



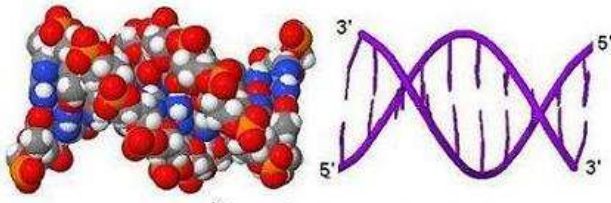
الأحماض النووية Acides nucléiques

مقتطف من كتاب علوم الحياة-بيوكيمياء، م. بعزیز، 2012

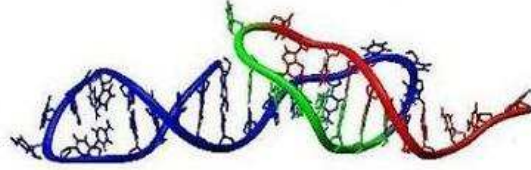
Extrait du livre Sciences de la vie. Biochimie, M. Baaziz, 2012

<http://www.takween.com/transition-secondeire-superieur/sciences-vie-biochimie-sommaire.html>

تعد الأحماض النووية (Acides nucléiques) المكونات الرئيسية للخبر الوراثي (انظر فقرة طبيعة الخبر الوراثي و آلية تعبيره) وتتكون من نوعين اثنين، الحمض النووي الريبوزي ناقص الأكسجين (Acide désoxyribonucléique) والحمض النووي الريبوزي (Acide ribonucléique). و يرمز لهما ADN وARN، بالتالي.



حمض نووي ريبوزي ناقص الأكسجين
Acide désoxyribonucléique (ADN)



حمض نووي ريبوزي
Acide ribonucléique (ARN)

تكن أهمية ADN بالخصوص في كونه يمثل العنصر الأساسي في تشكيل الصبغيات و إيواء المورثات التي تتحكم في صفات كل الكائنات الحية.

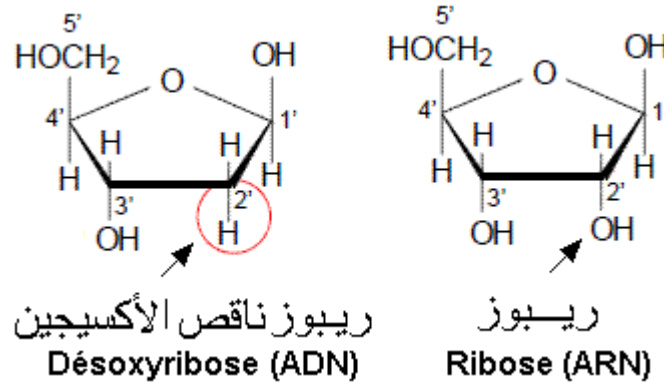
يتكون ADN من لولبين يلتفان الأحد فوق الأخر. أما ARN فيتشكل من طرف واحد، مع إمكانية ظهور أطراف ثنائية من خلال طي الجزيئ (أنظر الرسم التالي). بالإمكان كذلك معاينة ADN و ARN في البعد الثالث باستعمال برنامج راستوب (Rastop) في فقرة معاينة الجزيئات في البعد الثالث.

المكونات الكيميائية للأحماض النووية

تتكون الأحماض النووية ADN و ARN من سلاسل من وحدات كيميائية تسمى بالنكليوتيدات (Nucléotides)، ويتكون كل نكليوتيد من ثلاث مكونات رئيسية تتمثل في سكر خماسي (Pentose) و قاعدة أزوتية (Base azotée) و فسفات (Phosphate). تتكون النيكليوزيدات (Nucléosides) من كل من السكر الخماسي و القاعدة الأزوتية، بدون فسفات. هكذا، تسمى النكليوتيدات نكليوزيدات فسفات و هي ثلاثة أنواع، نيكليوزيدات أحادية الفسفات (Nucléosides monophosphate)، النيكليوزيدات ثنائية الفسفات (Nucléosides diphosphates) و النيكليوزيدات ثلاثية الفسفات (Nucléosides triphosphates)، حسب ضمها لفسفات واحد، إثنين أو ثلاثة فسفات. تحتوي سلاسل ADN و ARN على نكليوتيدات من نوع نيكليوزيدات أحادية الفسفات.

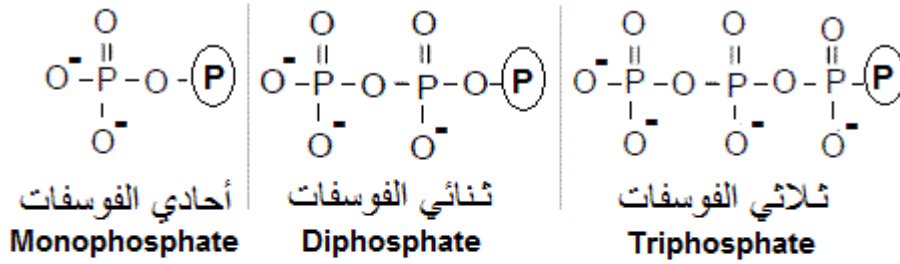
السكر الخماسي (Pentose).

في الأحماض النووية، يوجد السكر الخماسي في نوعين، ريبوز (Ribose) في ARN و ريبوز ناقص الأكسجين (Désoxyribose) في ADN.



الفسفات (Phosphate).

تحتوي سلاسل الأحماض النووية على نكليوزيدات أحادي الفسفات (Nucléosides monophosphate) التي يتم دمجها في ADN و ARN انطلاقا من نكليوزيدات ثلاثي الفسفات (Nucléosides triphosphates)، تضم ثلاثة وحدات من الفسفات (أنظر الرسم التالي). بواسطة الكربون رقم 5'، يرتبط السكر الخماسي بالفسفات (رابطة إستير، liaison ester).



مجموعات الفوسفات المرتبطة بالسكر الخماسي (P)

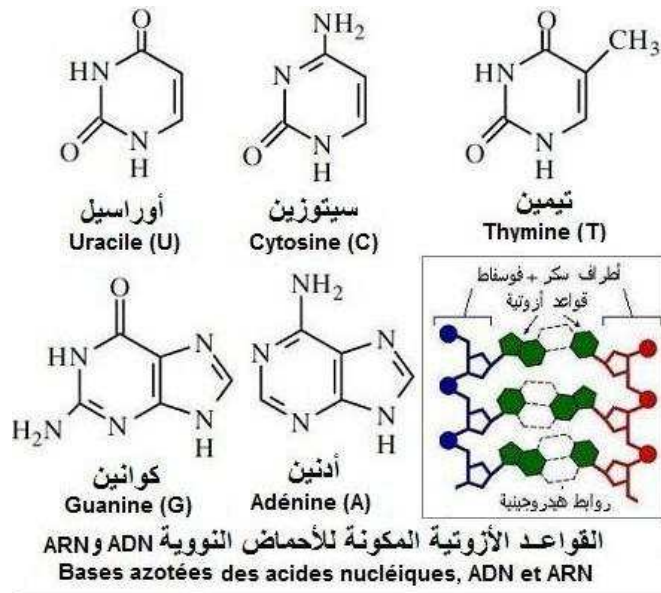
في الأحماض النووية ARN و ADN

Groupes phosphates liés au pentose (P)
dans les acides nucléiques ADN et ARN

القواعد الأزوتية (Bases azotées).

أهم العناصر المكونة للأحماض النووية تتجلى في القواعد الأزوتية (Bases azotées)، إذ يضم كل نكليوتيد قاعدة واحدة من بين أربعة قواعد وهي الأدينين (Adenine)، الثيمين (Thymine)، السيتوزين (Cytosine) و الكوانين (Guanine) في ADN. و يرمز لها ب A، T، C و G، على التوالي. أما في ARN فتحل القاعدة أوراسيل (Uracile, U) محل القاعدة T. تعتبر القواعد C و T و U قواعد بيريميدينية (Bases pyrimidiques)، أما A و G فهي قواعد بوريكية (Bases puriques)، ذات وزن مرتفع مقارنة مع القواعد البيرييميدينية (أنظر الرسم التالي). للملاحظة، توجد ب ADN النبات و الحيوان قواعد أزوتية بالميثيل (Bases azotées méthylées)، مثل 5-ميثيل سيتوزين (5-méthylcytosine) التي تقوم بإعاقه عملية نسخ ADN (Transcription). في البكتيريا، تمنع N6-ميثيل أدينين (N6-méthyladénine) أنزيمات الفصل (Enzymes de restriction) من قطع ADN البكتريا نفسها. كذلك، توجد ببعض أنواع ARN (مثل ARN الناقل، ARN de transfert, ARNt) قواعد غير معتادة (مشتقات القواعد) مثل الكزانثين (Xanthine : 2,6-oxypurine) وهيبوكزانثين (Hypoxanthine : 6-oxypurine).

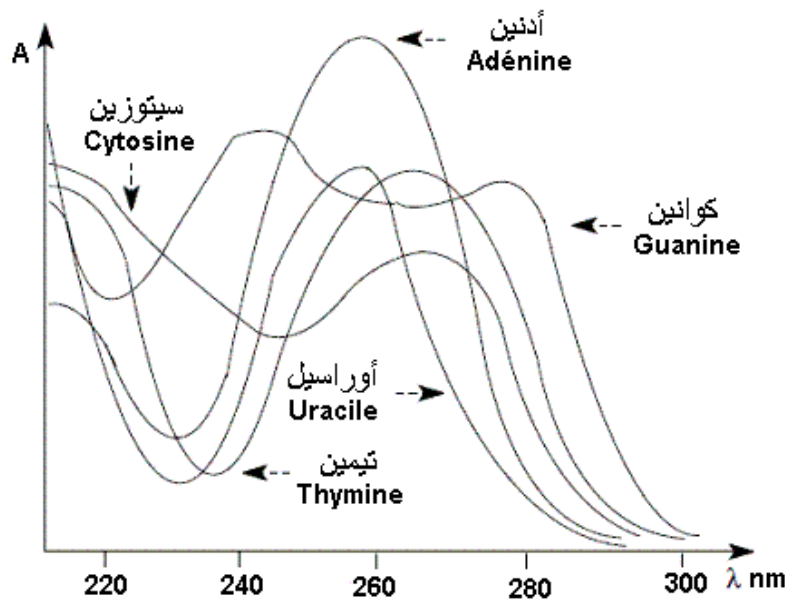
أهم خصائص القواعد الأزوتية



تكشف الصيغ الكيميائية للقواعد الأزوتية عن خاصيتين مهمتين يتجليان في إمكانية تأين الحلقات الأزوتية الغير متجانسة (Hétérocycles azotés) وظهور خاصية امتصاص الأشعة فوق البنفسجية (Rayons ultra-violet, UV) الناتجة عن وجود روابط مقترنة (Liaisons conjuguées). تتميز القواعد الأزوتية بأطياف للامتصاص (Spectres d'absorption) مختلفة، لكن أغلبها يكون في طول موجي ب 260 نانومتر (Longueur d'onde à 260 nm).

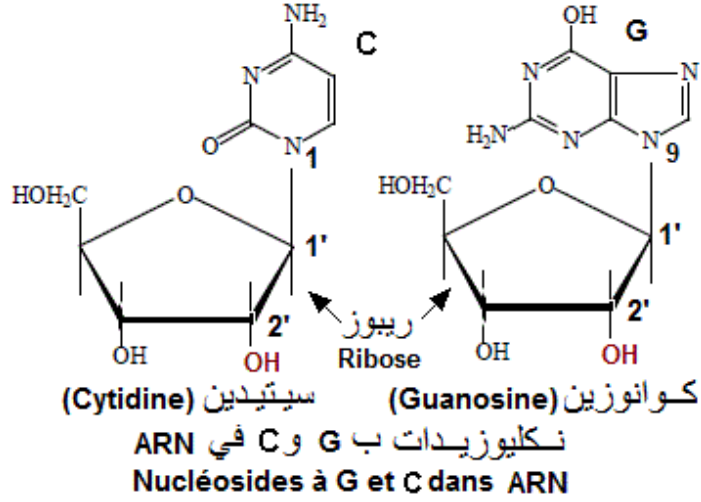
للقواعد الأزوتية من نوع البورين (ذات حلقتين، A و G) امتصاص أعلى، مقارنة مع القواعد من نوع البيرييميدين (ذات حلقة واحدة، C و T و U)، كما يوضحه الرسم التالي. لهذا، يستعمل قياس امتصاص الضوء بهذا الطول الموجي في وضع تقديرات لتركيزات الأحماض النووية مثل ADN. تتميز محاليل القواعد الأزوتية (في شكل حر) بامتصاص مرتفع للأشعة فوق البنفسجية (ظاهرة مفرط الصباغ، Hyperchromicité) مقارنة بامتصاصها وهي داخل بنيات الأحماض النووية التي تحجب تعرضها للأشعة (نتكلم هنا عن ظاهرة ناقص الصباغ، Hypochromicité).

تعرض القواعد الأزوتية للأشعة فوق البنفسجية يؤدي إلى فتح روابطها و جعلها ترتبط من جديد بالقواعد الأخرى من خلال ظهور قنطرة بين القاعدتين المجاورتين. من ناحية أخرى، تحدث الأنواع التفاعلية للأكسجين (Espèces réactive d'oxygène) مثل البيروكسيد (Peroxyde) و الشقيات الحرة (Radicaux libres)، ههما تأكسديا بالغا للقواعد الأزوتية.



تكون النكليوزيدات (Nucléosides)

بواسطة الأزوت (رقم 1 في C و T و U أو رقم 9 في A و G) ترتبط القواعد الأزوتية مع الكربون رقم 1' في السكر الخماسي (رابطة N-β أوزيد، liaison N-β osidique) لتكون النكليوزيدات (أنظر الرسم التالي).

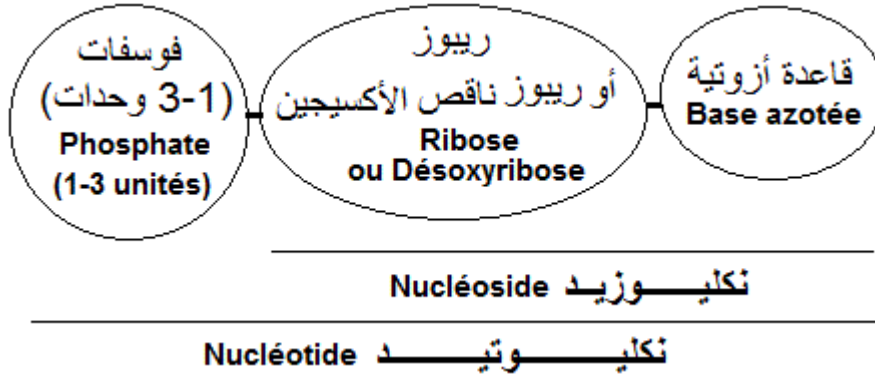


في حالة ARNt، نعثر على نكليوزيدات الأوراسيل في وضعية خاصة، إذ يرتبط الكربون رقم 1' في الريبوز مع الكربون رقم 5 في الأوراسيل، عوض الأزوت رقم 1 عبر رابطة من نوع C-أوزيد (Liaison C-osidique)، عوض N-أوزيد. يلقب هذا النوع من النكليوزيدات بالأوراسيل ب'شبيه الأوريدين' (Pseudouridine) و يوجد بحلقات T (Boucles T) ل ARNt، إذ يعطي لهذا الحمض النووي الريبوزي الناقل نوعا من الاستقرار (Stabilité).

كذلك، تم العثور في جزيئات ARN، على نكليوزيدات تحتوي على مشتقات للريبوز بوجود الميثيل فوق الكربون رقم 2' (Dérivés 2'-O-méthylés du ribose). من خلال ربط الميثيل، يكسب ARN مقاومة مرتفعة للحلماة.

تكون النكليوتيدات (Nucléotides)

تتكون النكليوتيدات (Nucléotides) من النكليوزيدات زائد 1-3 وحدات من الفسفات، كما يبينه الرسم التالي.



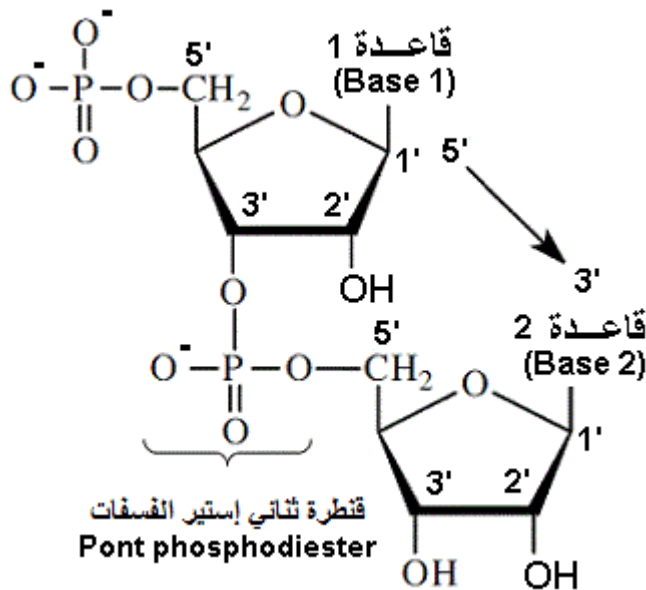
أنواع النكليوتيدات في ARN و ADN

تنقسم النكليوزيدات إلى نكليوزيدات ريبوزية (Ribonucléosides) ونكليوزيدات ريبوزية ناقصة الأكسجين (Désoxyribonucléosides)، يرمز لها بإضافة حرف d في الاسم المبسط للنكليوتيد. داخل كل قسم، توجد ثلاثة أنماط تتمثل في النكليوزيدات أحادية الفسفات، النكليوزيدات ثنائية الفسفات والنكليوزيدات ثلاثية الفسفات، كما يظهر في الجدول التالي، بالنسبة ل ARN و ADN.

القاعدة	نيكليوزيدات أحادية الفسفات	نيكليوزيدات ثنائية الفسفات	نيكليوزيدات ثلاثية الفسفات
A	AMP (ARN)	ADP (ARN)	ATP (ARN)
	dAMP (ADN)	dADP (ADN)	dATP (ADN)
G	GMP (ARN)	GDP (ARN)	GTP (ARN)
	dGMP (ADN)	dGDP (ADN)	dGTP (ADN)
C	CMP (ARN)	CDP (ARN)	CTP (ARN)
	dCMP (ADN)	dCDP (ADN)	dCTP (ADN)
T	- (ARN)	- (ARN)	- (ARN)
	dTMP (ADN)	dTDP (ADN)	dTTP (ADN)
U	UMP (ARN)	UDP (ARN)	UTP (ARN)
	- (ADN)	- (ADN)	- (ADN)

للتذكير، تلعب النكليوتيدات الريبية دورا هاما في نقل الطاقة (مثل ATP) و التحفيز الأنزيمي، كمرافقات الأنزيمات أو 'تميمات الأنزيم' (Coenzymes).

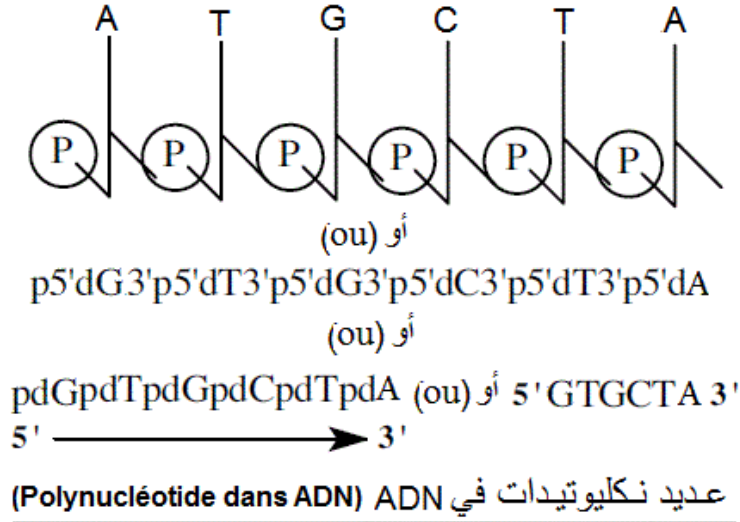
تكون عديد النكليوتيد (Polynucléotide) و تشكيل الأحماض النووية أحادية الأطراف (monocaténaires)



يتكون عديد النكليوتيد (Polynucléotide) ومن خلالها الأحماض النووية بترابط النكليوتيدات بينها عبر روابط ثنائي إستير الفسفات (Liaisons phosphodiester). زيادة عن ارتباطه بالقاعدة الأزوتية انطلاقا من الكربون رقم 1' (أنظر الرسم) يدخل السكر الخماسي في الارتباط كذلك مع الفسفات مرتين، الأولى عبر الكربون رقم 3' و الثانية من خلال الكربون رقم 5'.

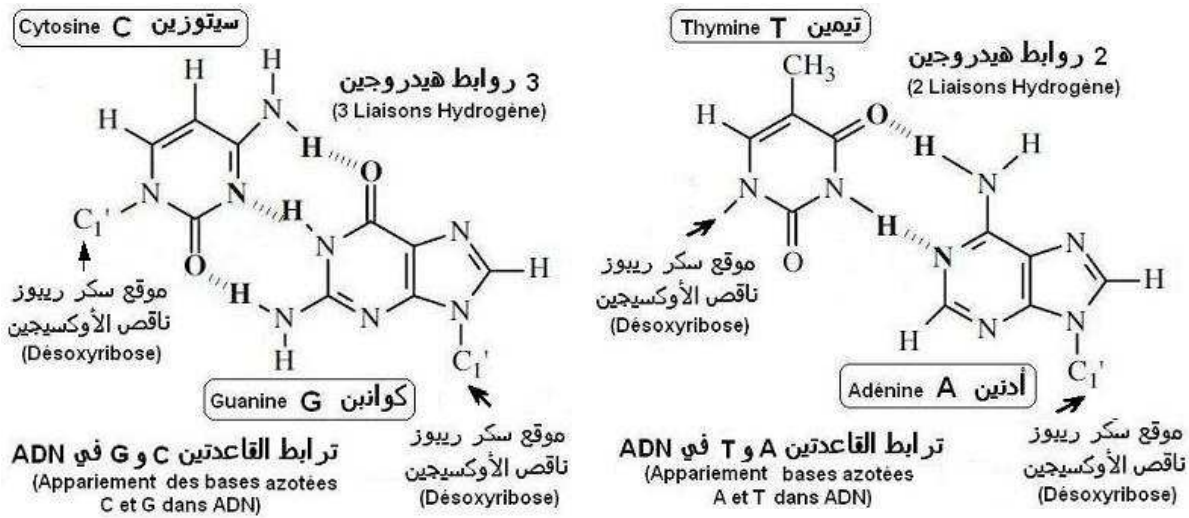
هكذا يشكل الفسفات قنطرة ثنائي إستير الفسفات بين ذرتي السكر المتجاورتين (Pont phosphodiester). يلعب الفسفات دورا هاما في تأين (Ionisation) الأحماض النووية، إذ تتميز قناطر ثنائي إستير الفسفات بوظيفة حمضية (Fonction acide) بثابت pK يساوي 1,5-2,0. تتم قراءة تسلسل الأحماض النووية من اليسار إلى اليمين في اتجاه 5'-فسفات إلى 3'-هيدروكسيل (Direction 5'-phosphate vers 3'-hydroxyle, 5'→3'). إنه الاتجاه الذي تستعمل وفقه السلاسل النكليوتيدية كجزئيات لنقل الخبر الوراثي عبر عملية النسخ (Transcription) و الترجمة (Traduction).

توجد طرق متعددة لكتابة عديدات النكليوتيد و تشير كلها إلى إتجاه القراءة من 5' إلى 3'، كما يوضحه الرسم التالي. تشكل عديدات النكليوتيد سلاسل طويلة تدخل في بنية الأحماض النووية ذات طرف واحد، مثل ARN أو طرفين، مثل ADN.



ترابط القواعد الأزوتية وفق تقارن واطسون و كريك (Appariement de Watson et Crick) و ظهور الاحماض النووية ثنائية الأطراف (bicaténaires).

ترتبط القواعد الأزوتية بينها وفق تقارن واطسون و كريك (Appariement de Watson et Crick)؛ أي A مع T أو A مع U، حسب ADN أو ARN، بالتتالي ثم C مع G. يتم تلاقي القواعد الأزوتية عبر رابطتين هيدروجين حينما يتعلق الأمر ب A مع T في ADN أو A مع U في ARN و ثلاثة روابط عند تلاقي C مع G في ADN و ARN (أنظر الرسمين في التالي).



تحتسب النسبة المئوية ل GC في ADN معين بالقسمة التالية:

$$GC (\%) = \frac{G + C}{A + T + G + C} \times 100$$

تختلف نسبة GC بين أنواع الكائنات الحية، كما أنها تكون مرتفعة في مناطق معينة في الصبغيات، مثل التيلوميرات (Téломères). وجود 3 روابط هيدروجين (عوض رابطتين) بين القواعد C و G يزيد صعوبة في تفريق طرفي ADN بالتسخين. لهذا، يكون مسخ ADN (Dénaturation de l'ADN) ما غني ب الزوجي GC، عسيرا مقارنة مع ADN غني بالزوجي AT.

يتكون ADN من سلسلتين لعديد النكليوتيد ملتفتين حول بعضهما في صورة لولب مزدوج (Double hélice)، إذ يشكل السكر و الفسفات العمود الفقري و الجدار الخارجي للولب، أما القواعد بين السلسلتين فتوجد في الوسط (أنظر رسم ADN).

يعبر عن حجم الأحماض النووية بثلاثة مقاييس، منها الطول و الوزن الجزيئي بالدالتون (Dalton,) و عدد النكليوتيدات (أو قواعد، bases, b) بالنسبة للأحماض النووية بطرف واحد (Simple brin) أو عدد زوجي القواعد (Paires de base, pb) بالنسبة للأحماض النووية بطرفين (Double brin). بالنسبة ل ADN، يقدر عدد النكليوتيدات ب 5000 حتى 100 مليون زوج قاعدة (pb)، بينما ينحصر عدد نكليوتيدات ARN بين العشرات و الآلاف، إذ يساوي b 75-90 بالنسبة ل ARNt و 100-500 b بالنسبة ل ARNr و عدد يناسب طول المورث (Gènes) الخاضع للنسخ، عندما يتعلق الأمر ب ARNm.

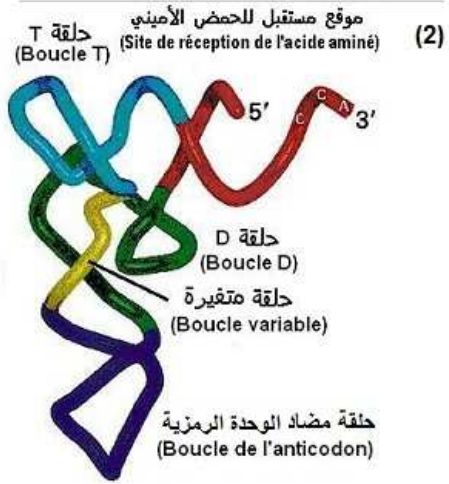
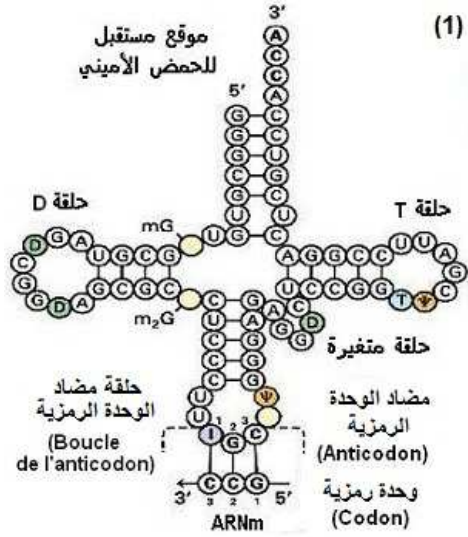
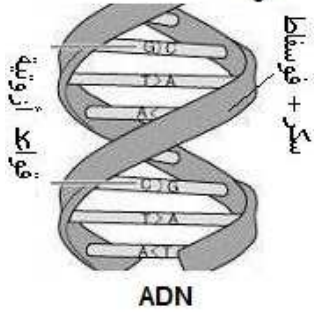
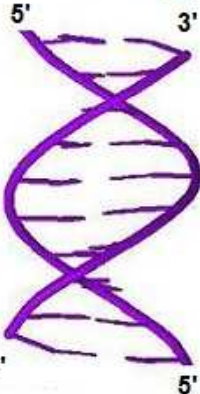
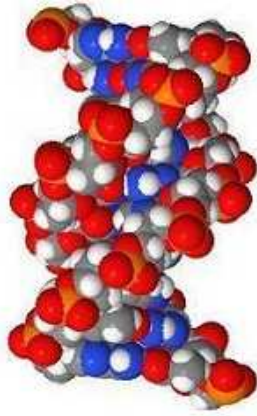
أهم الاختلافات بين الأحماض النووية ADN و ARN.

يمكن تلخيص الاختلافات بين ADN و ARN في الجدول التالي:

ARN	ADN	
1	2	عدد السلاسل (الأطراف)
A, U, C, G	A, T, C, G	القواعد الأزوتية
ريبوز	ريبوز ناقص الأكسجين	السكر الخماسي

يوضح الرسم التالي اللولب المزدوج ل ADN (Double hélice d'ADN) ومثل للأحماض النووية الريبوزية، يتجلى في حمض ARN الناقل (ARNt) الذي يلعب دورا رئيسيا في ترجمة الخبر الوراثي إلى بروتينات (Protéines).

إذا كان ADN يمتاز ببنية اللولب المزدوج (Double hélice) مع تقارن الطرفين في اتجاهين منعكسين، فإن أهم المميزات البنوية للحمض النووي الريبوزي (ARN)، زيادة عن كونه يتشكل من خيط واحد، تتجلى في قدرته علي الالتواء (Repliement) وخلق أشكال متعددة ثنائية و أحادية الخيط، إذ تنتج حلقات (Boucles) مختلفة كما يبينه الرسم التالي. تتميز هذه البنيات بقابليتها للارتباط بجزيئات أخرى كالبروتينات.



ARNt. بنيات ثنائية (1) و ثلاثية (2)
ARNt. Structures secondaire (1)
et tertiaire (3)

