HAL open science

Séquence d'estimation de l'âge osseux à l'aide de l'association de méthodes manuelle et automatisée : application en médecine légale

C. Delage, T. Le Berre, E. Dumousset, J.M. Garcier, B. Pereira, L. Boyer

To cite this version:

C. Delage, T. Le Berre, E. Dumousset, J.M. Garcier, B. Pereira, et al.. Séquence d'estimation de l'âge osseux à l'aide de l'association de méthodes manuelle et automatisée : application en médecine légale. La Revue de Médecine Légale, 2021, 12 (3), pp.116-125. 10.1016/j.medleg.2021.06.001 . hal-03673749

HAL Id: hal-03673749

https://uca.hal.science/hal-03673749v1

Submitted on 16 Oct 2023

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 Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Version of Record: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878652921000511
Manuscript_31b735211d2a0a0da215e1fb9647173a

Séquence d'estimation de l'âge osseux à l'aide de l'association de méthodes manuelle et automatisée : application en médecine légale.

Sequence for estimating bone age using a combination of manual and automated methods: application in forensic medicine

Liste des auteurs : C. Delage [a] , T. Le Berre [a] E. Dumousset [a] JM. Garcier [b] B. Pereira [c] L. Boyer [a]

[a] Service de radiodiagnostic et imagerie médicale, CHU Gabriel Montpied, 58 Rue Montalembert, 63000, Clermont-Ferrand, France

[b] Service de radiodiagnostic et imagerie médicale, CHU Estaing, 1 Rue Lucie et Raymond Aubrac, 63003, Clermont-Ferrand, France

[c] DRCI CHU Clermont-Ferrand, Unité de Biostatistiques, 7 Place Henri Dunant, 63000, Clermont-Ferrand, France

DELAGE Cédric
Tel : 0682387204
Mail : cdelage@chu-clermontferrand.fr

© 2021 published by Elsevier. This manuscript is made available under the CC BY NC user license
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Résumé

But de l'étude — L'estimation de l'âge osseux fait partie du bilan multidisciplinaire de la détermination de la majorité civile en médecine légale. Plusieurs méthodes diagnostiques permettent cette estimation, mais sont imprécises.

L'objectif était d'étudier l'association d'une double lecture manuelle et une lecture automatisée de l'âge osseux pour la détermination de la majorité civile dans une population générale d'individus de 14.8 à 22 ans.

Patients et méthodes — L'étude a porté sur 137 individus sains, 75 mineurs, 62 majeurs, sélectionnés de façon aléatoire aux seules conditions de se situer dans la tranche d'âge étudiée et d'avoir bénéficié d'une radiographie du poignet gauche de face entre juin 2017 et juin 2019. L'estimation de l'âge osseux a été effectuée de façon anonyme, en aveugle du résultat de la méthode automatisée et de l'âge chronologique, selon l'atlas de Greulich et Pyle, par deux radiologues d'expérience différente, de façon indépendante. La méthode automatisée a ensuite été réalisée avec le logiciel BoneXpert.

Résultats — La concordance inter-observateur était de 0.87 [0.84; 0.91]. L'association d'une double lecture manuelle et d'une lecture automatisée retrouvait 9% de faux positifs soit 12 individus sur 75 mineurs classés majeurs à tort. L'automatisation seule de l'estimation de l'âge osseux était moins performante qu'un lecteur entrainé : 26% contre 22% de faux positifs. L'âge moyen des individus mineurs classés majeurs à tort était de 17.08 ans [15,24; 17,71] après triple analyse.

Conclusion — La détermination de la majorité par l'association d'une double lecture manuelle et une lecture automatisée ne peut être appliquée seule en médecine légale. Un bilan multidisciplinaire est requis.

Summary

Aim of the work — Bone age determination is part of the multidisciplinary assessment of civil majority determination in forensic medicine. Several radiological methods allow this estimation, but imprecisely. The objective was to evaluate the association of a double manual reading and an automated bone age reading for the determination of the civil majority in general population of individuals from 14.8 to 22 years old.

Patients and methods — The study involved 137 healthy individuals, 75 minors, 62 majors, randomly selected. Inclusion criteria were to belong to the age group studied and had had a radiograph of the left hand between June 2017 and June 2019. The bone age determination was performed anonymously, blinded to the results of the automated method and chronological age, according to the Greulich et Pyle atlas, by two radiologists with different experience, independently. The automated method was then performed using BoneXpert software.

Results — Interobserver agreement was 0.87 [0.84; 0.91]. The combination of a double manual reading and an automated reading found 9% of false positives, ie 12 individuals out of 75 minors wrongly classified as majors. Automated determination of bone age was less efficient than a trained reader: 26% versus 22% false positives. The average age of minors wrongly classified as majors was 17.08 years [15,24;17,71].

Conclusion — The determination of majority by the combination of double manual reading and an automated reading cannot be applied alone in forensic medicine. A multidisciplinary assessment is required.

Mots-clés

- Majorité civile
- Estimation âge osseux
- BoneXpert
- Atlas de Greulich et Pyle
- Association de méthodes diagnostiques
- Anthropologie médico-légale

Introduction :

L'estimation de l'âge osseux tient une place prépondérante dans l'évaluation de la majorité en médecine légale. La constante augmentation des flux migratoires contraint les États à effectuer un processus de vérification d'identité et de détermination de la majorité. En effet, en raison du principe de présomption de minorité, un État se doit de protéger les personnes mineures et leurs droits [1].

L'âge osseux est la méthode de référence dans de nombreux pays pour la détermination de la majorité civile, notamment en France où celle-ci est fixée à 18 ans révolus [2]. Le gold standard pour l'estimation de l'âge osseux repose en grande partie sur une méthode manuelle utilisant des radiographies du poignet et de la main gauche comparées à l'atlas de Greulich et Pyle (GP), établit en 1959 [3,4] . Cette méthode est controversée car s'appuyant sur une cohorte datant de 1935, peu adaptée à la population générale actuelle et aux différences socio-économiques [5,6]. Des études démontrent néanmoins l'applicabilité de cette méthode sur des cohortes actuelles, et provenant de différentes ethnies [7–10]

De nombreuses autres méthodes ont été mises au point pour tenter de déterminer avec le plus de précision possible l'âge chronologique d'un individu en fonction de son âge osseux [11], notamment l'atlas de Tanner et WhiteHouse (TW3) [12], qui ne permet d'évaluer l'âge osseux que pour des individus de moins de 16 ans, ou encore le scanner de clavicule qui permet de déterminer si un individu est majeur en fonction des classifications établies [13–15].

La question de la détermination de la majorité est un enjeu majeur de nos jours, avec l'augmentation des demandeurs d'asile. Cela nécessite de disposer d'une méthode fiable simple et rapide, d'autant que l'estimation de l'âge osseux n'est pas une science exacte. Le

Bureau européen d'appui en matière d'asile (BEAMA) (European Asylum Support Office, EASO) a proposé des recommandations pour l'estimation de l'âge osseux en Europe [16]. En France, la loi du 14 mars 2016 relative à la protection de l'enfant établit que les radiographies sont utilisées à titre d'alternative et lorsqu'un document d'identité valide fait défaut et que l'âge déclaré n'est pas certain. Cependant, il est précisé dans l'article 388 du code civil que les conclusions des examens radiologiques, qui doivent préciser la marge d'erreur, ne peuvent à eux seuls permettre de déterminer si l'intéressé est mineur. Le doute profite à l'intéressé [17].

Dans de nombreux pays, comme en Finlande, l'estimation de l'âge osseux est standardisée et se base sur un entretien individuel pluridisciplinaire associé à des examens physiques tels qu'une radiographie du poignet et de la main gauche, un panoramique dentaire, éventuellement complétés par des clichés rétro-alvéolaires [18]. En Allemagne, les recommandations de la société allemande de médecine légale intègrent en plus des recommandations finlandaises, le scanner de clavicule et l'évaluation multidisciplinaire, discutée entre chaque expert intervenant dans la décision.

L'automatisation de l'estimation de l'âge osseux en pratique pédiatrique médicale par le logiciel BoneXpert a été validée par une étude datant de 2009. Une déviation standard de 0,42 ans était estimée entre les résultats du logiciel et la méthode de GP pour l'âge chronologique [19]. Une extension de l'étude publiée en 2017 a montré qu'il était possible d'effectuer une analyse sur des sujets âgés de moins de 21 ans avec un taux d'erreur de 10% [20]. Cependant cette pratique est réalisée dans un cadre médical, en pathologie courante.

Notre article a pour but d'évaluer une séquence d'estimation de l'âge osseux pour une application médico-légale par l'association de méthodes manuelle par la méthode de GP et automatisée avec le logiciel BoneXpert.

Patients et méthodes :

Population étudiée

Nous avons réalisé une étude rétrospective multicentrique, au sein du CHU de Clermont-Ferrand et de deux Centres Hospitaliers périphériques, portant sur 137 individus sains âgés de 14.8 à 22 ans.

L'échantillon comportait 75 individus mineurs et 62 individus majeurs, 46 individus de sexe féminin et 91 individus de sexe masculin. La répartition des individus était de la sorte : 1 < 15 ans, 33 entre 15 et 16 ans, 21 entre 16 et 17 ans, 20 entre 17 et 18 ans, 26 entre 18 et 19 ans, 17 entre 19 et 20 ans, 13 entre 20 et 21 ans, 6 > 21 ans (**Tableau 1**).

La population a été sélectionnée aléatoirement entre juin 2017 et juin 2019. Les critères d'inclusion étaient de se situer dans la tranche d'âge étudiée et d'avoir bénéficié d'une radiographie du poignet et de la main gauche de face. Les critères d'exclusion étaient une radiographie de mauvaise qualité, non interprétable, ne respectant pas les conditions requises pour un traitement à des fins médico-légales.

Technique de réalisation et d'étude

La radiographie devait avoir une bonne exposition, être de face stricte, avec un champ de vue satisfaisant permettant d'obtenir au moins 3 cm d'extrémité distale sur le radius et l'intégralité des dernières phalanges.

L'évaluation manuelle de l'âge osseux a été effectuée sur le PACS de notre centre, de façon anonyme, en aveugle du résultat de la méthode automatisée et de l'âge chronologique, selon la méthode de GP, par deux observateurs, de façon indépendante.

Une seconde analyse a été réalisée, suivant la même grille de lecture que précédemment décrite mais dans un ordre aléatoire, afin de calculer la variabilité intra-observateur. Les deux observateurs étaient un radiologue en formation, et un radiologue sénior expérimenté.

L'évaluation automatisée de l'âge osseux a été réalisée à l'aide du logiciel BoneXpert (version 2.4.5.1) qui évaluait l'âge osseux selon GP et selon Tanner Whitehouse 3 (TW3). La méthode TW3 n'a pas été prise en compte car elle ne permettait pas d'évaluer l'âge osseux d'individus de plus de 16 ans (**Figure 1**).

Le critère de jugement principal était le classement radiographique de l'individu en mineur ou majeur, comparé à l'âge réel. Les résultats ont été analysés séparément pour chaque lecteur et une étude des discordances entre les deux lecteurs et la lecture automatisée a été effectuée.

Un individu faux négatif était un individu de plus de 18 ans classé parmi les moins de 18 ans. Un individu vrai négatif était un individu de moins de 18 ans classé parmi les moins de 18 ans. Un vrai positif était un individu de plus de 18 ans classé parmi les plus de 18 ans. Un faux positif était un individu de moins de 18 ans classé parmi les plus de 18 ans. C'est ce dernier point que nous avons choisi d'étudier particulièrement.

Notre étude a été validée par le Comité d'Éthique pour la Recherche en Imagerie Médicale (n° IRB : CRM-2004-079).

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Stata (version 13, StataCorp, College Station, TX). Les données continues étaient exprimées en moyennes. Les relations entre des paramètres continus ont été étudiées en utilisant les coefficients de corrélation de Lin et de Pearson et ont été représentées sous forme de nuage de points. Les tests étaient bilatéraux, avec une erreur de type I fixée à 5%. L'évaluation de la concordance des mesures a été représentée sous forme de graphique de Bland et Altman. Nous avons considéré que les opérateurs donnaient des valeurs concordantes si (1) en moyenne, l'un ne surestime ou ne sous-estime pas les valeurs par rapport à l'autre opérateur de plus de 1 an, et si (2) la quasi-totalité des écarts (en valeur absolue) entre les deux opérateurs est inférieure à ± 1 an.

Résultats

La concordance intra observateur pour l'estimation manuelle de l'âge osseux était pour le lecteur apprenti (lecteur A) de 0.89 (IC 95% [0.84 ; 0.91], et 0.86 (IC 95% [0.81 ; 0.90]) pour le lecteur expérimenté (lecteur B).

La concordance inter observateur pour l'estimation manuelle de l'âge osseux était de 0.87 (IC 95% [0.84 ; 0.91]) (coefficient de concordance de Lin) (**Figure 2**).

Les concordances des mesures entre les deux lecteurs et entre les lecteurs et le logiciel sont reportées sous forme de graphique de Bland et Altman (**Figure 3**)

Le pourcentage de faux positifs était de 33% pour le lecteur apprenti et de 22% pour le lecteur expérimenté. Il était de 26% pour la méthode automatisée seule.

Il existait 15 individus classés majeurs à tort par les deux radiologues. L'analyse automatisée a classé 12 de ces 15 individus comme majeurs. Ce nombre correspondait au

nombre de faux positifs après la triple lecture, soit 9% de l'effectif global. L'âge moyen des individus mineurs classés majeurs à tort était de 17.08 ans [15,24 ; 17,71] après triple analyse.

Au sein de la tranche d'âge 17-19 ans, qui comptait 46 individus : 15 étaient classés faux positifs par le lecteur junior, 12 par le lecteur senior, et 11 par la lecture automatisée (**Tableau 2**).

L'analyse automatisée retrouvait un nombre de mineurs plus important que les radiologues : 80 contre 60 et 75 (**Figure 4 et Figure 5**).

L'association des trois méthodes présentait une sensibilité de 59% et une spécificité de 84% pour la détermination de la majorité civile. La valeur prédictive positive (VPP) de la majorité pour ce test était de 75% et sa valeur prédictive négative (VPN) était de 71%.

L'association des trois méthodes dans la tranche d'âge 17-19 ans retrouvait une sensibilité de 46% et une spécificité de 60%. La VPP était de 60% et la VPN de 46% dans cette tranche d'âge.

L'analyse des résultats des deux lectures manuelles mettait en évidence une discordance sur 23 individus classés différemment par l'un ou l'autre des lecteurs, indépendamment. Ces individus ont été classés comme mineurs selon le principe de présomption de minorité. (**Tableau 2**)

Discussion

Notre étude avait pour but d'évaluer une séquence d'estimation de l'âge osseux associant une double lecture manuelle par l'atlas de Greulich et Pyle et une méthode automatisée à l'aide du logiciel BoneXpert, dans un cadre médico-légal, pour aider à la détermination de la majorité civile.

La valeur prédictive positive de cette séquence de détermination de la majorité était de 75%. Ce pourcentage doit être considéré comme insuffisant au vu des conséquences qu'une erreur de classement peut engendrer.

La méthode de Greulich et Pyle est controversée, en effet l'âge osseux déterminé grâce à l'atlas de GP aurait une marge d'erreur de 1 à 2 ans selon les auteurs. En effet, l'atlas de GP ne prends pas en compte les données socio-économiques et de nutrition, qui jouent pourtant un rôle prépondérant dans la maturation osseuse [5,6]. De plus, l'atlas de Greulich et Pyle s'arrête à 18 ans pour les sujets masculins et à 19 ans pour les sujets féminins, ce qui peut poser problème pour étudier des sujets proches de cette limite d'âge ou l'ayant dépassée. Cependant son utilisation reste validée, notamment en population pédiatrique, comme nous l'ont démontré *Chaumoître et al* [21], cette méthode serait adaptée à une population actuelle française d'enfants, avec une excellente concordance inter-observateur, tout comme dans notre étude. Nous avons décidé d'associer deux lectures manuelles car malgré la bonne concordance inter-observateur retrouvée dans notre étude et dans la littérature, l'analyse des discordances entre les deux lecteurs lors du classement d'un individu en mineur ou majeur permet de respecter le principe de présomption de minorité en profitant systématiquement à l'individu et en le classant en catégorie « individu mineur ».

Notre étude a démontré que l'estimation de l'âge osseux par la simple méthode radiologique était limitée et est à proscrire.

Il y avait une discordance d'interprétation entre les deux radiologues chez 23 individus, dont 12 étaient mineurs, l'un classant la radiographie en catégorie « individu majeur » et l'autre en « individu mineur ». Ainsi, par l'application du principe de présomption de minorité et en cas de double lecture discordante, toutes les discordances d'interprétation

auraient été catégorisées en « individu mineur ». Il y aurait alors eu 12 faux positifs en moins et 11 faux négatifs en plus.

En prenant en compte la lecture automatisée lors des discordances d'interprétation entre radiologues, 9 individus auraient été correctement re-catégorisés, 6 individus mineurs et 3 individus majeurs.

Il est important de regarder quelle est la part de mineurs mal catégorisés par les radiologues, lorsque les deux étaient concordants dans leurs interprétations, et qui ont été placés dans la catégorie « individus majeurs », correspondant aux faux positifs de la double lecture manuelle. Cela concernait 15 individus sur les 62 individus mineurs avec interprétation concordante. La lecture automatisée permettait alors de reclasser correctement seulement 3 de ces faux positifs. On peut ainsi penser que le bénéfice de la lecture automatisée reste faible, lorsque les deux radiologues sont concordants.

Lorsque l'on applique la lecture automatisée et une seule lecture radiologique manuelle, il existe un léger bénéfice pour la détection d'individus mineurs. En effet, la lecture automatisée aurait permis de rattraper 7 faux positifs sur les 25 faux positifs du lecteur junior et 5 faux positifs sur les 17 faux positifs du lecteur sénior, soit 11 faux positifs en tout. Malgré l'application d'une triple lecture, 12 individus ont été classés en « individu majeur » à tort, soit 9% de notre effectif total et 16% de l'ensemble de l'effectif de mineurs.

C'est dans la tranche d'âge 17-19 ans que le taux d'erreur est le plus important (**Figure 6** et **Figure 7**).

En effet, c'est dans cette tranche d'âge que se trouvent 55% des faux positifs de la lecture automatisée, 60% des faux positifs du lecteur junior, et 70% des faux positifs du lecteur senior. Ces résultats nous montrent que la lecture automatisée fait moins d'erreur dans la tranche d'âge critique 17-19 ans, cependant, elle fait plus d'erreur dans les tranches d'âge

de moins de 17 ans et de plus de 19 ans, là où l'estimation de l'âge osseux reste plus aisée pour un lecteur entrainé. La lecture logicielle automatisée est donc moins spécifique, faisant plus d'erreurs dans des tranches d'âges où les résultats sont censés être équivoques. Cette lecture automatisée est moins discriminante que celle réalisée par un lecteur entrainé, dont le taux d'erreur augmente lorsque l'âge chronologique s'approche de la majorité.

Après triple lecture, c'est deux tiers (67%) de l'ensemble des faux positifs qui ont entre 17 et 18 ans. On retrouve après triple lecture 40% de faux positifs dans la tranche d'âge 17-18 ans et seulement 7% dans la tranche d'âge 15-17 ans.

Il existe donc une tranche d'âge critique, à l'approche de la majorité, pour laquelle l'estimation de l'âge osseux est imprécise.

Un individu de 15,24 ans a été classé majeur à tort, par l'ensemble des trois lectures, en raison d'une maturation osseuse avancée. Cela peut être expliqué par le fait que nous n'avions pas connaissance des données cliniques lors de l'analyse des radiographies, et rappelle l'importance du bilan multidisciplinaire. Un examen clinique avec interrogatoire aurait éventuellement permis de découvrir une condition préexistante chez cet individu, permettant d'expliquer une éventuelle puberté précoce.

Il est important de noter que la seule lecture automatisée ne remplace aucunement l'expertise d'un radiologue entrainé. L'automatisation seule de la méthode de GP était meilleure que le lecteur inexpérimenté mais moins bonne que le lecteur expérimenté. Le fait que la lecture automatisée retrouvait un nombre moins important de sujets majeurs dans la tranche d'âge 17-19 ans peut être expliqué par l'algorithme du logiciel, programmé afin de donner un résultat six mois inférieur à l'âge réellement calculé par l'algorithme [19].

L'estimation de l'âge osseux est une problématique courante et doit être réalisée par des radiologues expérimentés selon des protocoles préétablis et déterminés à l'avance.

Un bilan multidisciplinaire comportant au minimum une évaluation psychologique et un examen clinique doit être effectué en amont de toute démarche d'estimation radiologique de l'âge osseux, comme le préconise les recommandations du BEAMA [16]. En pratique médico-légale, l'estimation radiologique de l'âge osseux devrait être donnée avec une marge d'erreur de plus ou moins 18 mois. Pour les besoins de l'étude nous n'avons pas établi ces marges d'erreur.

Une séquence de détermination pourrait être établie de la sorte : lors de la première lecture manuelle avec GP et en cas de fusion osseuse complète : classement en « potentiellement majeur », la radiographie est soumise à la lecture automatisée. Si l'individu est toujours considéré comme « potentiellement majeur », un scanner de clavicule devra être réalisé afin de ne pas méconnaitre un éventuel individu mineur.

Cette séquence de détermination permettrait de réaliser moins d'examen complémentaire en ciblant une population plus restreinte, ce qui a son importance chez des individus présumés mineurs. Dans notre étude, seulement 32% de l'effectif aurait ainsi eu à subir un scanner complémentaire, au lieu de 45% sans la lecture automatisée.

Comme nous l'ont appris *Kellinghaus et al* [13,14], nous savons que le scanner en coupes fines de l'épiphyse médiale de la clavicule est un excellent indicateur de la majorité. En effet, l'âge minimum observé pour une ossification correspondant au stade 3c était de 19,7 ans chez l'homme et 19,5 ans chez la femme.

Dans un but médico-légal, il est souvent associé un orthopantomogramme à la radiographie de poignet gauche. Dans notre structure, nous n'avions pas la possibilité d'obtenir à tout moment un orthopantomogramme, ainsi cette étude avait également pour but de trouver une séquence de détermination suffisamment fiable pour se passer de ce dernier, afin d'améliorer nos pratiques. La non réalisation d'un orthopantomogramme nous permettait

également de réduire la dose nécessaire au bilan d'estimation de l'âge osseux [22,23] (**Tableau 3**). Cependant, la dose reçue par l'individu supposé mineur ne doit pas être un frein pour faire la preuve de la minorité. Le principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable) doit être appliqué.

En France, le cadre légal relatif à la prise en charge des jeunes isolés étrangers est défini par la Circulaire du 31 mai 2013. Elle apporte des préconisations concernant le protocole médical. Ce dernier ne doit intervenir qu'en cas de doute sur la minorité du jeune, il doit être consenti, avec obligation d'information sur ses modalités et ses conséquences en termes de prise en charge. L'examen doit être réalisé sur la base d'un protocole unique et opposable intégrant des données cliniques, dentaires et radiologiques de la maturité osseuse. Une double lecture a minima est nécessaire. Le doute bénéficie au jeune. [24]

De nouvelles méthodes d'estimation de l'âge osseux en pratique pédiatrique sont en cours d'élaboration, basées sur l'intelligence artificielle et le machine learning [25]. Ces nouvelles technologies seront également à étudier pour une application médico-légale.

Les limites de notre étude étaient que cette dernière était rétrospective, et que le nombre de patient inclus aurait pu être plus important. Notre analyse ne tenait pas compte des données cliniques.

Conflit d'intérêts : aucun.

Conclusion

La séquence d'estimation de l'âge osseux en médecine légale par triple détermination manuelles et automatisée à l'aide du logiciel BoneXpert comporte un taux de faux positifs faible mais qui reste non négligeable compte tenu des enjeux. C'est dans la tranche d'âge 17-19 ans que le taux d'erreur est le plus important avec 40% de mineurs classés majeurs à tort. 67% de l'ensemble des faux positifs étaient situés dans cette tranche d'âge.

L'estimation de l'âge osseux par la seule méthode automatisée n'est pas envisageable en raison d'un trop grand nombre de faux positifs (26%).

Néanmoins, une séquence de détermination associant une lecture manuelle et automatisée permettrait de mieux cibler la population devant bénéficier d'un examen radiographique supplémentaire, tel que le scanner des épiphyses médiales des clavicules, permettant de contrôler la dose reçue par l'individu et de réduire le coût du bilan radiologique.

Il est important de rappeler la nécessité d'une évaluation multidisciplinaire de l'individu dans sa globalité, tout en respectant ses droits et sa dignité. Les examens radiologiques ne se soustraient pas à la réalisation d'un bilan multidisciplinaire.

Références

[1] United Nations. Convention on the rigths of the child 1989:164.
[2] Smith T, Brownlees L. Age assessment practices: a literature review & annotated bibliography n.d.:85.
[3] Greulich WW, Pyle SI. Radiograph atlas of skeletal development of the hand and wrist. 2nd ed. California: Stanford University Press; 1959.
[4] Cole AJL, Webb L, Cole TJ. Bone age estimation: a comparison of methods. Br J Radiol 1988;61:683–6. https://doi.org/10.1259/0007-1285-61-728-683.
[5] Schmeling A, Schulz R, Danner B, Rösing FW. The impact of economic progress and modernization in medicine on the ossification of hand and wrist. Int J Legal Med 2006;120:121–6. https://doi.org/10.1007/s00414-005-0007-4.
[6] Chaumoitre K, Lamtali S, Baali A, Saliba-Serre B, Lahmam A, Aboussad A, et al. Influence of socioeconomic status and body mass index on bone age. Horm Res Paediatr 2010;74:129–35. https://doi.org/10.1159/000313371.
[7] Dahlberg PS, Mosdøl A, Ding Y, Bleka Ø, Rolseth V, Straumann GH, et al. A systematic review of the agreement between chronological age and skeletal age based on the Greulich and Pyle atlas. Eur Radiol 2019;29:2936–48. https://doi.org/10.1007/s00330-018-5718-2.
[8] Alshamrani K, Messina F, Offiah AC. Is the Greulich and Pyle atlas applicable to all ethnicities? A systematic review and meta-analysis. Eur Radiol 2019;29:2910–23. https://doi.org/10.1007/s00330-018-5792-5.
[9] Mansourvar M, Ismail MA, Raj RG, Kareem SA, Aik S, Gunalan R, et al. The applicability of Greulich and Pyle atlas to assess skeletal age for four ethnic groups. J Forensic Leg Med 2014;22:26–9. https://doi.org/10.1016/j.jflm.2013.11.011.
[10] Alshamrani K, Offiah AC. Applicability of two commonly used bone age assessment methods to twenty-first century UK children. Eur Radiol 2020;30:504–13. https://doi.org/10.1007/s00330-019-06300-x.
[11] Schmidt S, Nitz I, Ribbecke S, Schulz R, Pfeiffer H, Schmeling A. Skeletal age determination of the hand: a comparison of methods. Int J Legal Med 2013;127:691–8. https://doi.org/10.1007/s00414-013-0845-4.
[12] Tanner JM, Healy MJR, Cameron N, Goldstein H. Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3 Method). W.B. Saunders; 2001.
[13] Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Pfeiffer H, Schmeling A. Enhanced possibilities to make statements on the ossification status of the medial clavicular epiphysis using an amplified staging scheme in evaluating thin-slice CT scans. Int J Legal Med 2010;124:321–5. https://doi.org/10.1007/s00414-010-0448-2.
[14] Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Schmeling A. Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography. Int J Legal Med 2010;124:149–54. https://doi.org/10.1007/s00414-009-0398-8.
[15] Wittschieber D, Schulz R, Vieth V, Küppers M, Bajanowski T, Ramsthaler F, et al. The value of sub-stages and thin slices for the assessment of the medial clavicular epiphysis: a prospective multi-center CT study. Forensic Sci Med Pathol 2014;10:163–9. https://doi.org/10.1007/s12024-013-9511-x.
[16] EASO. Practical Guide on Age Assessment - Seconde édition 2018.
[17] Article 43 - LOI n° 2016-297 du 14 mars 2016 relative à la protection de l'enfant (1) - Légifrance n.d. https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/article_jo/JORFARTI000032205420

(accessed February 7, 2021).
[18] Metsäniitty M, Varkkola O, Waltimo-Sirén J, Ranta H. Forensic age assessment of asylum seekers in Finland. Int J Legal Med 2017;131:243–50. https://doi.org/10.1007/s00414-016-1498-x.
[19] Thodberg HH, Kreiborg S, Juul A, Pedersen KD. The BoneXpert Method for Automated Determination of Skeletal Maturity. IEEE Trans Med Imaging 2009;28:52–66. https://doi.org/10.1109/TMI.2008.926067.
[20] Thodberg HH, van Rijn RR, Jenni OG, Martin DavidD. Automated determination of bone age from hand X-rays at the end of puberty and its applicability for age estimation. Int J Legal Med 2017;131:771–80. https://doi.org/10.1007/s00414-016-1471-8.
[21] Chaumoitre K, Saliba-Serre B, Adalian P, Signoli M, Leonetti G, Panuel M. Forensic use of the Greulich and Pyle atlas: prediction intervals and relevance. Eur Radiol 2017;27:1032–43. https://doi.org/10.1007/s00330-016-4466-4.
[22] Schmeling A, Dettmeyer R, Rudolf E, Vieth V, Geserick G. Forensic Age Estimation: Methods, Certainty, and the Law. Dtsch Aerzteblatt Online 2016. https://doi.org/10.3238/arztebl.2016.0044.
[23] Mansour H, Fuhrmann A, Paradowski I, van Well EJ, Püschel K. The role of forensic medicine and forensic dentistry in estimating the chronological age of living individuals in Hamburg, Germany. Int J Legal Med 2017;131:593–601. https://doi.org/10.1007/s00414-016-1517-y.
[24] Circulaire du 31 mai 2013 relative aux modalités de prise en charge des jeunes isolés étrangers : dispositif national de mise à l'abri, d'évaluation et d'orientation - Légifrance n.d. https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/37174 (accessed February 7, 2021).
[25] Pan I, Thodberg HH, Halabi SS, Kalpathy-Cramer J, Larson DB. Improving Automated Pediatric Bone Age Estimation Using Ensembles of Models from the 2017 RSNA Machine Learning Challenge. Radiol Artif Intell 2019;1:e190053. https://doi.org/10.1148/ryai.2019190053.

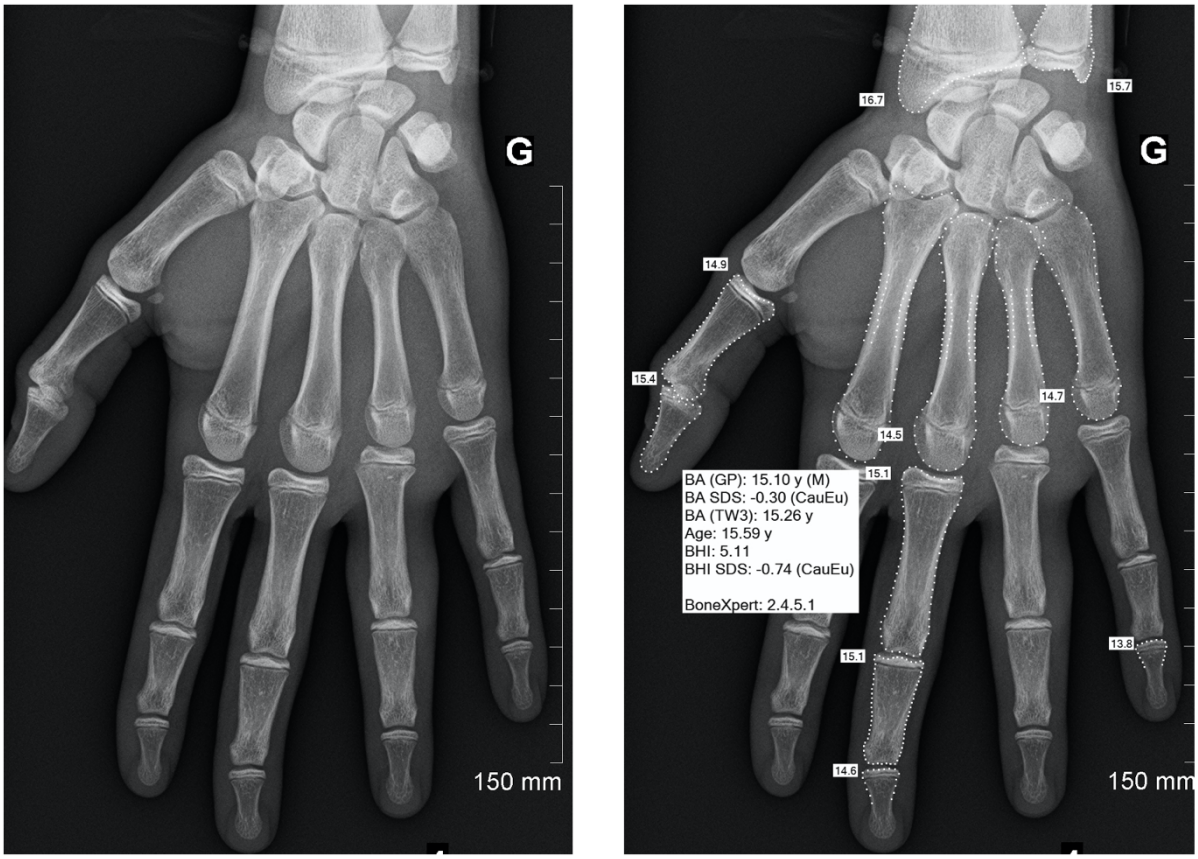


Figure 1: Radiographie de la main et du poignet gauche de face. Détermination de l'âge osseux à l'aide du logiciel BoneXpert.

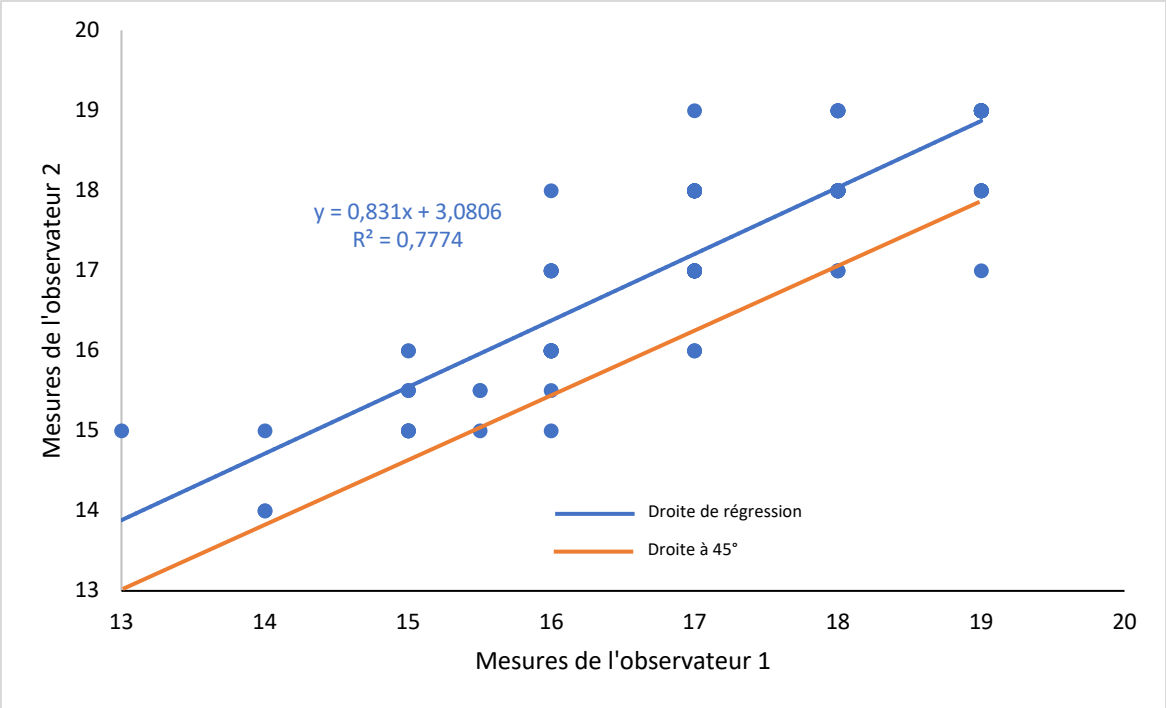
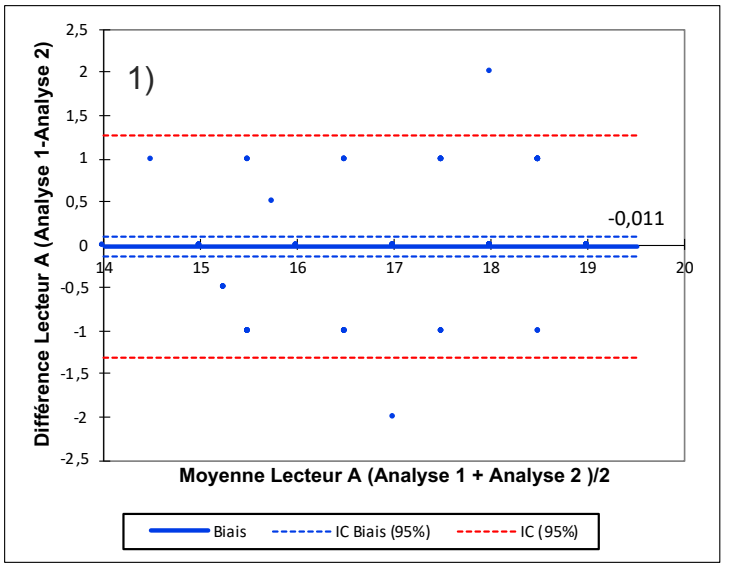
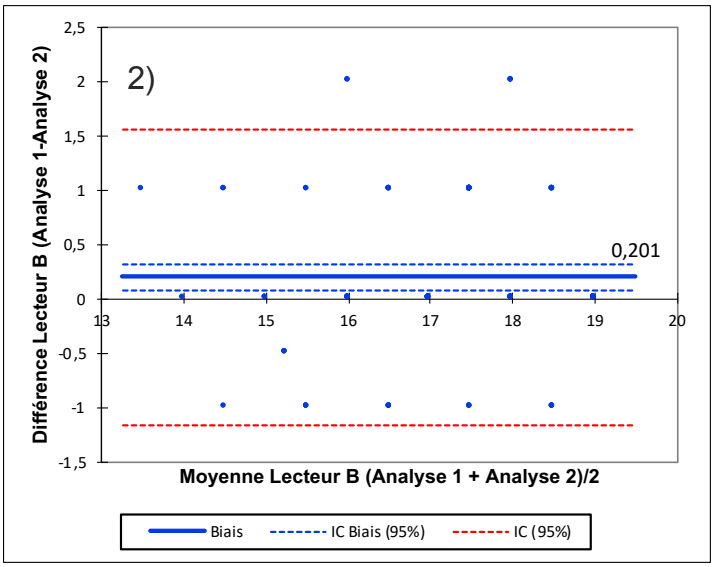
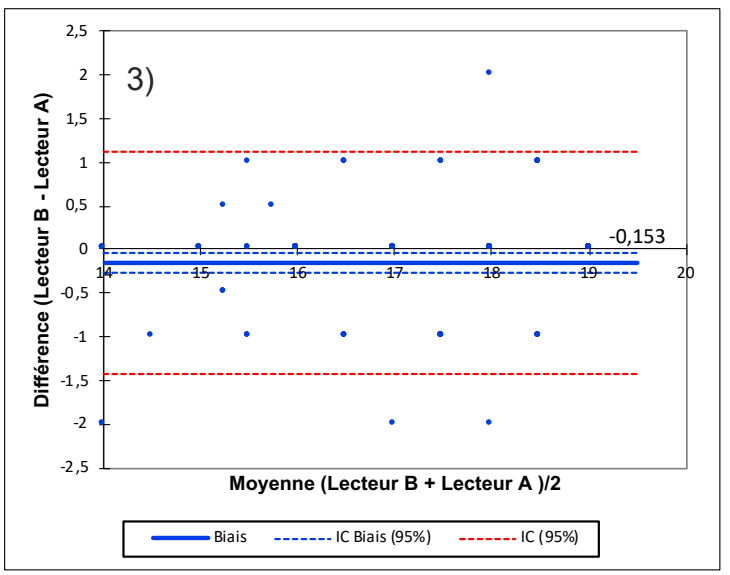
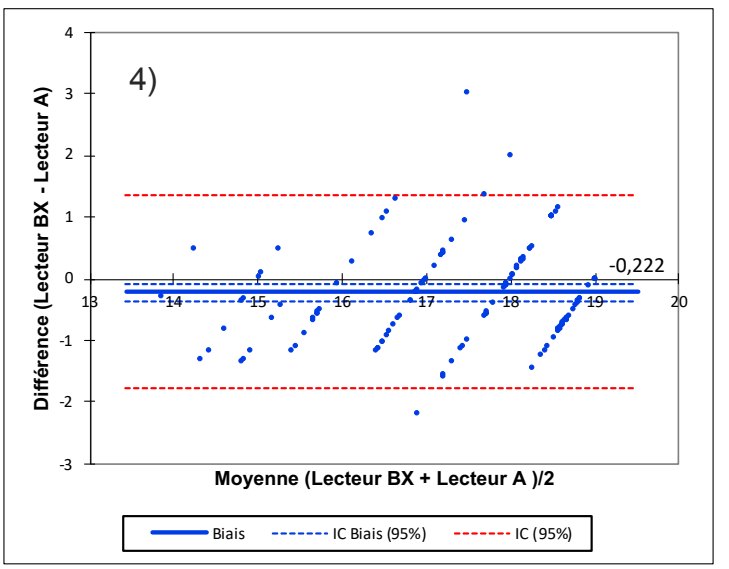


Figure 2: Nuage de points des mesures des deux observateurs. Concordance inter-observateur









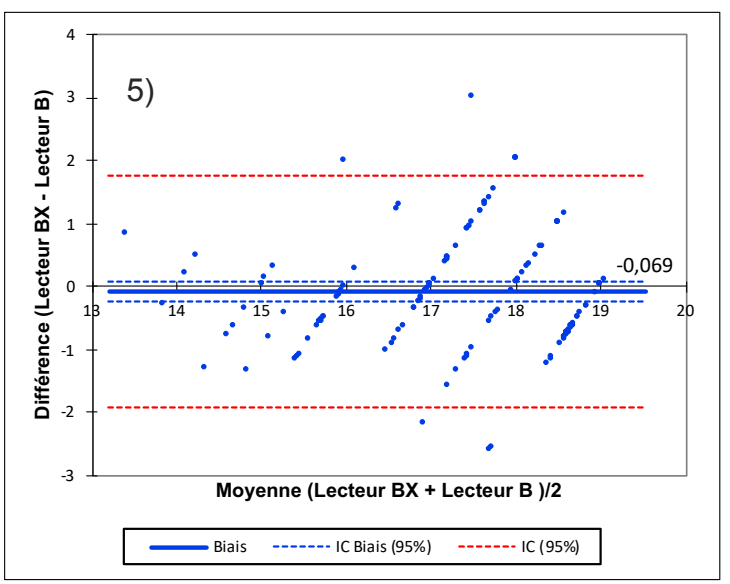


Figure 3: Graphiques de Bland et Altman représentant les concordances des lectures manuelles et automatisée.
1) Lecteur A intra-observateur;
2) Lecteur B intra-observateur;
3) Inter-observateur A et B;
4) Inter-observateur BoneXpert et lecteur A;
5) Inter-observateur BoneXpert et lecteur B.

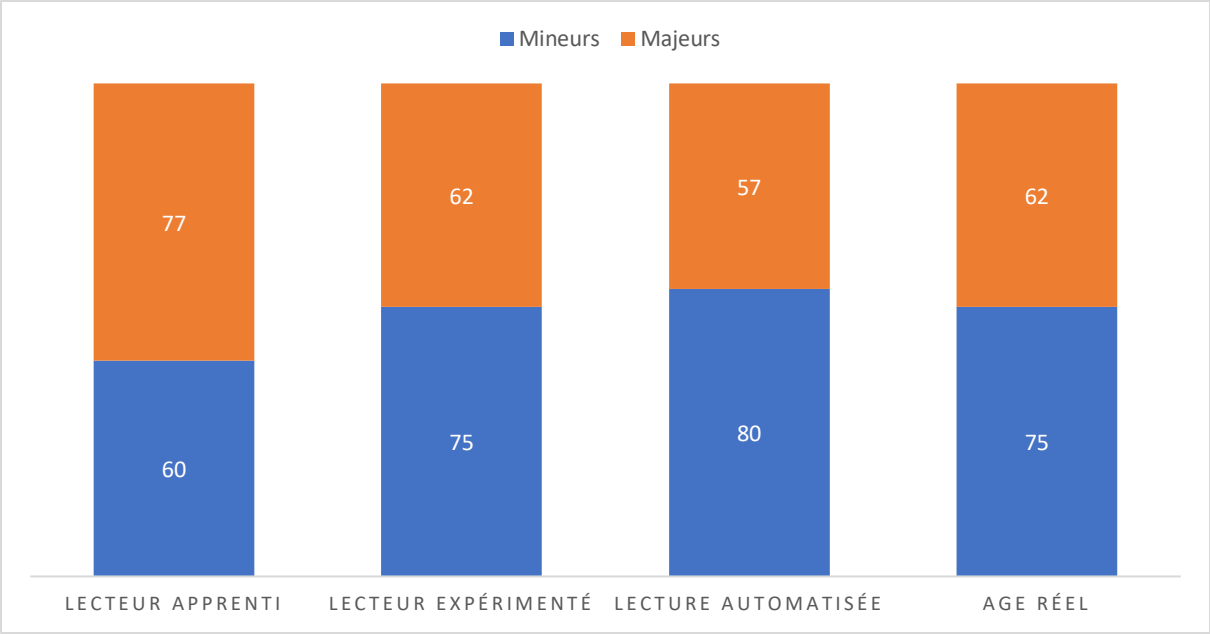


Figure 4: Distribution des individus mineurs et majeurs en fonction du lecteur.

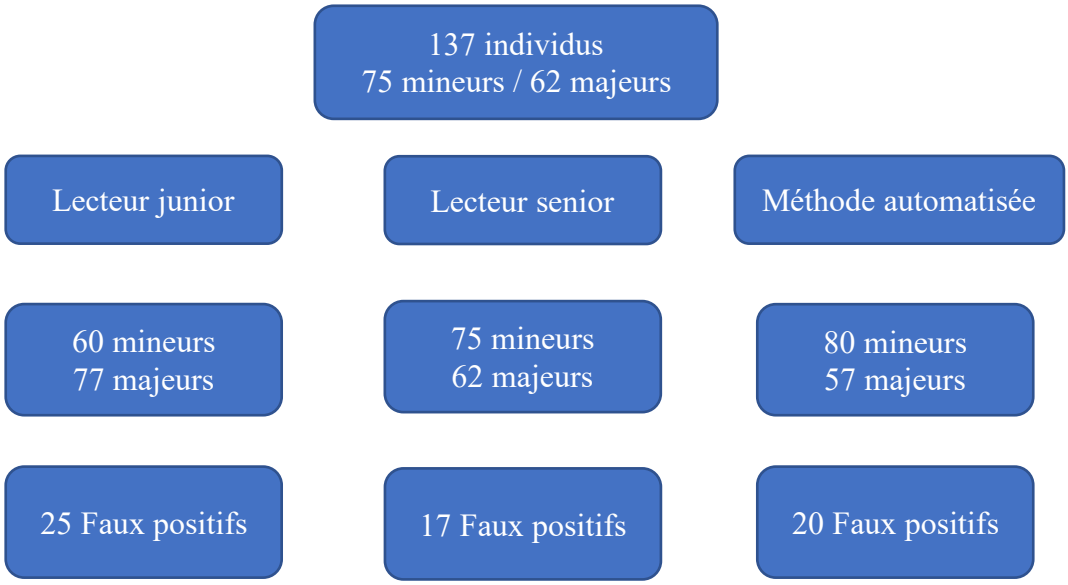


Figure 5: Distribution par lecture des mineurs, majeurs et faux positifs.

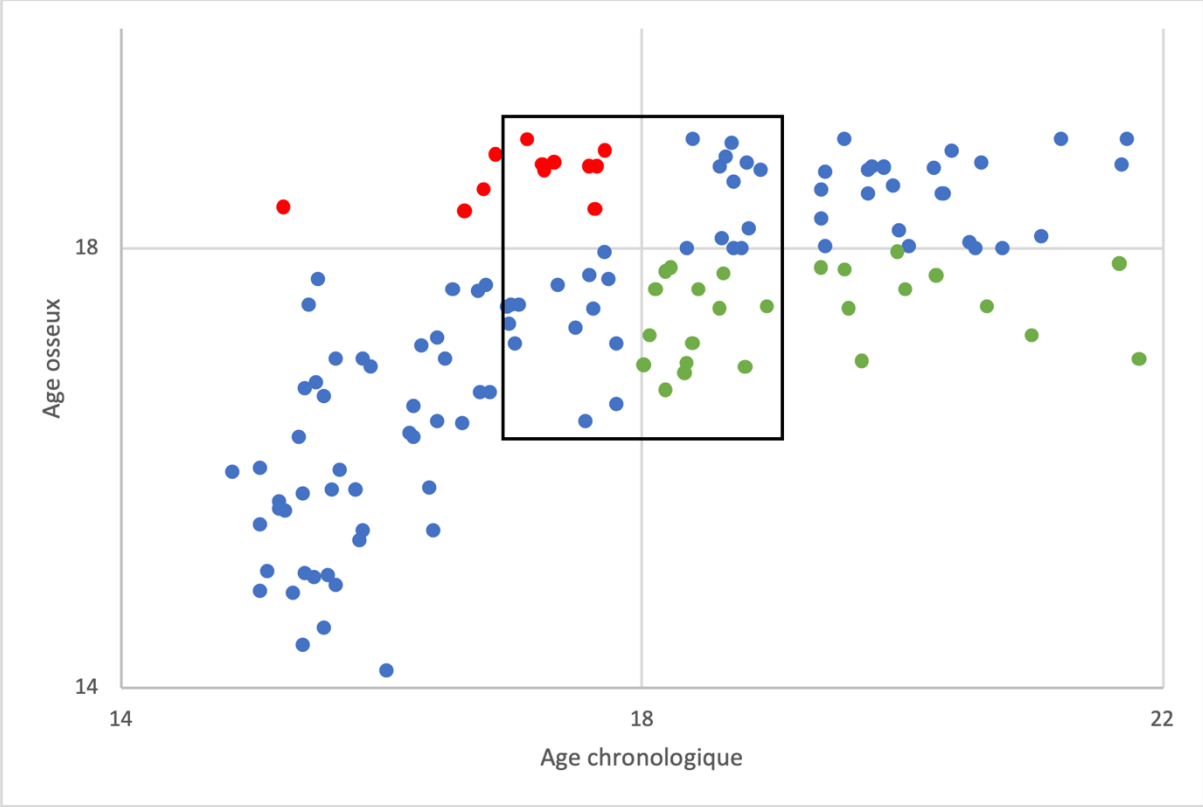


Figure 6 : Distribution de l'âge osseux en fonction de l'âge chronologique. En bleu : en bas à droite les vrais négatifs, en haut à gauche les vrais positifs, en vert les faux négatifs, en rouge les faux positifs. Le carré noir indique la tranche d'âge 17-19 ans.

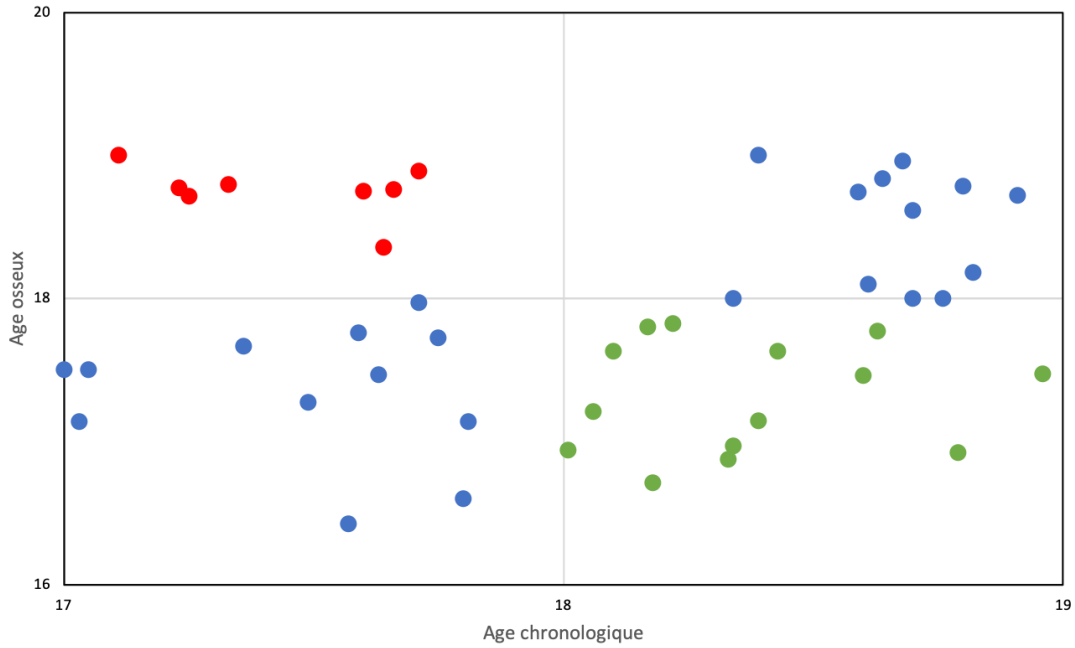


Figure 7 : Distribution de l'âge osseux, tranche d'âge 17-19 ans, zoom sur le carré noir de la Figure 6.

Tableau 1 : Caractéristiques des 137 patients inclus pour l'estimation de l'âge osseux.

Caractéristiques	**Valeurs**
Genre	
Femmes	46 (34)
Hommes	91 (66)
Majorité	
Majeurs	62 (45)
Mineurs	75 (55)
Catégories d'âges	
< 15 ans	1 (1)
15 – 16 ans	33 (24)
16 – 17 ans	21 (15)
17 – 18 ans	20 (15)
18 – 19 ans	26 (19)
19 – 20 ans	17 (12)
20 – 21 ans	13 (10)
21 – 22 ans	6 (4)
Total	137

Tableau 2 : Répartition des individus : tranches d'âge chronologique et classement radiographique.

Tranches d'âge chronologique		**Faux négatifs**	**Faux positifs**	**Vrais négatifs**	**Vrais positifs**
15-17			4	51	
	17-18		*8*	*12*	
	18-19	*14*			*12*
>19		11			25
Total		25	12	63	37

Tableau 3 : Dose estimée pour différentes méthodes diagnostiques en médecine légale. [16]

Méthode utilisée	**Dose estimée (µsV)**
Radiographie de la main	0,1
Orthopantomogramme	26
Radiographie de la clavicule	220
Scanner épiphyse médiale clavicule	400