

annexe 3

Analyses statistiques des séances de simulateur

Le test de Kolmogorov-Smirnov a été systématiquement conduit sur chacune des variables oculométriques (pour chaque AOI) afin d'évaluer la normalité de la distribution des données (variables gaussiennes). La distribution de toutes les variables à l'exception de MCDUD et MCDUG ne diffèrent pas significativement de la normalité. En conséquence, des analyses statistiques paramétriques ont été conduites. Les variables MCDUG MCDUD ont été toutefois conservées, leur retrait ne modifiant pas significativement les résultats statistiques. Des analyses Post-hoc ont été effectuées via le test Newman-Keuls afin de dégager des groupes homogènes. Les analyses post-hoc de comparaisons multiples ont été effectuées via l'utilisation du test LSD de Fisher. Les résultats des comparaisons multiples ont été soumis à la correction de Bonferroni-Holm afin de limiter le risque de faux-positifs. Les statistiques descriptives élémentaires ainsi que les résultats principaux des statistiques inférentielles par analyses de la variance (ANOVA) et les Post-hoc sont présentées en annexe.

RESULTATS

Etude de la remise de gaz 1 : toutes AOI

Le graphique x présente les pourcentages de temps de fixation pendant la remise de gaz 1 en fonction des 12 AOI pour les deux pilotes.

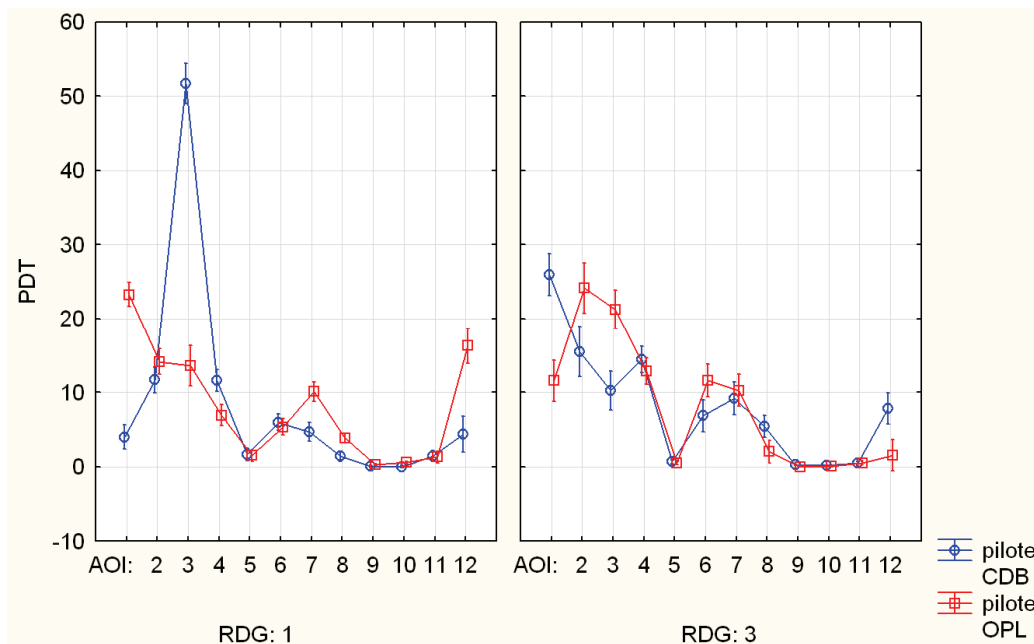
Comportement visuel pour chacun des pilotes

L'ANOVA montre que le CDB/PF ne fixe pas les instruments du cockpit de façon équivalente. Le test Newman-Keuls permet de distinguer 4 groupes homogènes d'AOI. Notamment, Le CDB passe plus de temps sur l'horizon artificiel (51,68 %), viennent ensuite le groupe vitesse (12,31 %) et altitude (10,48 %).

De même, l'OPL/PNF ne distribue pas son attention visuelle de façon homogène sur les instruments de bord. Le test Newman-Keuls permet de distinguer 5 groupes homogènes d'AOI. Le PNF porte principalement son regard dans la région hors zone (23,90 %) et sur le FCU (17,10 %), voir annexes pour le détail des groupes significativement dissociables d'AOI.

Différences de comportement visuel entre les pilotes

L'ANOVA révèle une interaction significative pilote * AOI de sorte que, selon les analyses post-hoc de comparaisons multiples, les deux pilotes présentent un comportement visuel clairement différenciable en ce qui concerne les régions *hors zones* (CDB/PF : 4,10 %; OPL/PNF : 23,90 %,), *horizon artificiel* (CDB/PF : 51,68 %; OPL/PNF : 12,42 %), *ND* (CDB/PF : 4,35 %; OPL/PNF : 11,03 %) et *FCU* (CDB/PF : 4,60 % ; OPL/PNF : 17,10 %).



Comportement visuel des deux pilotes au cours de la remise de gaz 1 (n = 20) et 3 (n = 14) en fonction des différentes AOI.

Etude de la remise de gaz 3 : toutes AOI

Le graphique x présente les pourcentages de temps de fixation pendant la remise de gaz 3 en fonction des 12 AOI pour les deux pilotes.

Comportement visuel pour chacun des pilotes

Les deux MCDU sont exclus de ces analyses, la distribution des pourcentages de temps passé sur ces régions ne présentaient pas assez de variance pour être introduite dans le modèle statistique. L'ANOVA montre que l'OPL/PF ne fixe pas les instruments du cockpit de façon équivalente. Le test Newman-Keuls permet de distinguer 5 groupes homogènes d'AOI. Notamment, Le CDB passe le plus de temps sur la région hors zone (25,95 %), viennent ensuite un groupe homogène non dissociable constitué de la vitesse (15,48 %), l'altitude (14,41 %, l'horizon artificiel (10,23 %), le ND (9,15 %) et le FCU (7,79 %).

De la même façon, L'ANOVA montre que le pourcentage de temps passé sur les AOI varie pour le CDB/PNF. Notamment, les deux régions les plus regardées sont la vitesse (24,14 %), et l'horizon artificiel (21,25 %).

Différences de comportement visuel entre les pilotes

L'ANOVA révèle une interaction significative pilote * AOI de sorte que, selon les analyses post-hoc de comparaisons multiples, les deux pilotes présentent un comportement visuel statistiquement différent en ce qui concerne les régions hors zones (OPL/PF : 25,95 %; CDB/PNF : 11,55 %) et l'horizon artificiel (OPL/PF : 10,23 %; CDB/PNF : 21,25 %).

COMPLEMENTS STATISTIQUES

Remise de gaz 1

Remise de gaz 1 : statistiques descriptives élémentaires

CDB+OPL	N Actifs	Moyenne	Ecart-type
Hors Zones	20	14,00442	10,83954
VITESSE	20	12,75161	4,56478
HORIZON	20	32,05803	21,11194
ALT	20	8,84967	4,25889
HDG	20	1,41527	1,78918
FMA	20	5,96660	3,30550
ND	20	7,69542	5,13840
ECAM	20	2,55937	2,08046
MCDUG	20	0,12359	0,29043
MCDUD	20	0,22582	0,43357
EXT	20	1,12238	1,66875
FCU	20	10,85447	8,46038

CDB	N Actifs	Moyenne	Ecart-type
Hors Zones	10	4,10434	2,802309
VITESSE	10	12,31502	4,339723
HORIZON	10	51,68946	7,733818
ALT	10	10,48042	5,114169
HDG	10	1,57039	1,614884
FMA	10	6,14023	3,858159
ND	10	4,35517	2,338976
ECAM	10	1,69256	1,790483
MCDUG	10	0,03746	0,058889
MCDUD	10	0,00866	0,018279
EXT	10	1,25290	1,744476
FCU	10	4,60336	4,954394

OPL	N Actifs	Moyenne	Ecart-type
Hors Zones	10	23,90450	4,731795
VITESSE	10	13,18821	4,973215
HORIZON	10	12,42661	4,971069
ALT	10	7,21891	2,495437
HDG	10	1,26015	2,024027
FMA	10	5,79296	2,848572
ND	10	11,03566	5,047318
ECAM	10	3,42618	2,064478
MCDUG	10	0,20973	0,397632
MCDUD	10	0,44298	0,540112
EXT	10	0,99186	1,672669
FCU	10	17,10558	6,302906

Remise de GAZ 1 : ANOVA à mesures répétées réalisée sur le CDB/PF. L'effet Les variables continues considérées sont les pourcentages moyens de temps passés sur les AOI lors de la phase de vol étudiée. L'effet principal AOI est présenté.

	SC	Degr. De Liberté	MC	F	p	Eta-deux partiel	Non-centralité	Puissance observée (alpha=0,05)
Effets								
ord. origine	8044,21	1	8044,213	81639,90	0,00	0,999890	81639,90	1,000000
Erreur	0,89	9	0,099					
AOI	22304,86	11	2027,715	134,11	0,00	0,937111	1475,21	1,000000
Erreur	1496,85	99	15,120					

Remise de gaz 1 : résultat de l'analyse des groupes homogènes pour le CDB/PF.

AOI	VD_1 Moyenne	1	2	3	4
MCDUD	0,00866	****			
MCDUG	0,03746	****			
EXT	1,25290	****	****		
HDG	1,57039	****	****		
ECAM	1,69256	****	****		
Hors Zones	4,10434	****	****		
ND	4,35517	****	****		
FCU	4,60336	****	****		
FMA	6,14023		****		
ALT	10,48042			****	
VITESSE	12,31502			****	
HORIZON	51,68946				****

Remise de gaz 1 : ANOVA à mesures répétées réalisée sur l'OPL/PNF. L'effet Les variables continues considérées sont les pourcentages moyens de temps passés sur les AOI lors de la phase de vol étudiée. L'effet principal AOI est présenté.

	SC	Degr. De Liberté	MC	F	p	Eta-deux partiel	Non- centralité	Puissance observée (alpha=0,05)
Effets								
ord. origine	7841,371	1	7841,371	57355,10	0,00	0,999843	57355,10	1,000000
Erreur	1,230	9	0,137					
AOI	6302,461	11	572,951	38,70	0,00	0,811327	425,72	1,000000
Erreur	1465,628	99	14,804					

Remise de gaz 1 : Résultat de l'analyse des groupes homogènes pour l'OPL/PNF.

AOI	VD_1 Moyenne	1	2	3	4	5
MCDUG	0,20973					
MCDUD	0,44298	****				
EXT	0,99186	****				
HDG	1,26015	****				
ECAM	3,42618	****	****			
FMA	5,79296		****			
ALT	7,21891		****			
ND	11,03566			****		
HORIZON	12,42661			****		
VITESSE	13,18821			****		
FCU	17,10558				****	
Hors Zones	23,90450					****

Remise de gaz 1 : ANOVA à mesures répétées réalisée sur les deux pilotes. L'effet pilote est introduit comme prédicteur catégoriel et les variables continues considérées sont les pourcentages moyens de temps passés sur les AOI lors de la phase de vol étudiée. Les effets principaux Pilote/AOI ainsi que les interactions sont présentés.

	SC	Degr. De Liberté	MC	F	p	Eta-deux partiel	Non- centralité	Puissance observée (alpha=0,05)
Effets								
ord. origine	15884,94	1	15884,94	135047,8	0,000000	0,999867	135047,8	1,000000
pilote	0,65	1	0,65	5,5	0,030610	0,234211	5,5	0,602615
Erreur	2,12	18	0,12					
AOI	17860,67	11	1623,70	108,5	0,000000	0,857731	1193,7	1,000000
AOI*pilote	10746,65	11	976,97	65,3	0,000000	0,783904	718,3	1,000000
Erreur	2962,48	198	14,96					

Remise de gaz 3

Remise de gaz 3 : statistiques descriptives élémentaires

CDB+OPL	N Actifs	Moyenne	Ecart- type
Hors Zones	14	18,75355	10,29380
VITESSE	14	19,81445	9,76263
HORIZON	14	15,74754	8,73646
ALT	14	13,64480	4,57954
HDG	14	0,57821	0,60717
FMA	14	9,20707	6,03824
ND	14	9,72027	5,51286
ECAM	14	3,71222	4,22104
MCDUG	14	0,10854	0,25536
MCDUD	14	0,11077	0,16301
EXT	14	0,47703	0,66567
FCU	14	4,65278	6,25146

CDB	N Actifs	Moyenne	Ecart-type
Hors Zones	7	25,95361	5,436366
VITESSE	7	15,48006	6,380543
HORIZON	7	10,23902	3,825757
ALT	7	14,41376	5,794103
HDG	7	0,65434	0,532477
FMA	7	6,83381	3,317515
ND	7	9,18583	4,048288
ECAM	7	5,41302	5,337537
MCDUG	7	0,21708	0,337333
MCDUD	7	0,14880	0,164275
EXT	7	0,45829	0,738740
FCU	7	7,79101	7,675199

OPL	N Actifs	Moyenne	Ecart-type
Hors Zones	7	11,55350	8,89208
VITESSE	7	24,14884	11,04334
HORIZON	7	21,25606	8,94058
ALT	7	12,87584	3,23858
HDG	7	0,50208	0,70830
FMA	7	11,58032	7,40603
ND	7	10,25470	6,98523
ECAM	7	2,01142	1,83438
MCDUG	7	0,00000	0,00000
MCDUD	7	0,07275	0,16496
EXT	7	0,49576	0,64305
FCU	7	1,51456	1,66929

Remise de gaz 3 : ANOVA à mesures répétées réalisée sur le CDB/PNF. Les variables continues considérées sont les pourcentages moyens de temps passés sur les AOI lors de la phase de vol étudiée. L'effet principal AOI est présenté.

	SC	Degr. De Liberté	MC	F	p	Eta-deux partiel	Non- centralité	Puissance observée (alpha=0,05)
	Effets							
ord. origine	6508,143	1	6508,143	25097,92	0,000000	0,999761	25097,92	1,000000
Erreur	1,556	6	0,259					
AOI	3624,603	9	402,734	15,50	0,000000	0,720938	139,51	1,000000
Erreur	1403,016	54	25,982					

Remise de gaz 3 : résultat de l'analyse des groupes homogènes pour le CDB/PNF.

AOI	VD_1 Moyenne	1	2	3	4	5
EXT	0,20973	****				
HDG	0,44298	****				
ECAM	0,99186	****	****			
FMA	1,26015	****	****	****		
FCU	3,42618	****	****	****	****	
ND	5,79296		****	****	****	
HORIZON	7,21891		****	****	****	
ALT	11,03566			****	****	
VITESSE	12,42661				****	
Hors Zones	13,18821					****

Remise de gaz 3 : ANOVA à mesures répétées réalisée sur l'OPL/PF. L'effet Les variables continues considérées sont les pourcentages moyens de temps passés sur les AOI lors de la phase de vol étudiée. L'effet principal AOI est présenté.

	SC	Degr. De Liberté	MC	F	p	Eta-deux partiel	Non-centralité	Puissance observée (alpha=0,05)
Effets								
ord. origine	6477,175	1	6477,175	32622,75	0,000000	0,999816	32622,75	1,000000
Erreur	1,191	6	0,199					
AOI	4585,325	9	509,481	11,41	0,000000	0,655321	102,67	1,000000
Erreur	2411,746	54	44,662					

Remise de gaz 3 : résultat de l'analyse des groupes homogènes pour l'OPL/PF.

AOI	VD_1 Moyenne	1	2	3	4
EXT	0,49576	****			
HDG	0,50208	****			
FCU	1,51456	****	****		
ECAM	2,01142	****	****		
ND	10,25470	****	****	****	
Hors Zones	11,55350		****	****	
FMA	11,58032		****	****	
ALT	12,87584			****	
HORIZON	21,25606				****
VITESSE	24,14884				****

Remise de gaz 3 : ANOVA à mesures répétées réalisée sur les deux pilotes. L'effet pilote est introduit comme prédicteur catégoriel et les variables continues considérées sont les pourcentages moyens de temps passés sur les AOI lors de la phase de vol étudiée. Les effets principaux Pilote/AOI ainsi que les interactions sont présentés.

	SC	Degr. De Liberté	MC	F	p	Eta-deux partiel	Non-centralité	Puissance observée (alpha=0,05)
Effets								
ord. origine	10870,42	1	10870,42	66527,05	0,000000	0,999820	66527,05	1,000000
pilote	0,08	1	0,08	0,49	0,498183	0,039069	0,49	0,098723
Erreur	1,96	12	0,16					
AOI	8641,97	11	785,63	27,17	0,000000	0,693659	298,89	1,000000
AOI*pilote	1683,30	11	153,03	5,29	0,000001	0,306062	58,22	0,999925
Erreur	3816,56	132	28,91					

Pourcentage de temps passés par zone d'intérêts pour la remise de gaz 1

Equipage	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
Nom	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)
Hors Zones	6,1	0,9	2,6	1,6	4,6	5,7	5,2	2,5	1,7	10,1
VITESSE	15,7	15,4	15,9	12,0	16,5	3,5	8,1	9,4	10,9	15,7
HORIZON	45,2	49,4	50,9	56,9	54,3	41,8	50,3	55,5	68,5	43,9
ALT	14,2	20,9	10,7	8,2	1,7	10,6	12,7	7,7	6,4	11,7
HDG	2,9	0,0	0,2	0,4	0,3	4,6	3,7	1,0	1,4	1,1
FMA	6,0	2,6	6,6	4,5	2,5	9,7	11,6	11,2	0,1	6,8
ND	4,9	3,8	9,0	5,2	5,6	5,9	2,8	0,3	3,4	2,7
ECAM	0,9	1,4	2,6	1,1	6,1	0,3	2,4	0,1	0,0	2,0
EXT	1,3	4,4	0,3	4,5	1,2	0,0	0,7	0,0	0,2	0,0
FCU	1,4	0,0	0,4	3,1	6,3	16,0	0,0	7,8	6,8	4,2
DUREE	86,0	67,0	58,0	57,0	62,0	44,5	70,0	71,0	73,0	96,1

Figure 1 : remise des gaz 1, PF/CDB

Equipage	A	B	C	D	E	G	H	I	J	K
Nom	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)
Hors Zones	24,2	29,8	18,9	21,0	22,3	26,1	29,7	27,6	24,4	15,1
VITESSE	8,4	14,5	16,7	15,9	18,4	9,4	6,0	18,0	6,8	17,7
HORIZON	15,4	14,9	10,8	7,7	6,6	22,9	7,0	11,4	11,9	15,5
ALT	8,2	5,4	3,1	8,4	9,4	4,8	6,2	10,9	9,8	5,9
HDG	0,8	0,9	0,2	0,1	1,2	0,1	0,1	0,0	6,5	2,7
FMA	3,7	6,6	5,1	4,0	13,1	4,4	3,8	6,7	6,5	4,0
ND	13,2	6,8	12,2	15,0	6,2	13,6	20,3	8,4	2,9	11,8
ECAM	2,3	2,3	7,8	3,4	3,8	2,1	1,3	6,1	3,5	1,7
EXT	0,6	5,5	0,8	0,0	0,4	1,0	0,0	1,8	0,0	0,0
FCU	19,5	10,8	20,4	20,1	13,0	12,7	24,6	5,5	24,7	19,8
DUREE	86,0	67,0	58,0	57,0	62,0	70,0	71,0	100,0	73,0	96,3

Figure 2 : remise des gaz 1 PNF/OPL

Equipage	A	B	C	E	F	G	H	J	K
Nom	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)
Hors Zones	5,7	6,8	0,3	6,2	3,9	3,5	5,5	14,4	5,0
VITESSE	14,6	15,9	20,9	6,6	10,8	13,6	9,4	18,6	11,8
HORIZON	26,8	43,4	58,9	70,4	34,7	44,1	40,7	26,2	55,6
ALT	14,0	19,8	12,8	10,0	15,8	16,4	12,7	8,4	8,2
HDG	0,2	0,2	0,2	1,1	1,8	0,0	0,0	0,6	0,2
FMA	16,7	5,4	2,6	0,3	8,1	12,5	12,1	1,6	12,2
ND	5,7	3,2	0,7	1,8	7,3	5,8	10,5	8,0	3,9
ECAM	2,5	0,9	1,3	0,5	2,4	2,2	0,5	3,8	0,3
EXT	1,5	1,0	0,9	0,6	0,5	0,0	0,0	4,1	0,0
FCU	9,8	0,9	0,0	0,5	7,1	0,0	5,9	11,9	1,1
DUREE	50,0	50,0	55,0	75,0	50,0	65,0	70,0	50,0	60,0

Figure 3 : remise des gaz 2 PF/CDB

Equipage	C	D	E	G	H	J	K
Nom	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)
Hors Zones	19,4	22,1	21,6	32,4	38,7	36,7	20,2
VITESSE	21,4	15,8	15,5	10,4	11,0	17,3	17,8
HORIZON	3,9	7,2	13,2	15,8	4,4	7,8	25,6
ALT	15,1	9,9	20,0	7,5	6,6	6,4	7,5
HDG	0,0	0,5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2
FMA	7,0	7,3	8,6	5,7	7,4	4,4	3,1
ND	14,0	12,8	7,7	10,8	15,8	13,0	7,3
ECAM	3,4	13,5	1,5	10,4	0,1	1,7	3,2
EXT	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1
FCU	11,7	6,0	6,7	4,8	14,0	9,2	13,3
DUREE	55,0	50,0	75,0	65,0	70,0	50,0	60,0

Figure 4 : remise des gaz 2 PNF/OPL

Equipage	B	C	D	G	I	J	K
Nom	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)
Hors Zones	3,4	0,6	17,7	22,7	3,1	17,9	15,5
VITESSE	26,5	47,5	24,5	17,1	18,0	19,9	15,5
HORIZON	36,0	21,4	8,9	20,1	28,2	13,5	20,5
ALT	13,9	16,3	10,1	10,3	15,5	15,8	8,3
HDG	0,0	0,4	0,3	0,1	0,1	0,6	2,0
FMA	5,5	7,7	5,2	13,5	24,0	6,5	18,7
ND	5,1	2,6	22,5	11,5	5,2	15,6	9,3
ECAM	1,3	0,8	5,7	0,6	2,8	2,2	0,6
EXT	0,2	0,0	0,6	1,0	0,0	0,0	1,7
FCU	1,5	0,0	0,5	0,0	1,0	3,8	3,9
DUREE	55,0	65,0	55,0	55,0	80,0	85,0	90,0

Figure 5 : remise des gaz 3 PF/OPL

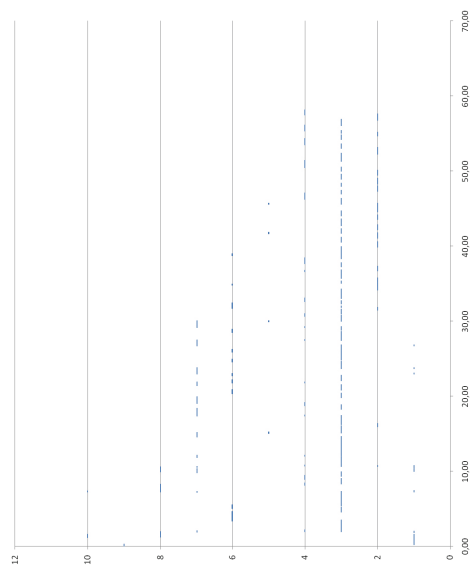
Equipage	B	C	D	F	G	J	K
Nom	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)	Durée (%)
Hors Zones	30,4	21,2	23,8	25,1	18,1	33,2	29,9
VITESSE	16,7	27,4	15,9	7,4	10,8	17,6	12,5
HORIZON	15,0	7,8	9,0	13,5	13,7	4,9	7,8
ALT	13,9	19,6	23,7	12,0	15,5	7,2	9,1
HDG	0,3	0,6	1,1	0,5	0,0	1,6	0,4
FMA	5,5	5,8	3,9	12,2	8,3	2,7	9,5
ND	6,8	5,7	13,5	10,6	12,5	12,4	3,0
ECAM	4,2	6,0	1,7	10,5	14,4	0,1	1,0
EXT	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,0
FCU	3,5	4,4	1,9	4,2	3,7	14,2	22,6
DUREE	55,0	65,0	55,0	65,0	55,0	85,0	90,0

Figure 6 : remise des gaz 3 PNF/CDB

Répartition temporelle de l'observation des zones d'intérêts pour la remise de gaz 1

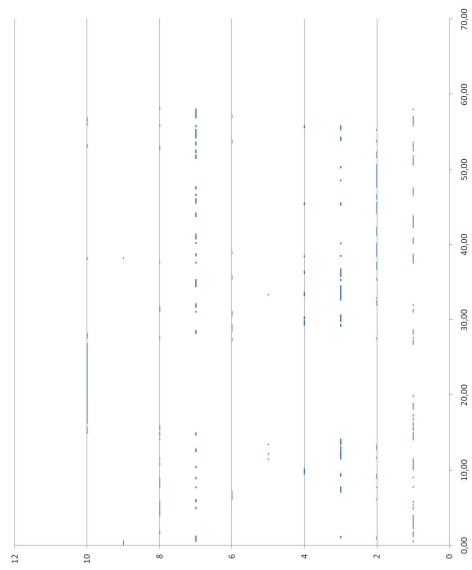


Session3 CDB RDG1



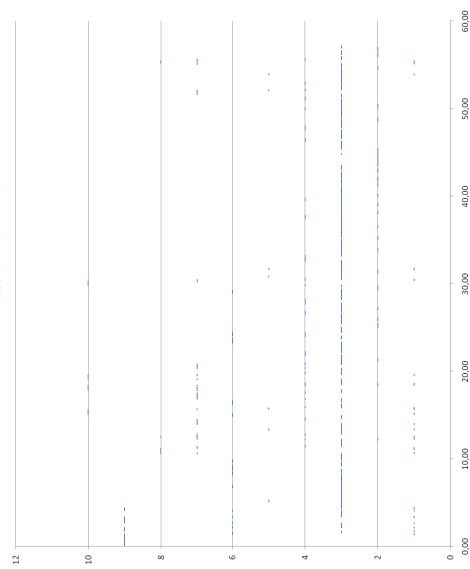
- Session3 CDB RDG1

Session3 OPL RDG1



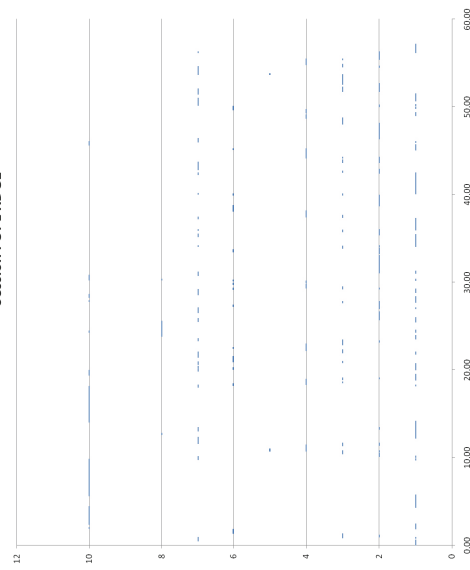
- Session3 OPL RDG1

Session4 CDB RDG1



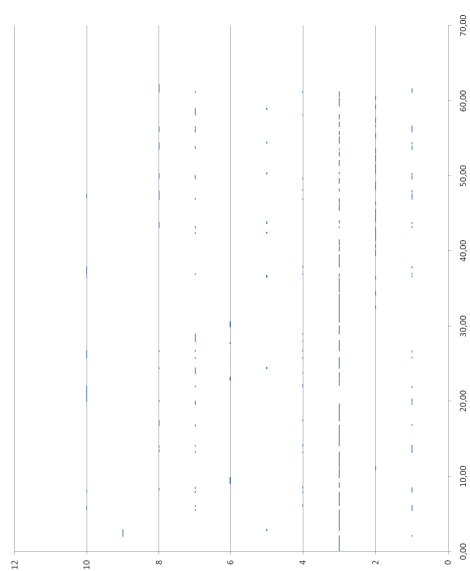
- Session4 CDB RDG1

Session4 OPL RDG1



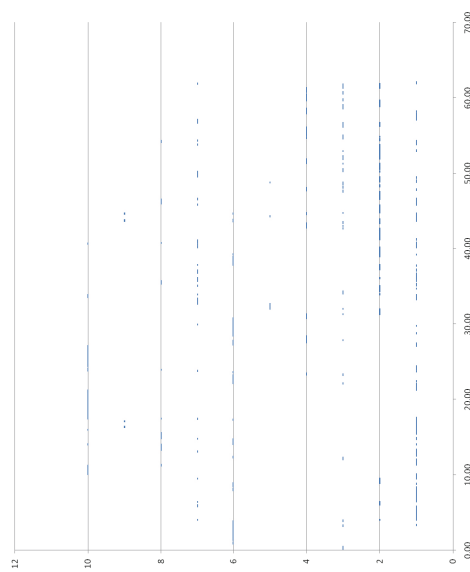
- Session4 OPL RDG1

Session5 CDB RDG1



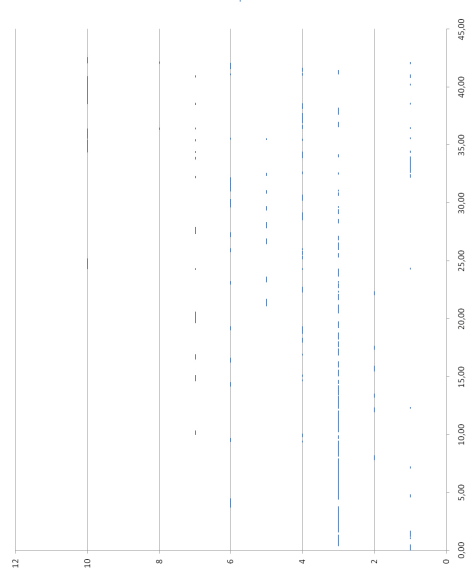
- Session5 CDB RDG1

Session5 OPL RDG1



- Session5 OPL RDG1

Session6 CDB RDG1



- Session6 CDB RDG1

Session7 CDB RDG1



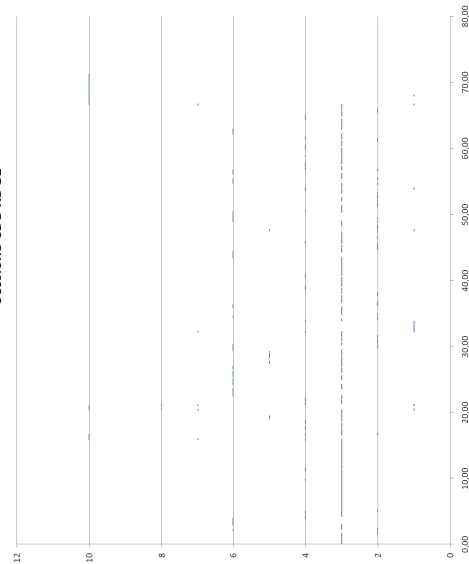
- Session7 CDB RDG1

Session7 OPL RDG1



- Session7 OPL RDG1

Session8 CDB RDG1



- Session8 CDB RDG1

Session8 OPL RDG1



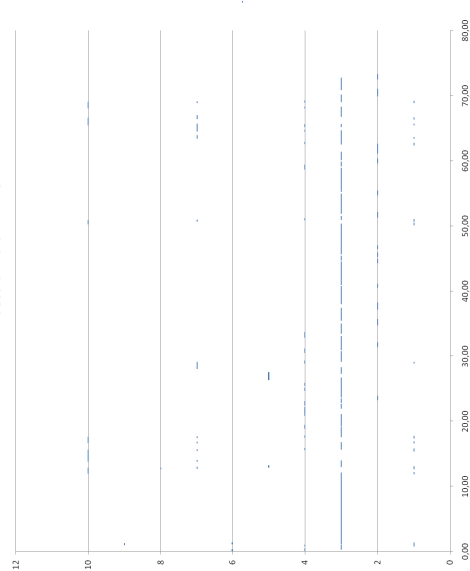
- Session8 OPL RDG1

Session9 OPL RDG1



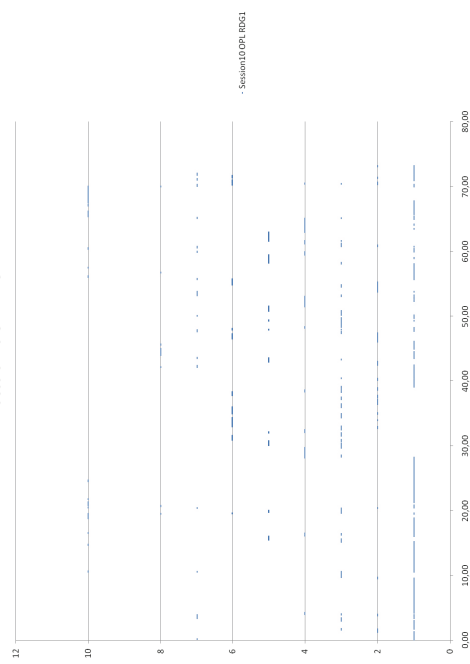
- Session9 OPL RDG1

Session10 CDB RDG1



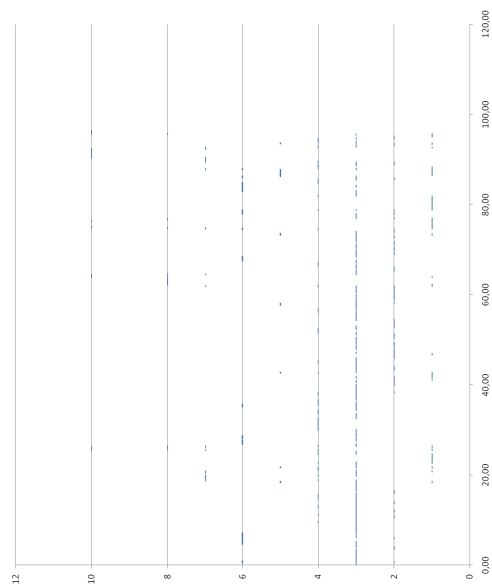
- Session10 CDB RDG1

Session10 OPL RDG1



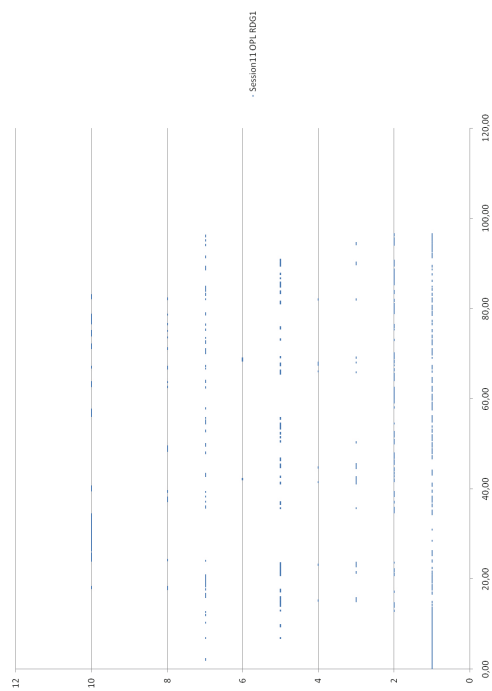
- Session10 OPL RDG1

Session11 CDB RDG1



Session11 CDB RDG1

Session11 OPL RDG1



Session11 OPL RDG1