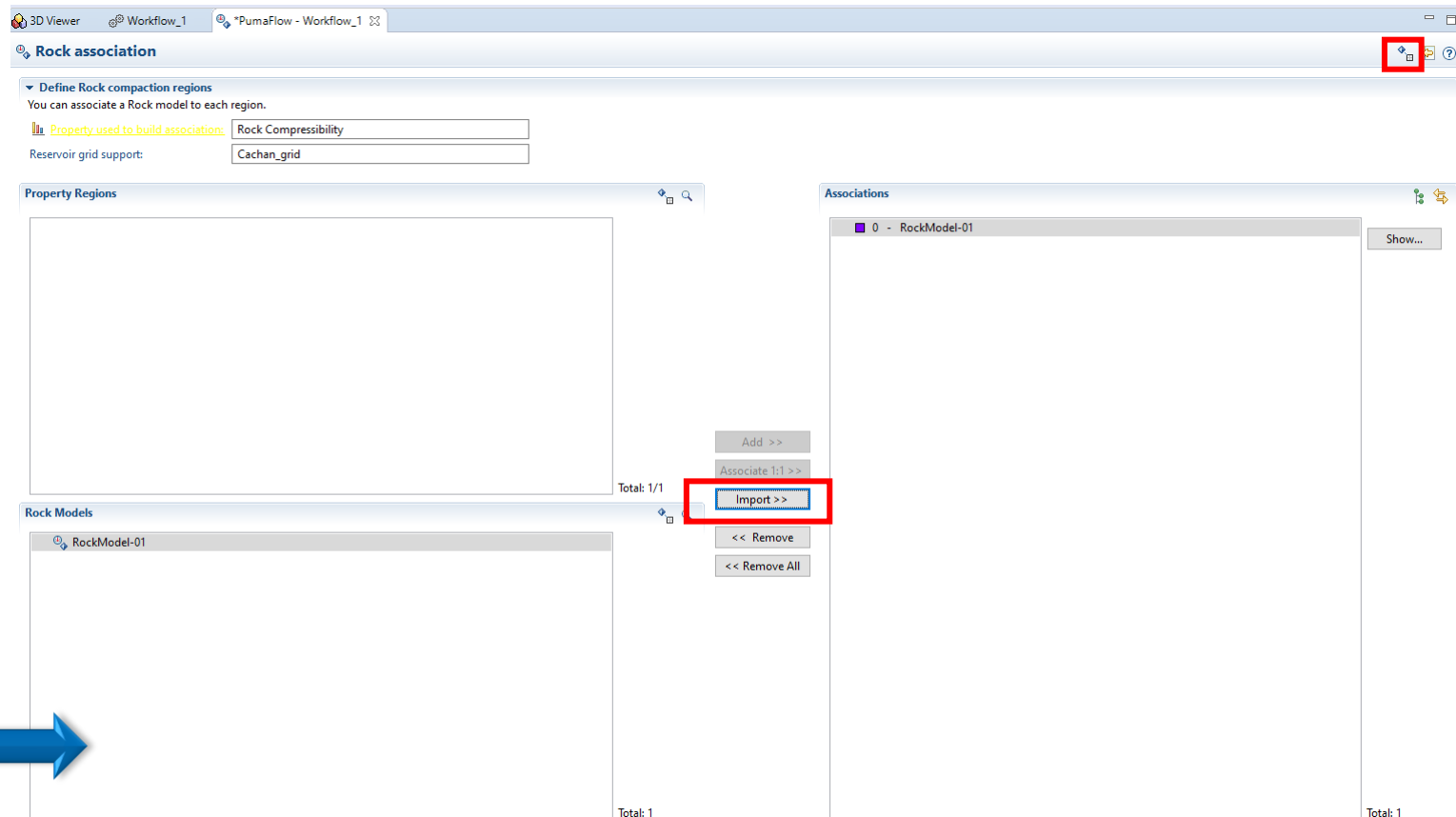
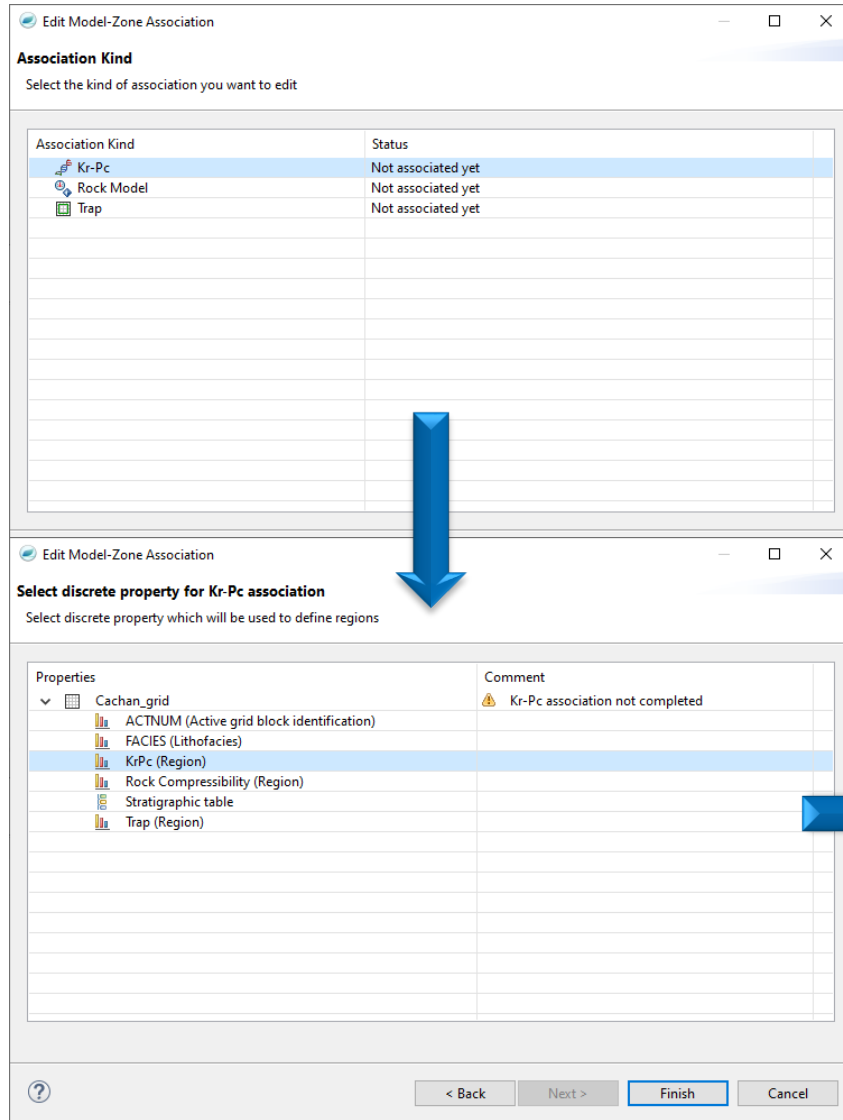
Cliquez ensuite sur « Edit PI/MPI » dans la section « Activity Shortcuts ». Une fenêtre s'ouvre automatiquement et vous pouvez ici définir pour chaque puits les perforations au dates souhaitées. Dans notre cas, contrairement au domaine pétrolier, tous les puits sont forés en trou ouvert, les perforations doivent donc être définies sur toute la section du réservoir. Pour ce faire, sélectionnez tous les puits et cliquez sur « Add a new date of perforations ». Une nouvelle fenêtre s'ouvre et vous pouvez y définir ensuite le rayon des puits (en général égal à 10.8 cm car forés en 8.5 pouces) ainsi que le facteur de skin de l'ouvrage (ici égal à -2). Une fois cela fait, fermez la fenêtre et réouvrez là pour que les calculs s'opèrent.

The screenshot displays the OpenFlow Suite 2020.1 interface. The 'Study Explorer' on the left shows a project named 'Projet_Cachan_2021' with various components like 'Grids', 'Libraries', 'Production Groups', 'PVT', 'Rocks', 'Traps', and 'Wells'. The 'Wells' section is expanded, showing a list of wells with their names and reference depths. The 'Reservoir Link Data' panel in the center shows a table of wells and their depths. The 'Operations on Selection' panel on the right lists available actions, with 'Add a new date for perforations' highlighted. The 'Define a date and specify PI-MPI computation mode' dialog box is open, showing the 'Date' as 01/01/1970. The 'Set same radius and skin for all cells' option is selected. The 'Radius [cm]' is set to 10.8, and the 'Skin' is set to -2. The 'MPI' is set to 1. The 'Global PI' and 'Global TI' options are not selected. The 'Restore Defaults', 'OK', and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Well Name	Ref. Depth [m]
GAG1	1443
GAG2	1414
GBA1	1430
GBA2	1496
GCAH1	1541
GCAH2	1476
GCDN1	1444
GCDN2	1527
GCDN3	1544
GCDN4	1542
GCHL1	1557
GCHL2	1553
GFR1	1539
GFR2	1533
GFR3	1542
GHRL1	1537
GHRL2	1552
GVIL1	1476
GVIL2	1560

23

Retournez ensuite dans le menu « Activity Shortcuts » et cliquez sur « Edit the model-zone associations » afin d'associer tous les modèles créés en amont (« Kr-Pc », « Trap » et « Rock compressibility ») à leur régions respectives correspondant aux 3 propriétés créées au départ. Pour ce faire, cliquez d'abord sur le modèle à associer puis cliquez sur « Next », sélectionnez ensuite la propriété correspondante et cliquez sur « Finish ». Une fois cela réalisé, une nouvelle fenêtre s'ouvre dans laquelle vous pouvez associer le modèle à la propriété en cliquant sur « import ». Répétez enfin ce processus pour les modèles restants et enregistrez. Vous pouvez directement rouvrir la fenêtre « Association Kind » en cliquant sur l'option encadrée en haut à droite de la fenêtre.



Une fois cela terminé, retournez à la fenêtre initiale du Workflow et faites un « Clique-droit » sur Pumaflow (dans la fenêtre supérieure droite) puis cliquez « Check Activity » pour vérifier que tout est bien valide avant de lancer la simulation.

Sélectionner ensuite le Workflow créé dans le « Study Explorer » et cliquez sur « Run » (bouton Play vert). Cliquez enfin sur « Exécute » pour démarrer la simulation. Les résultats de sortie peuvent être consultés en déroulant le menu du Workflow dans le « Study Explorer » une fois la simulation terminée.

The screenshot shows the OpenFlow Suite 2020.1 interface. The 'Workflow Launcher' dialog box is open, displaying the following information:

- Workflow / Activity:** Workflow_1
- Host:** desktop-7a13qqc
- Node:** 1
- Processors/Node:** 1

The 'Execute' button is highlighted in blue. The status bar at the bottom indicates 'Maxime | Projet_Cachan_2021 | 29 MB | Metric | TOP | DEPTH | 506M of 3143M'.