



**HAL**  
open science

## **Peut-on définir des critères objectifs de mauvaise tolérance des cals vicieux de l'humérus proximal ?**

Aude Griffart, Pauline Joly-Monrigo, Julien Andrin, Cyril Lazerges, Michel Chammas, Bertrand Coulet

### ► To cite this version:

Aude Griffart, Pauline Joly-Monrigo, Julien Andrin, Cyril Lazerges, Michel Chammas, et al.. Peut-on définir des critères objectifs de mauvaise tolérance des cals vicieux de l'humérus proximal?. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique*, 2019, 105, pp.167 - 175. <10.1016/j.rcot.2019.01.001>. <hal-03486544>

**HAL Id: hal-03486544**

**<https://hal.science/hal-03486544v1>**

Submitted on 21 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License

Mémoire original

## ***Peut-on définir des critères objectifs de mauvaise tolérance des cals vicieux de l'humérus proximal ?***

**Can Objective Criteria for Poor Tolerance of Proximal Humerus Malunion Be**

**Identified?**

Aude **Griffart**<sup>1</sup>, Pauline **Joly-Monrigal**<sup>2</sup>, Julien **Andrin**<sup>2</sup>, Cyril **Lazerges**<sup>2</sup>, Michel **Chammas**<sup>2</sup>, Bertrand **Coulet**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Service de chirurgie orthopédique, Hôpital de La Cavale Blanche, CHU, Boulevard Tanguy Prigent, 29200 Brest Cedex, France

<sup>2</sup>Service de chirurgie de la main et du membre supérieur, Chirurgie des nerfs périphériques, Hôpital Lapeyronie, CHU, 371 avenue du doyen Gaston Giraud, 34 000 Montpellier Cedex, France

**Auteur correspondant :** A Griffart, Service de chirurgie orthopédique, Hôpital de La Cavale Blanche, CHU, Boulevard Tanguy Prigent, 29200 Brest Cedex, France

Tel.: +33 298 347 703

E-mail: [audegriff@hotmail.com](mailto:audegriff@hotmail.com)

Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais celle de l'article original paru dans *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, en utilisant le DOI ci-dessus.

## Résumé

*Introduction.* – Les cal vicieux (CV) de l'extrémité proximale de l'humérus (EPH) sont fréquents et de tolérance variable. Les classifications de CV s'appuient sur des clichés radiographiques standard qui sous-estiment le déplacement des éléments osseux et manquent de précision. La tolérance clinique des CV est subjective, une reprise chirurgicale n'est pas toujours nécessaire. L'objectif principal est de valider la reproductibilité et la pertinence des mesures des 4 angles décrits dans une population témoin puis dans une population de CV. Secondairement nous évaluerons l'existence de valeurs seuils des mesures pour évaluer leur corrélation avec la tolérance clinique des CV.

*Matériels et méthodes.* – Les angles décrits cherchent à quantifier la dysharmonie de l'EPH en considérant l'axe de la tête humérale (TH) par rapport à la glène dans les plans frontal (angle TGF) et axial (angle TGA), la divergence des tubérosités dans le plan axial angle d'ouverture tubérositaire (AOT) et l'orientation de la TH par rapport à la diaphyse humérale dans le plan frontal angle CCD.

Dans un premier temps la reproductibilité des mesures a été évaluée dans une population témoin et sur 46 CV de EPH.

La reproductibilité du choix des coupes repères a été vérifiée. La reproductibilité intra et inter observateur des mesures a été évaluée.

Dans un second temps parmi les CV deux sous-groupes ont été individualisés selon leur tolérance clinique afin d'individualiser les paramètres dysharmoniques discriminants. La mauvaise tolérance était définie cliniquement par une limitation fonctionnelle et une reprise chirurgicale.

*Résultats.* – La reproductibilité de la sélection des coupes repères a été validée. Après analyse des graphiques de Bland et Altman les mesures dans la population saine et pathologique sont reproductibles à  $\pm 2$ SDS. Le coefficient de corrélation intra classe (ICC) était majoritairement moyen à très bon pour l'ensemble des mesures pour les épaules saines et pathologiques.

L'AOT était plus élevé à  $72^\circ$  dans le groupe CV que témoin  $56,1^\circ$  ( $p < 0,05$ ), avec une moyenne plus faible  $69,5^\circ$  dans le sous-groupe mal toléré vs  $75,8^\circ$  dans le groupe bien toléré ( $p < 0,05$ ). L'angle CCD du groupe CV était plus faible  $125,9^\circ$  [ $122,9-128,9$ ] que dans le groupe témoin  $129,8^\circ$  [ $128,3-131,3$ ].

L'angle CCD était plus élevé de façon statistiquement significative dans le sous-groupe CV bien toléré  $131,4^\circ$  vs  $122,3^\circ$  que mal toléré  $p = 0,007$ .

L'angle TGF est plus ouvert de façon significative  $66,6^\circ$  dans le groupe CV vs  $52,2^\circ$  dans le groupe témoin.

L'angle TGA est plus élevé dans le groupe CV  $17,5^\circ$  vs  $13,3^\circ$  groupe témoin ( $p = 0,55$ ).

*Discussion.* – La méthode décrite permet de quantifier la dysharmonie post fracturaire de l'EPH à partir de 4 paramètres : TGA, TGF, AOT et CCD avec une bonne reproductibilité intra et inter observateur des mesures sur scanner. Ces paramètres diffèrent et augmentent significativement en cas de CV par rapport à une population témoin. La comparaison de ses paramètres deux groupes de CV selon leur tolérance nous a permis d'identifier le rôle

péjoratif joué par la diminution de l'angle AOT, CCD et TGA simultanément à l'augmentation de l'angle TGF.

Niveau de preuve : IV, étude clinique rétrospective

Mots clefs : cal vicieux, épaule, fractures, reproductibilité inter et intra observateur, scanner

## Introduction :

Les fractures de l'extrémité supérieure de l'humérus (FEPH) sont fréquentes avec une incidence de 246 pour 100 000 [1] et pourvoyeuses de cal vicieux (CV).

La restauration de l'anatomie de l'épaule est garante des résultats fonctionnels [2,3]. Les cal vicieux sont secondaires à un défaut de réduction initiale ou à un déplacement secondaire [2,4-5] suite à un traitement orthopédique (22- 80%) ou chirurgical (20-35%) [6-7].

La consolidation de l'extrémité proximale de l'humérus en « mauvaise position » (malunion des anglos saxons) est pourvoyeuse de douleur et de raideur. La restitution anatomique stricte après FEPH est rare, cependant tous les CV ne sont pas mal tolérés et n'imposent pas une solution chirurgicale. La tolérance du CV est liée à une dysharmonie entre les tubérosités, la tête humérale (TH) et la glène.

Les classifications de CV sont radiographiques [8,9]. Celle de Boileau [9], la plus couramment utilisée guide la stratégie thérapeutique mais n'apprécie pas les facteurs de tolérance clinique des CV. L'analyse du déplacement des tubérosités, de la TH et de la glène sur des radiographies standards est difficile et manque de précision (positionnement des tubérosités sous-estimé dans le plan axial sur les radiographies)[2,8].

La tomodensitométrie avec ou sans injection et les reconstructions 3D sont devenues nécessaires dans l'analyse des fractures de l'épaule et des CV [2,3,6,10-12].

A notre connaissance la littérature ne rapporte pas de méthode de mesures tomodensitométriques objectives et validées évaluant la dysharmonie entre les composants du CV : tubercule mineur (TMIN), tubercule majeur (TMAJ), TH et glène. Le seuil de dysharmonie responsable de la mauvaise tolérance clinique du CV n'est pas connu à ce jour.

Notre objectif principal est de décrire des paramètres scannographiques objectifs et reproductibles quantifiant la dysharmonie morphologique du CV. Nous validerons en premier lieu la reproductibilité des mesures dans une population témoin puis dans une

population de CV. L'objectif secondaire est de vérifier l'existence d'une relation entre ces valeurs et la tolérance clinique du CV.

## Matériels et méthodes :

### Description de la population (figure 1)

#### Groupe témoin

Un groupe témoin aléatoire sans antécédent chirurgical, d'instabilité ou de laxité constitué de 30 scanners ou arthroscanners consécutifs d'épaules saines d'adulte a été créé. Les patients susceptibles de présenter des lésions osseuses, capsulo-ligamentaires glénoïdiennes et/ou humérales ont été exclus de cette population.

#### Groupe CV

Depuis 2000, nous avons identifié dans notre service 61 dossiers de CV de l'EPH.

Le CV était défini par la présence d'au moins un des critères radiologiques suivants [2,9] :

- déplacement postéro supérieur du TMAJ de plus d'un centimètre
- déplacement médial du TMIN de plus d'un centimètre
- angle cervico diaphysaire inférieur à 120 ° ou supérieur à 140°
- associé ou non à une ostéonécrose de la TH, la présence d'un séquestre nécrotique était précisé

Le déplacement des tubérosités par rapport à leur position d'origine sont évaluées sur le scanner en coupe frontale et sagittale pour le TMAJ et axiale pour le TMIN. La distance entre leur position sur le scanner et leur emplacement « anatomique » était mesurée en centimètre. L'angle cervico diaphysaire était mesuré sur la coupe frontale du scanner.

Le dossier devait posséder des radiographies standard de face et de profil exploitables ainsi qu'un scanner permettant l'analyse des critères définis a priori dans notre étude.

Au sein de cette population nous avons identifié deux sous-groupes. Le premier de 28 CV opérés secondairement en raison d'une mauvaise tolérance clinique (raideur, douleur, nécrose). Dans ce sous-groupe 16 présentaient une ostéonécrose de la TH dont 4 étaient associés à un séquestre nécrotique.

La « mauvaise tolérance » d'un CV était définie par la reprise chirurgicale et un score UCLA faible (<29 points). La chirurgie devait être motivée par : la douleur, la raideur ou les 2. La raideur devait être responsable d'une limitation des amplitudes fonctionnelles utiles, comparée au côté sain et responsable d'une gêne dans la vie quotidienne. La douleur définie par une EVA à 6 au repos devait être accompagnée d'une raideur pour être considérée comme un critère de mauvaise tolérance.

Les critères d'exclusion étaient : reprise chirurgicale pour gêne sur matériel isolée et algoneurodystrophie.

La « bonne tolérance » (18 patients) était définie par la satisfaction du patient dans l'utilisation de son épaule dans les actes de la vie quotidienne, l'absence de reprise chirurgicale du CV et un score d'UCLA bon (29-33) ou excellent (34-35). (Figure 1). Dans ce sous-groupe 10 patients avaient une ostéonécrose, aucun n'était associé à un séquestre nécrotique.

## Méthode de mesure

Les 4 angles décrits modélisent les rapports convergents ou divergents entre les éléments osseux structuraux du CV : TMAJ, TMIN, TH, glène et la diaphyse humérale dans les plans frontaux et axiaux. Ces angles représentent la dysharmonie morphologique induit par le CV. Les mesures ont été réalisées sur une coupe unique dans les trois plans de l'espace (frontal, sagittal et axial).

La position des points TMAJ et TMIN a été définie par le centre de ces structures anatomiques sur la coupe axiale du scanner. Le point a été placé au centre de la tubérosité. Puis les distances entre ce point et le centre de la glène ont été mesurées avec l'outil de mesure du logiciel Osirix®.

## Ces angles mesurent

- l'orientation de la TH par rapport à la glène dans le plan frontal et axial : l'angle TH/ glène frontal (TGF) et l'angle TH/glène axial (TGA) (figure 2 à 5)
- la divergence des tubérosités par rapport à un point fixe dans le plan axial : l'angle d'ouverture tubérositaire (AOT) (figure 6 et 7). L'AOT correspond à l'angle formé par la réunion des deux droites reliant respectivement le TMIN et le TMAJ au centre de la glène
- l'orientation de la calotte par rapport à la diaphyse humérale dans le plan frontal : l'angle cervico diaphysaire (CCD) (figure 2).

A l'aide du logiciel en 2D Multi-Planaires bidirectionnelles (MPR) on définissait une coupe de référence dans chacun des plans suivants : frontal, sagittal et axial. La méthode de sélection des coupes était standardisée (figure 8 et 9).

Les mesures ont été effectuées sur des scanners ou arthro-scanners d'épaule anonymisés numérisés en décubitus dorsal et en rotation neutre, bras le long du corps coude en

extension. Les TDM des membres supérieurs étaient réalisés avec un Revolution GSI General Electric CT, 64 barrettes, 1 barrette 0,625mm, colimation 40mm, 120Kv, automA.

Les calculs ont été faits sur le logiciel Osirix ® v. 5.7 32bit Pixmeo Bernex Suisse pour les angles (en degré), les longueurs (en centimètres (cm)) et la surface en cm<sup>2</sup>.

## Analyse statistique

Deux médecins séniors indépendants n'ayant pas traité les patients ont effectué les mesures à 2 mois d'intervalle.

Notre travail comprend deux parties :

- la validation de la méthode de mesure dans une population témoin (30 scanners d'épaules consécutifs sans antécédents traumatiques, ni chirurgical, ni de lésions capsulo ligamentaires) et dans le groupe de 46 CV
- l'analyse des résultats et leur comparaison entre le groupe témoin et CV puis entre les 2 sous-groupes de CV : bien et mal tolérés.

Une analyse descriptive des variables (valeurs moyennes, variance, écart type, intervalle de confiance, minimale et maximale) a été réalisée dans les 2 groupes. Les mesures ont été analysées selon une régression logistique non paramétrique de Mann-Whitney. Le seuil pour observer une différence statistiquement significative a été arbitrairement fixé à  $p \leq 0,05$  avec un intervalle de confiance à 95%.

La méthode de Bland et Altman [13-14] a été choisie pour déterminer la reproductibilité intra et inter observateur. Une erreur à  $\pm 2DS$  a été définie a priori comme acceptable. La moyenne des différences entre les 2 mesures de chaque observateur et les intervalles de confiance à 95% ont été calculés. Le coefficient de corrélation intra classe (ICC) a été calculé pour évaluer la corrélation intra et inter observateur selon la méthode largement décrite dans la littérature [15-16]. L'ICC a été interprété selon Fleiss et al [17] :

- supérieur à 0,75 : excellent
- 0,6 à 0,75 : bon
- 0,4 à 0,6 : moyen
- moins de 0,4 : mauvais

Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel MedCalc© (version 16.8 Ostende Belgique).

## Résultats

### Reproductibilité et corrélation inter et intra observateur des mesures

Les graphiques de Bland et Altman révélait une bonne reproductibilité des mesures décrites en intra et inter observateur dans les groupes témoin et CV (figure 10).

Dans le groupe témoins les valeurs les plus reproductibles étaient en intra et inter observateurs TGF intra 1 IC95% [-13,9-14,4], l'AOT intra 2 IC95% [-18,9-9,5], TGA intra 1 IC95% [-2,7-1,3].

Les valeurs les plus reproductibles dans le groupe CV étaient l'AOT : inter 1 IC95% [-40,6-15,3] ; TGA inter 2 IC95% [-22,5-34,1] et TGF en inter 2 IC95% [-38,3-26,9], et intra 1 IC95% [-25,1-22] (figure 11).

La majorité des valeurs ont une corrélation intra observateur bonne à excellente. L'ICC TGF est bon à excellent en intra et inter observateur dans le groupe CV. L'ICC de l'AOT est moyen à excellent dans le groupe CV.

Les mesures TGF, CCD, TGA dans le groupe CV ont un ICC excellent à moyen (intra et inter observateur (tableau 1 et 2).

Les distances TMING, TMAJG étaient majoritairement reproductibles en intra et inter observateur dans les 2 populations (tableau 1 et 2).

La corrélation du choix des coupes repères évaluée par l'ICC était moyenne à bonne dans le groupe témoin et moyenne à excellente dans le groupe CV (tableau 1 et 2).

### Pertinence des variables

Les résultats des moyennes des distances en centimètres et des angles en degrés avec leur p sont présentés dans les tableaux 3 à 5.

Il existe une différence significative entre les angles décrits dans une population saine et une population de CV.

La distance TMING était plus élevée 4,01cm[3,9-4,2] dans le groupe témoin que dans le groupe CV 3,31cm[3,2-3,4]  $p<0,05$ . Il en était de même pour la distance TMAJG (tableau3). Il existe une différence statistiquement significative des distances TMING entre les 2 sous-groupes de CV. Dans le sous-groupe CV mal toléré la longueur TMING est plus courte 3,4cm vs 3,8cm pour le groupe bien toléré. La distance TMAJG est plus importante dans le groupe CV mal toléré.

L'AOT était plus élevé à 72,0° dans le groupe CV que témoin 56,1° ( $p<0,05$ ), avec une moyenne plus faible 69,5° dans le sous-groupe mal toléré vs 75,8° dans le groupe bien toléré ( $p<0,05$ ).

L'angle CCD (reflet de la consolidation en varus ou valgus) du groupe CV était plus faible 125,9°[122,9-128,9] que dans le groupe témoin 129,8°[ 128,3-131,3].

L'angle CCD était plus élevé de façon statistiquement significative dans le sous-groupe CV bien toléré 131,4° vs 122,3° que mal toléré  $p=0,007$ .

L'angle TGF est plus ouvert de façon significative 66,6° dans le groupe CV vs 52, 2° dans le groupe témoin.

L'angle TGF est plus ouvert dans le groupe CV mal toléré 70,6° vs 60,3° (groupe cv bien toléré) ( $p=0,05$ ).

L'angle TGA est plus élevé dans le groupe CV 17,5° vs 13,3° groupe témoin ( $p=0,55$ ). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les 2 sous-groupes de CV 17,5° vs 16,6°.

## Discussion

### Méthode de mesure

Nos résultats sont en faveur d'une reproductibilité et d'une bonne corrélation dans la sélection des coupes repères et dans les mesures de longueurs et d'angle dans les 2 groupes.

Dans le groupe CV tous les angles ont une corrélation bonne à excellente. Tous les angles sauf AOT et TGA sont reproductibles et ont une bonne corrélation dans le groupe témoin.

Nous expliquons la mauvaise corrélation des valeurs AOT et TGA en inter observateur dans le groupe témoin par l'absence de déplacement de la calotte et des tubérosités. Ces mesures ne peuvent être utilisées qu'en cas de déplacement significatif de la calotte et des tubérosités.

Budge et Armstrong [18] se réfèrent au plan de la scapula dans l'espace 3D pour neutraliser le biais lié à la position de l'épaule au moment de l'acquisition des images. Néanmoins cette méthode ne supprime pas les variations anatomiques individuelles.

Les mesures non reproductibles (hors borne) dans le groupe CV pour l'angle TGF sont deux patients présentant une nécrose céphalique et perte de la sphéricité de la TH. La prise des points repères de la TH semble plus aléatoire dans ces cas.

La courbe d'apprentissage de ces mesures est rapide et notre méthode de mesure est fiable dans le groupe de CV.

### Pertinence des variables

L'accourcissement significatif des longueurs TMING et TMAJG dans le groupe CV par rapport au groupe témoin est le reflet de l'impaction ou de la nécrose de la TH lors de la consolidation.

Nous observons une différence significative entre le groupe CV mal toléré où TMING est plus faible que dans celui des bien tolérés. Elle reflète ainsi la médialisation du TMIN et la consolidation postérieure du TMAJ sur les coupes axiales.

C'est un fait anatomique que nous quantifions.

L'angle AOT, témoin de la divergence des tubérosités est plus ouvert dans le groupe CV car lors de la consolidation la GT est attirée en arrière par l'infra épineux et la PT médialisée par le sous scapulaire.

Ce qui concorde avec le raccourcissement des longueurs TMING et TMAJG dans le groupe CV.

Avec l'utilisation d'un point de référence axial fixe : le centre de la glène nous avons pu prouver et chiffrer des valeurs moyennes de cette réalité anatomique. L'AOT est plus fermé dans le sous-groupe CV mal toléré que bien toléré cette mesure est expliquée par l'abaissement et la médialisation du tubercule mineur et ou la position postérieure du tubercule majeur (Duparc [2]).

L'AOT reflète l'harmonie de la position des tubérosités et confirme leur malposition respective comme un critère de CV. La malposition du tubercule majeur était déjà connue [19,20] mais n'était pas envisagée par rapport à celle du tubercule mineur dans le plan axial.

Nous pouvons corrélérer ces mesures à la tolérance clinique du CV. Plus le tubercule mineur et majeur sont rétractés, plus l'AOT est fermé. Les tendons sus épineux et sub scapulaires s'y insérant, la limitation fonctionnelle est mal tolérée au-dessous de 70° dans nos sous-groupes.

Les valeurs plus élevées des angles TGA et TGF dans le groupe CV sont le témoin objectif d'une réduction de la surface articulaire entre l'humérus et la scapula avec une bascule inférieure de la calotte céphalique dans le plan frontal et postérieure dans le plan axial.

L'augmentation de l'angle TGF est liée à la réduction de la surface de contact entre la TH et la glène (figure 12). La tolérance des CV est directement impactée par la diminution de l'angle TGF. La réduction de cette surface de contact se traduit biomécaniquement par une perte de surface de glissement articulaire.

L'angle TGF semble être relié à une bonne tolérance du CV jusqu'à une valeur seuil de 60°.

Nous avons pu quantifier la dysharmonie du CV : un angle AOT ouvert (>70°), un angle TGA ouvert (>16°), un angle TGF augmenté (>60°) et une distance TMING raccourcie (<4cm) définissent un CV.

Les angles AOT (<70°), TGF (>65°) et CDD (< 125°) semblent être les critères seuils de mauvaise tolérance du CV (figure13).

Ce travail utilise le scanner dans les 2 plans de l'espace pour évaluer la malposition des éléments osseux : tubérosités, TH et la glène des CV d'épaule. Couplé aux radiographies ces mesures tomodensitométriques permettent de juger avec plus de précision et moins de sous-estimation les rapports des éléments osseux, leurs positions respectives dans les trois plans de l'espace. Nous n'avons pas d'autres séries de ce type pour comparer nos valeurs moyennes.

Le scanner est un outil déjà validé pour l'expertise des CV, de nouveaux guides de correction de CV ont été conçus. Ceux-ci utilisent la planification préopératoire en 3D [21].

Nous avons pu confirmer la bonne reproductibilité et la fiabilité des mesures décrites ainsi que leur pertinence pour retrouver des valeurs d'angles seuils pertinents pour distinguer un groupe de CV d'une population saine et deux sous-groupes de CV.

Cette étude confirme la fiabilité des mesures décrites sur les scanners d'épaule pathologique. Et la courbe d'apprentissage de cette méthode est rapide.

Il nous semble indispensable de coupler cette évaluation scannographique aux autres données cliniques.

Ces mesures tomodensitométriques permettent d'évaluer le positionnement relatif des éléments structuraux osseux de l'épaule lors de séquelles de fracture. Nous avons décrit des critères objectifs, fiables et reproductibles des malpositions osseuses corrélées à une réalité anatomique et clinique. Une étude prospective comparant des groupes homogènes de CV

pourrait intégrer ces angles dans la constitution d'un score avec des valeurs seuils prédiction de mauvaise tolérance clinique.

## Limites de l'étude

Notre étude présente certains biais, notamment dans le positionnement des points de références utilisés pour le calcul des angles et longueurs.

Le choix du point de référence sur la glène pour les mesures d'angles AOT, TMAJG et TMING est subjectif.

L'importance de ce biais a été évaluée avant le début de l'étude par l'étude de la reproductibilité du choix des points de référence par 3 observateurs différents. Chacun d'eux reportait le point qu'il définissait comme le centre du TMIN, TMAJ, centre de la glène. Cette épreuve était répétée 3 fois à plusieurs jours d'intervalle. Les références des points choisis ont été reportées dans un plan tridimensionnel. L'écart entre les points reportés était minime. Et la méthode de choix de la coupe repère et de mesure a donc été considérée fiable.

Des variations de mesures peuvent être soumises à la rotation du bras lors de l'acquisition des images. Toutes les images ont été acquises décubitus dorsal et en rotation neutre, bras le long du corps coude en extension.

Nous n'avons pas trouvé d'autres mesures pour limiter ce biais.

Les mesures en cas de CV avec nécrose de la TH sont soumises à plus de variations.

En effet, la perte de la sphéricité de la TH, l'impaction de celle-ci et des tubérosités perturbe les repères anatomiques. On peut supposer que le positionnement des TMIN et TMAJ est moins fiable en cas d'ostéonécrose.

Les mesures non reproductibles (hors borne) dans le groupe CV pour TGF sont deux patients présentant une nécrose céphalique.

L'angle CCD est connu et mesuré sur les radiographies pour définir une consolidation en valgus ou varus d'un CV.

L'angle CCD que nous avons mesuré sur les scanners est un complément d'analyse dans le plan frontal du CV.

Les CV en varus sont connus pour être moins bien tolérés cliniquement [2,4,8] ceci est corrélé à la moins bonne tolérance du CV entre nos deux sous-groupes de CV (tableau6).

Il existait 14 patients/46 ayant consolidé en varus dans le groupe CV. Ce rapport peut expliquer la différence significative de l'angle CCD entre les groupes témoins et CV.

Il y avait une proportion plus élevée de consolidation en varus dans le groupe CV mal toléré (12 patients /28) que dans le groupe CV bien toléré (2patients/18). Le manque d'homogénéité des 2 sous-groupes impacte les résultats des angles CCD.

L'analyse de l'angle CCD doit se faire avec les autres paramètres définis dans cette étude.

Les angles mesurés utilisent les reconstructions 2 dimensions, nous n'avons pas trouvé de solution pour corrélérer ceci en 3 dimensions.

## Conclusion

Les angles qui nous semblent essentiels à l'analyse tomodensitométrique de la tolérance du cal vicieux sont l'AOT, l'angle TGF et l'angle TGA. L'AOT est le reflet de la divergence tubérositaire dans le plan axial témoin d'une rétraction tubérositaire et fonctionnelle de la coiffe. Les angles TGA et TGF reflètent la surface de contact articulaire utile scapulo humérale dans le plan frontal et axial.

Les angles AOT, TGA, TGF et CCD sont des mesures pertinentes et reproductibles pour analyser les CV sur le scanner.

La méthode décrite est reproductible et fiable dans le groupe CV et témoin.

Ces données d'imagerie sont corrélées à une réalité anatomique que nous sommes parvenus à modéliser en 2D.

## Conflits d'intérêt

Aucun des auteurs n'a de conflit à déclarer.

## Sources de financement:

Aucune

## Contributions des auteurs:

AG et BC: effectuent l'étude et écrivent le manuscrit ;

PJM et JA: écrivent le manuscrit ;

CL et MC: révisent le manuscrit.

## Références

1. Palvanen M, Kannus P, Niemi S, Parkkari J. Update in the epidemiology of proximal humeral fractures. *Clin Orthop*. 2006 Jan;442:87–92.
2. Duparc F. Malunion of the proximal humerus. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR*. 2013 Feb;99(1 Suppl):S1-11.
3. Boileau P, Trojani C, Walch G, Krishnan SG, Romeo A, Sinnerton R. Shoulder arthroplasty for the treatment of the sequelae of fractures of the proximal humerus. *J Shoulder Elbow Surg*. 2001 Aug;10(4):299–308.
4. Mansat P, Bonneville N. Treatment of fracture sequelae of the proximal humerus: anatomical vs reverse shoulder prosthesis. *Int Orthop*. 2015 Feb;39(2):349–54.
5. Siegel JA, Dines DM. Proximal humerus malunions. *Orthop Clin North Am*. 2000 Jan;31(1):35–50.
6. Mansat P, Guity MR, Bellumore Y, Mansat M. Shoulder arthroplasty for late sequelae of proximal humeral fractures. *J Shoulder Elbow Surg*. 2004 Jun;13(3):305–12.
7. Moineau G, McClelland WB, Trojani C, Rumian A, Walch G, Boileau P. Prognostic factors and limitations of anatomic shoulder arthroplasty for the treatment of posttraumatic cephalic collapse or necrosis (type-1 proximal humeral fracture sequelae). *J Bone Joint Surg Am*. 2012 Dec 5;94(23):2186–94.
8. Beredjikian PK, Iannotti JP, Norris TR, Williams GR. Operative treatment of malunion of a fracture of the proximal aspect of the humerus. *J Bone Joint Surg Am*. 1998 Oct;80(10):1484–97.
9. Boileau P, Chuinard C, Le Huec J-C, Walch G, Trojani C. Proximal humerus fracture sequelae: impact of a new radiographic classification on arthroplasty. *Clin Orthop*. 2006 Jan;442:121–30.
10. Doornberg J, Lindenhovius A, Kloen P, van Dijk CN, Zurakowski D, Ring D. Two and three-dimensional computed tomography for the classification and management of distal humeral fractures. Evaluation of reliability and diagnostic accuracy. *J Bone Joint Surg Am*. 2006 Aug;88(8):1795–801.
11. Vlachopoulos L, Schweizer A, Meyer DC, Gerber C, Fürnstahl P. Three-dimensional corrective osteotomies of complex malunited humeral fractures using patient-specific guides. *J Shoulder Elbow Surg*. 2016 Dec;25(12):2040–7.
12. Friedman RJ, Hawthorne KB, Genez BM. The use of computerized tomography in the measurement of glenoid version. *J Bone Joint Surg Am*. 1992 Aug;74(7):1032–7.
13. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet Lond Engl*. 1986 Feb 8;1(8476):307–10.
14. Bland JM, Altman DG. Agreement between methods of measurement with multiple observations per individual. *J Biopharm Stat*. 2007;17(4):571–82.
15. Lee J, Koh D, Ong CN. Statistical evaluation of agreement between two methods for measuring a quantitative variable. *Comput Biol Med*. 1989;19(1):61–70.
16. Romero Morales C, Calvo Lobo C, Rodríguez Sanz D, Sanz Corbalán I, Ruiz Ruiz B, López López D. The concurrent validity and reliability of the Leg Motion system for measuring ankle dorsiflexion range of motion in older adults. *PeerJ*. 2017;5:e2820.
17. Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull*. 1979 Mar;86(2):420–8.
18. Budge MD, Lewis GS, Schaefer E, Coquia S, Flemming DJ, Armstrong AD. Comparison of standard two-dimensional and three-dimensional corrected glenoid version

measurements. *J Shoulder Elbow Surg.* 2011 Jun;20(4):577–83.

19. Vlachopoulos L, Schweizer A, Meyer DC, Gerber C, Fürnstahl P. Three-dimensional corrective osteotomies of complex malunited humeral fractures using patient-specific guides. *J Shoulder Elbow Surg* [Internet]. [cited 2016 Aug 17]; Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1058274616301549>

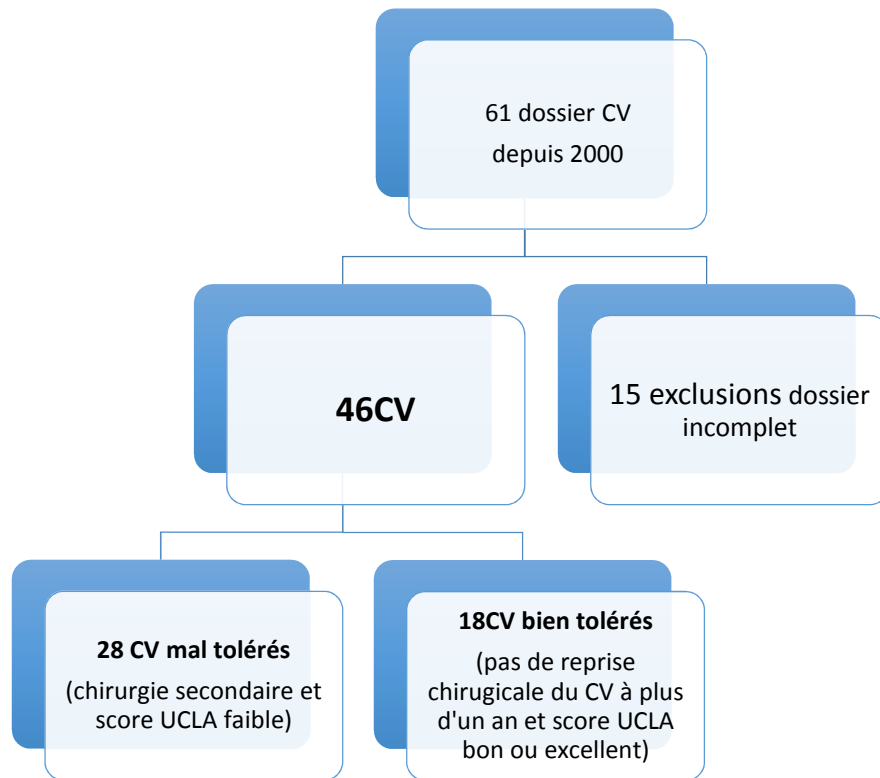


Figure 1 : diagramme de la constitution de la cohorte CV

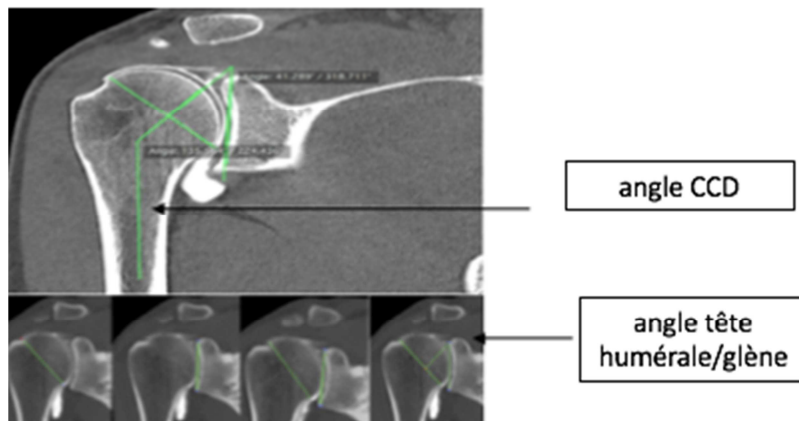
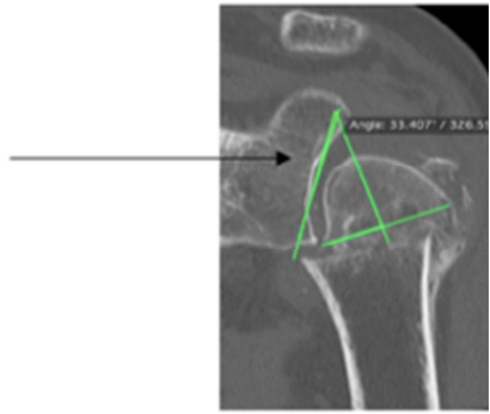


Figure 2 : mesure de l'angle CCD et tête humérale/glène coupe frontale.

- a) axe reliant le pôle supérieur et inférieur de la tête humérale.
- b) axe reliant le pôle supérieur et inférieur de la glène.
- c) les 2 axes sur la même coupe.
- d) angle TGF : axe glène et de la perpendiculaire à l'axe de la calotte.

angle tête humérale glène dans le plan frontal :  
TGF



*Figure 3 : angle tête humérale glène coupe frontal TGF (CV)*

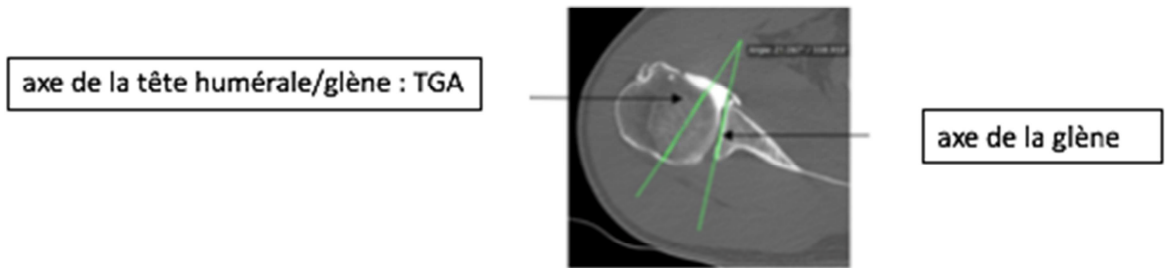
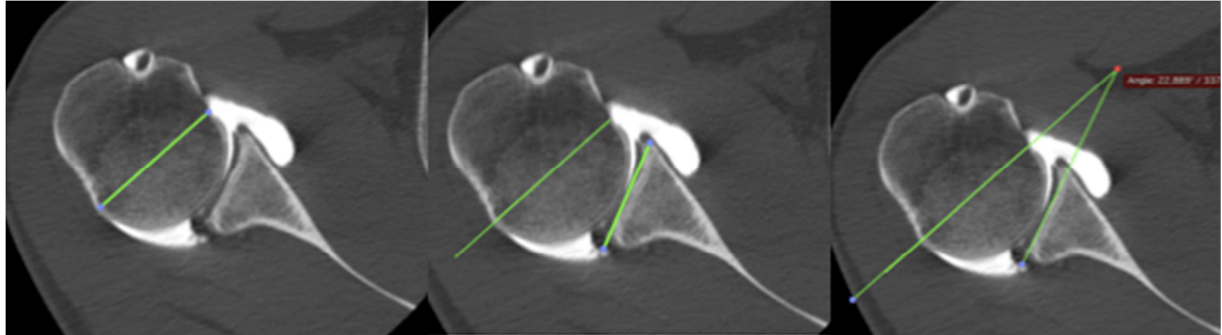


Figure 4 : angle TH/glène sur la coupe axiale : TGA

- a) axe de la TH reliant pole antérieur au pôle postérieur
- b) axe glène (reliant pole antérieur et pôle postérieur
- c) mesure de l'angle TGA : angle entre la TH et la glène

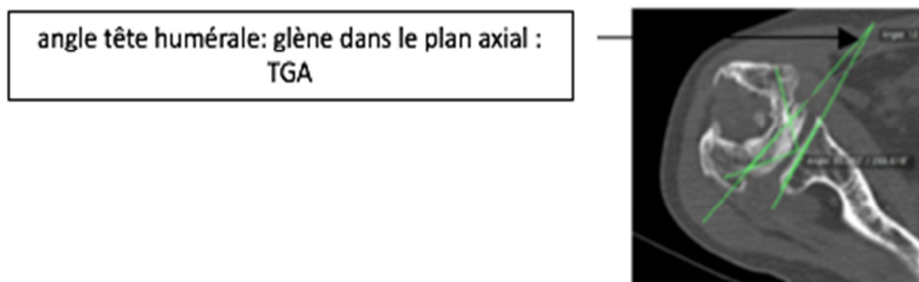


Figure 5 : angle tête humérale glène dans le plan axial TGA (CV)

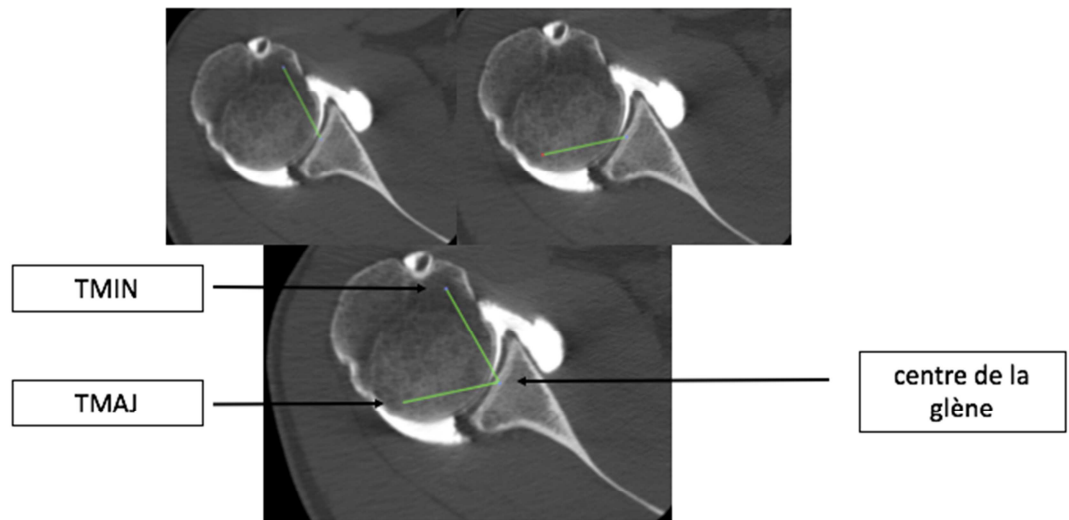


Figure 6 : méthode de mesure de l'angle d'ouverture tubérositaire coupe axiale : a) distance entre le TMIN et le centre de la glène b) distance entre TMAJ-centre de la glène et distance entre le TMIN-centre de la glène. c) angle d'ouverture tubérositaire créée par la réunion des deux droites

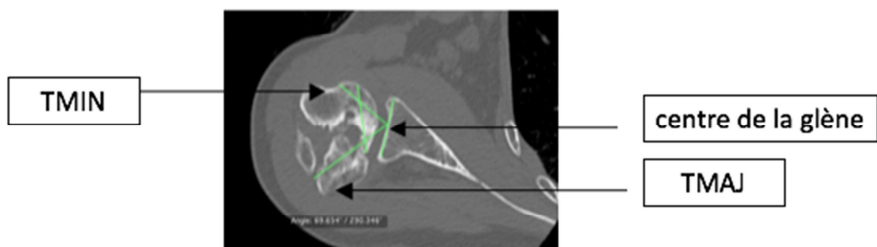


Figure 7 : OAT coupe axiale Cal vicieux



Figure 8 : choix de la coupe repère frontale : étape 1 centrage de la coupe frontale juste avant l'apparition de l'incisure coracoïdienne. Choix de la plus grande surface de la glène (mesure en  $\text{cm}^2$ ).

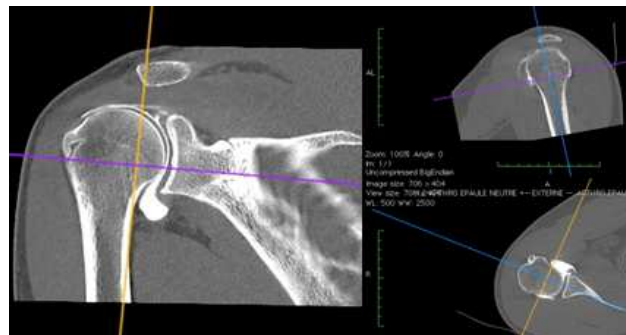


Figure 9 : sélection des coupes repères. Centrage simultané des coupes frontales, sagittale (axe de la diaphyse), axiale visualisation de la tête humérale (TH), PT, GT et de la glène.

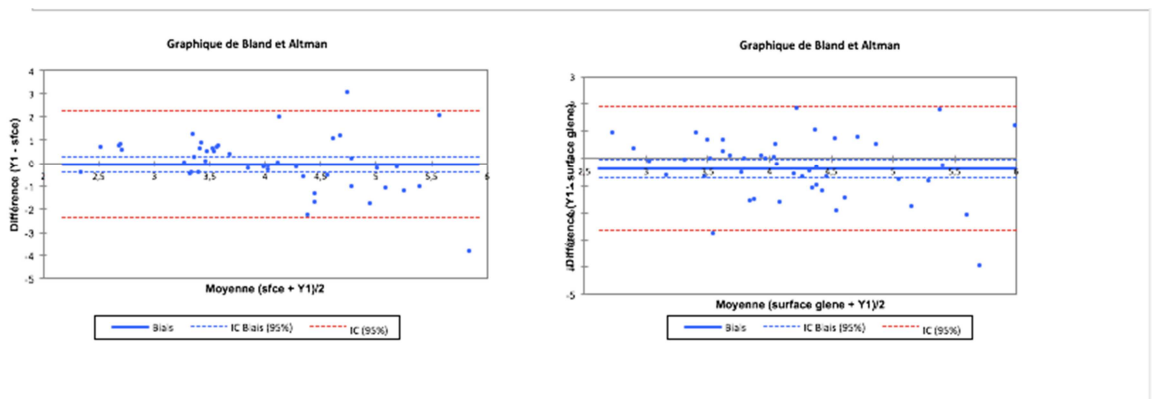


Figure 10 : graphique de Bland et Altman moyenne des SFG intra observateur 1 et inter observateur 2 groupe témoin

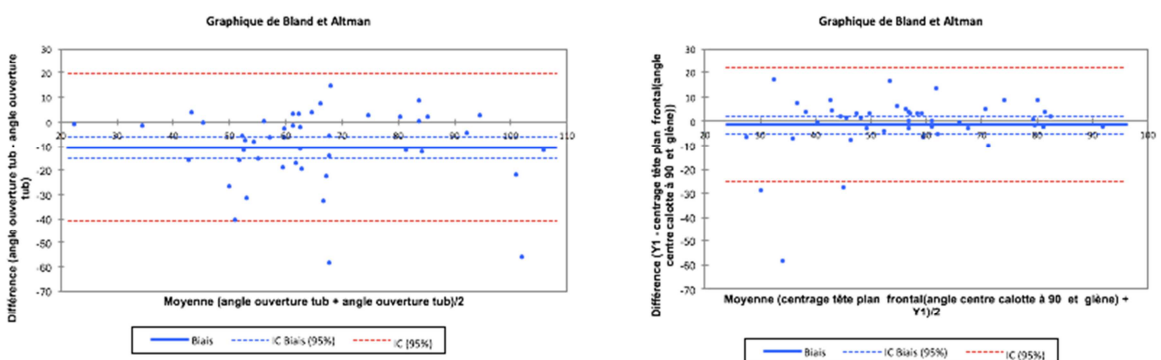
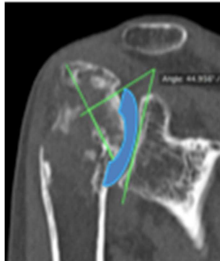


Figure 11 : graphique Bland et Altman moyenne des AOT CV inter observateur 1 et moyenne des CGF intra observateur



*Figure 12 : réduction de la surface de contact scapulo humérale avec l'augmentation de l'angle TGF*

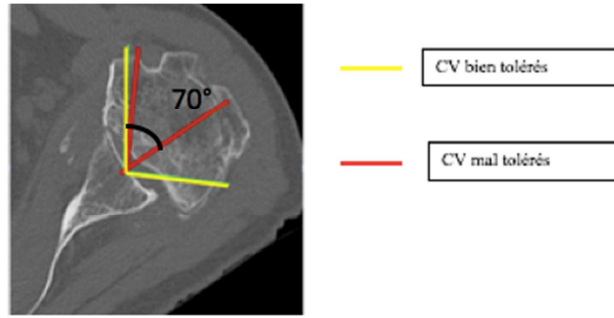


Figure 13 : fermeture de l'AOT corréé à la tolérance clinique du CV.

Icc groupe témoin	Intra observateur IC95%		Inter observateur IC95%	
	1	2	1	2
<b>TGA</b>	<i>0,8[0,5-0,9]</i>	<i>0,8[0,3-0,9]</i>	<i>0,1[-0,1-0,3]</i>	<i>0,1[0,7-0,5]</i>
Catégorie	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>mauvais</b>	<b>mauvais</b>
<b>AOT</b>	<i>0,3[-0,4-0,6]</i>	<i>0,48[-0,04-0,7]</i>	<i>-0,07[-0,4-0,3]</i>	<i>0,03[-0,1-0,1]</i>
Catégorie	<b>mauvais</b>	<b>moyen</b>	<b>mauvais</b>	<b>mauvais</b>
<b>TMING</b>	<i>0,7[0,4-0,8]</i>	<i>0,9[0,8-0,9]</i>	<i>0,8[0,5-0,9]</i>	<i>0,9[0,8-0,9]</i>
Catégorie	<b>bon</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>
<b>TMAJG</b>	<i>0,5[0,04-0,7]</i>	<i>0,9[0,7-0,9]</i>	<i>0,4[-0,2-0,7]</i>	<i>0,4[-0,1-0,7]</i>
Catégorie	<b>moyen</b>	<b>excellent</b>	<b>moyen</b>	<b>moyen</b>
<b>TGF</b>	<i>0,9[0,7-0,9]</i>	<i>0,94[0,8-0,9]</i>	<i>0,9[0,8-0,9]</i>	<i>0,9[0,8-0,9]</i>
Catégorie	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>
<b>CCD</b>	<i>0,9[0,8-0,9]</i>	<i>0,7[0,4-0,8]</i>	<i>0,8[0,5-0,9]</i>	<i>0,9[0,8-0,9]</i>
Catégorie	<b>excellent</b>	<b>bon</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>

Tableau 1 : coefficient de corrélation intra classe du groupe témoin.

Icc groupe CV	Intra observateur IC95%		Inter observateur IC95%	
	1	2	1	2
TGA	<i>0,8[0,6-0,8]</i>	<i>0,9[0,9-0,9]</i>	<i>0,7[0,6-0,8]</i>	<i>0,9[0,9-0,9]</i>
Catégorie	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>
AOT	<i>0,5[-0,2-0,7]</i>	<i>0,8[0,7-0,9]</i>	<i>0,7[0,3-0,8]</i>	<i>0,5[0,3-0,7]</i>
Catégorie	<b>moyen</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>moyen</b>
TMING	<i>0,6[0,4-0,6]</i>	<i>0,8[0,7-0,9]</i>	<i>0,6[0,4-0,8]</i>	<i>0,8[0,7-0,9]</i>
Catégorie	<b>bon</b>	<b>excellent</b>	<b>bon</b>	<b>excellent</b>
TMAJG	<i>0,5[0,1-0,7]</i>	<i>0,9[0,8-0,9]</i>	<i>0,4[-0,2-0,7]</i>	<i>0,4[-0,1-0,7]</i>
Catégorie	<b>moyen</b>	<b>excellent</b>	<b>moyen</b>	<b>moyen</b>

**Tableau 2: coefficient de corrélation intra classe groupe CV.**

TGF	<i>0,6[0,4-0,8]</i>	<i>0,9[0,8-0,9]</i>	<i>0,6[0,6-0,8]</i>	<i>0,7[0,5-0,8]</i>
Catégorie	<b>bon</b>	<b>excellent</b>	<b>bon</b>	<b>bon</b>
CCD	<i>0,9[0,9-1]</i>	<i>0,9[0,8-0,9]</i>	<i>0,9[0,9-1]</i>	<i>0,9[0,9-1]</i>
Catégorie	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>

<b>Variable groupe témoin</b>	<b>TGA</b>	<b>TGF</b>	<b>AOT</b>	<b>CCD</b>	<b>TMING</b>	<b>TMAJG</b>
<b>moyenne</b>	13,8	52,2	56,1	129,8	4,0	4,7
<b>Écart type</b>	6,1	11,3	6,5	5,8	0,6	0,6
<b>variance</b>	37,2	202,6	43,1	34,2	0,3	0,3
<b>95%IC</b>	11,8-14,9	49,4-55,1	54,45-57,8	128,3-131,3	3,9-4,2	4,6-4,7
<b>minimale</b>	5,7	27,5	39,9	112,6	2,5	3,17
<b>maximale</b>	70,7	74,1	78,2	141,3	5,2	6,1

**Tableau 3: tableau des variables du groupe témoin.**

<b>Variable groupe CV</b>	<b>TGA</b>	<b>TGF</b>	<b>AOT</b>	<b>CCD</b>	<b>TMING</b>	<b>TMAJG</b>
<b>moyenne</b>	17,0	66,6	72,0	125,9	3,3	3,6
<b>Écart type</b>	11,0	17,7	20,8	15	0,7	0,8
<b>variance</b>	121,8	313,4	435,6	224,8	0,4	0,6
<b>95%IC</b>	14,8-19,3	63-70,2	67,8-76,3	122,9-128,9	3,2-3,4	3,5-3,8
<b>minimale</b>	3,5	29,8	2,7	82,2	1,2	1,5
<b>maximale</b>	56,9	107,5	130,4	154,2	5,2	6,4

**Tableau 4: variables du groupe CV.**

<b>Comparaison groupe CV/témoin</b>	<b>TGA</b>	<b>TGF</b>	<b>AOT</b>	<b>CCD</b>	<b>TMING</b>	<b>TMAJG</b>
<b>p moyenne</b>	0,01	<0,05	<0,05	0,16	<0,05	<0,05

**Tableau 5: comparaison des p des moyennes groupe CV/groupe témoin.**

	<b>Témoïn</b>	<b>CV</b>	<b>p</b>
<b>AOT</b>	56,1	72,0	<0,05
<b>CCD</b>	129,8	125,9	0,16
<b>TGF</b>	52,2	66,6	<0,05
<b>TGA</b>	13,8	17,0	0,01
<b>TMING</b>	4,01	3,55	<0,05
<b>TMAJG</b>	4,71	4,23	0,53

**Tableau 6: comparaison des moyennes groupe témoïn/groupe CV.**

	<b>CV mal tolérés</b>	<b>CV bien tolérés</b>	<b>p</b>
<b>AOT</b>	69,5	75,8	0,05
<b>CCD</b>	122,3	131,4	0,007
<b>TGF</b>	70,6	60,3	0,05
<b>TGA</b>	17,5	16,6	1,17
<b>TMING</b>	3,4	3,7	0,05
<b>TMAJG</b>	4,1	4,3	0,2

**Tableau 7: comparaison des moyennes entre les 2 sous groupes de CV.**